

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

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

2A. SESIÓN

2ND. SESSION

## ESTRUCTURA DE LOS HURACANES STRUCTURE OF HURRICANES

### DETALLES ESTRUCTURALES DE HURACANES REVELADOS POR FOTOGRAFÍAS DE SATELITES

ROBERT W. FETT \*

#### RESUMEN

Las fotografías de ciclones tropicales por satélites indican pronunciada subsidencia periférica. En muchos casos se forma una clara zona anular o canal de anchura variable como resultado del movimiento de subsidencia en o cerca del borde del escudo de altas nubes de la tormenta. Las bandas convectivas exteriores o líneas de turbulencias pre-huracán son a veces visibles a lo largo del borde exterior de las zonas anulares. Los análisis del viento superior y de secciones de tiempo indican que zonas deformantes causadas o reforzadas por efectos del flujo de salida se asocian íntimamente con áreas de subsidencia. Las zonas de cizallamiento parecen originarse al convergir el aire relativamente cálido del anticiclón sobre la tormenta con el aire circundante relativamente fresco. En este estudio se encontraron estaciones aisladas que sufrían advección de aire frío por arriba antes de pasar la línea de cizallamiento al nivel de 200 mb, seguida de advección de aire caliente en el flujo de salida de la tormenta. Así se origina una concentración del gradiente térmico horizontal junto a la zona de cizallamiento que aparentemente ayuda a producir un máximo de viento anticiclónico en la misma área. El gradiente térmico pudo haberse reforzado más por el calentamiento de partes de aire que se hundían en la zona anular.

#### INTRODUCCION

Un estudio de la primera fotografía de satélite de un huracán tomada por TIROS I el 10 de Abril de 1960 reveló que el borde del escudo de altas nubes en la tormenta estaba localizado sobre una pronunciada cresta superficial (Fett, R. W., 1961). Estudiando secciones de tiempo también se comprobó que ciertas estaciones aisladas sufrían advección de aire frío por arriba antes de pasar el borde de aquel escudo de la tormenta, seguida por advección de aire caliente cuando el mismo borde se movía sobre la estación. Se dedujo de tal configuración que pudo existir una área convergente superior sobre la periferia de la tormenta donde el flujo de salida se mezclaba con el aire circundante, resultando un movimiento de subsidencia al evaporarse la nubosidad de la tormenta. Fotografías obtenidas por TIROS III durante el

\* Miembro AWS, Centro Nacional de Satélites Meteorológicos.

### DETAILS OF HURRICANE STRUCTURE REVEALED IN SATELLITE PHOTOGRAPHS

ROBERT W. FETT \*

#### ABSTRACT

The satellite pictures of tropical cyclones suggest pronounced peripheral subsidence. In many instances a clear channel or annular zone of varying width is formed as a result of this subsiding motion at or near the rim of the high cloud shield of the storm. Outer convective bands or pre-hurricane squall lines are sometimes visible along the outer edge of the annular zones. Upper wind and time-section analyses indicate that shear zones, formed or strengthened by outflow effects, are closely associated with the subsident areas. The shear zones appear to be formed as relatively warmer air diverging in the anticyclone above the storm converges with relatively cooler surrounding air. Individual stations in this study were found to have experienced cold air advection aloft prior to passage of the shear line at the 200 mb level, followed by warm air advection in the storm outflow. This resulted in the concentration of the horizontal thermal gradient near the shear zone and apparently aided in the production of an anticyclonic wind maximum in the same area. The thermal gradient may have been further strengthened due to warming of air parcels as they subsided in the annular zone.

#### INTRODUCTION

A study of the first satellite picture of a hurricane taken by TIROS I on 10 April 1960, revealed that the edge of the high cloud shield of the storm was located over a pronounced surface ridge (Fett, R. W., 1961). Time cross-section studies showed, further, that individual stations experienced cold air advection aloft prior to passage of the rim of the high cloud shield of the storm, and that this was followed by warm air advection as the edge of the high cloud shield moved over the station. It was inferred from this pattern that an upper convergent area may have existed around the periphery of the storm where hurricane outflow mixed with surrounding air and subsiding motion resulted as storm cloudiness was evaporated. Pictures obtained by TIROS III during the Summer of 1961 verified

\* AWS Member, National Weather Satellite Center.

Verano de 1961 comprobaron la existencia de una marcada zona de subsidencia alrededor del borde en casi todas las tormentas vistas. La Fig. 1 es una fotografía del Huracán Debbie obtenida por el Proyecto Mercurio el 13 de Sept. de 1961. Desde luego esta fotografía de 70 mm muestra mucho mayor resolución que la obtenida por el sistema TV de TIROS. La fotografía señala muy bien un canal o "zona anular" marcadamente clara y visible extendida al norte a lo largo del borde de nubosidad de la tormenta. Puede verse una banda exterior de convección más intensa paralela al borde de la zona anular. Las fotografías del Huracán Debbie y otras tormentas por TIROS indican que tales bandas logran una máxima intensidad como líneas de turbonadas. Si son visibles, aparecen característicamente en el borde de la zona anular, separadas normalmente de la nubosidad mayor de la tormenta por unas 40 a 120 millas náuticas. La Fig. 2 es un mosaico de TIROS V de la Tormenta Tropical Thelma del 21 de Ago. de 1962, en que tales rasgos aparecen de modo especialmente notable. Thelma apenas se había localizado por primera vez por RECON al tomarse esta fotografía. Los vientos máximos de superficie se estimaron en 55 nudos.

Algunas fotografías de huracanes y tifones por satélites fueron obtenidas en áreas donde se dispone de datos convencionales más fácilmente para ampliar análisis de rasgos observados. Se discutirán algunos ejemplos de ellas con resultados adicionales.

#### HURACAN CARLA, 1961

El estudio del caso del Huracán Carla, Sept. 1961, fue emprendido para determinar por información convencional algunas características asociadas con los rasgos periféricos de tal tormenta (Fett, R. W., 1963). Algo de particular interés, inmediatamente aparente, era la presencia de una pronunciada línea de cizallamiento situada 8-10 grados por delante del centro de la tormenta —muy evidente en los niveles de 300 y 200 mb. Esa línea de cizallamiento aparecía cuando el aire divergente del anticiclón sobre el huracán convergía direccionalmente con el flujo de aire saliente de la alta subtropical del norte. La línea de cizallamiento se movía con el tiempo hacia el norte, al seguir la tormenta esa dirección. La Fig. 3 es un resumen de una sección de tiempo para Burrwood, La., que muestra algunos cambios ocurridos al acercarse el Huracán Carla a dicha Estación Costera del Golfo. La línea de cizallamiento aparece más clara al nivel de 200 mb y la superficie de cizallamiento asociada tiene una pendiente apates del paso de la línea de cizallamiento seguidas por condiciones irregulares a cargadas resultantes de la nubosidad de la tormenta. De mayor interés son las medias de cambios de temperatura y presión en 24 hs en la capa entre 400 y 200 mb. Tales cambios indicaron enfriamiento y caída de presión en el aire a lo menos dos días antes del paso de la línea de cizallamiento superior, lo cual fué seguido por subida de presión y calentamiento, particularmente pronunciados durante el período de 48-hs después del paso de la línea de cizallamiento. Rachas de temperaturas de punto de rocío promediaron valores más altos antes del paso de la línea de cizalla-

the impression of a marked zone of subsidence around the edge of most of the storms viewed. Fig. 1 is a picture of Hurricane Debbie obtained by Project Mercury on 13 Sept. 1961. This 70 mm photograph shows much greater resolution, of course, than that obtained by the TIROS TV system. The photograph shows very clearly a marked clear channel or "annular zone" visible extending northward along the edge of storm cloudiness. An outer band of more intense convection is visible paralleling the edge of the annular zone. TIROS picture of Hurricane Debbie and other storms indicate that these bands, at times develop to full squall line intensity. When visible, they characteristically appear at the edge of the annular zone, normally separated from the major storm cloudiness by 40 to 120 nautical miles. Fig. 2 shows a TIROS V mosaic displaying Tropical Storm Thelma, 21 Aug 1962, in which these features appear in an especially striking manner. Thelma had just been located for the first time by RECON when this picture was taken. Maximum surface winds were estimated at 55 knots.

Some other satellite pictures of hurricanes and typhoons were obtained in areas where conventional data were more readily available for further analysis of features observed. Some examples of these with additional results are discussed below.

#### HURRICANE CARLA, 1961

A case study of Hurricane Carla, Sept. 1961, was undertaken to determine from conventional information, some of the characteristics associated with the peripheral features of this storm (Fett, R. W., 1963). An item of particular interest, immediately apparent, was the presence of a pronounced shear line located 8-10 degrees in advance of the storm center —very evident at the 300 and 200 mb levels. This shear line was formed as air diverging in the anticyclone over the hurricane directionally converged with air flowing outward from the subtropical high to the north. The shear line moved northward with time as the storm also progressed northward. Fig. 3 is an abstract of a time cross-section for Burrwood, La., which shows some of the changes that occurred during the approach of Hurricane Carla to this Gulf Coastal Station. The shear line appears most evident at the 200 mb level and the associated shear surface has an apparent slope, in this case intersecting lower levels further south. Generally scattered cloud conditions prevailed prior to passage of the shear line, followed by broken to overcast conditions associated with the storm cloudiness. Of major interest are the mean 24-hr temperature and pressure changes appearing in the layer between 400 and 200 mbs. These changes indicated cooling and pressure falls aloft for at least two days prior to passage of the upper shear line. This was followed by warming and pressure rises, particularly pronounced during the 48-hr period following shear line passage. Temperature-dew point spreads averaged higher values prior to shear line passage.

miento. A las 0000Z, del 7 de Sept., se encontró un viento de 60 nudos en el nivel de 200 mb en el área del gradiente de temperatura horizontal máxima implicado. La Fig. 4 muestra un nefanálisis compuesto obtenido de dos pasos de TIROS III sobre el área del Huracán Carla entre 2045Z y 2226Z el 10 de Septiembre de 1961. También aparecen en esta figura, para comparación, vientos a 200 mb a las 0000Z el 11 de Septiembre. Aún puede verse un vestigio de la línea de cizallamiento previamente más pronunciada, por delante del borde exterior de la mayor nubosidad cargada de la tormenta. La corriente de chorro que se encurva anticiclónicamente alrededor del borde de Carla, sobre la zona anular, tiene particular interés, pues este máximo de viento pudo originarse, en parte, por intensificación del gradiente térmico horizontal como aire caliente entrado desde el centro de la tormenta y convergente sobre la zona anular por mezcla con aire más frío de áreas circundantes. Cualquier subsidencia, como parecen indicarlo fotografías de satélites en el borde del escudo de altas nubes, normalmente serviría sólo para intensificar más el gradiente térmico y producir más fuertes vientos anticiclónicos arriba.

#### TIFONES RUTH Y SARAH, 1962

La Fig. 5 es un resumen de cambios ocurridos al acercarse el Tifón Ruth, Agosto de 1962, a la isla de Hachijo, aproximadamente 200 millas al sur de Tokio, Japón. Esta sección de tiempo muestra cambios más pronunciados aún que los ocurridos en el caso del Huracán Carla sobre Burrwood. Dicha tormenta se acercó a Hachijo en una ruta más directa y pasó junto a la estación. Aumentos en la temperatura media de casi 5° C en la capa 400-200 mb ocurrieron poco después del paso de la línea de cizallamiento y de varios días de enfriamiento continuo en la misma capa. El aire estaba extremadamente seco al pasar la línea de cizallamiento, indicando una racha de temperaturas de punto de rocío de más de 18° C en la capa de 500-300 mb. La humedad aumentó muy rápidamente después del paso de la línea de cizallamiento, al moverse la nubosidad de la tormenta sobre la estación. Un máximo de viento en 200 mb de 190° a 45 nudos se desarrolló aproximadamente 24 horas después del paso de la línea de cizallamiento en la zona de mayor contraste térmico. La Fig. 6 muestra un mosaico de una secuencia fotográfica de TIROS V sobre Hachijo al tiempo de pasar la línea de cizallamiento. Aparece muy bien una área relativamente abierta bajo la zona de cizallamiento en este mosaico que coincide en tiempo con la marcada zona seca que se indica en el resumen de la sección de tiempo. La Fig. 7 muestra un aumento del área de la zona de cizallamiento con líneas de corriente superpuestas a 200 mb, pudiendo verse que en este caso la línea de cizallamiento superior se localizaba a lo menos 2 a 3 grados por delante del borde la cargada nubosidad de tormenta principal. Una banda convectiva exterior es visible a lo largo del borde noroeste del canal claro. Sin embargo, no es tan pronunciada como la línea de turbonadas a lo largo del cuadrante noreste del Tifón Sarah, visible en el mosaico de la Fig. 6. Sarah se movía muy despacio

At 0000Z, 7 Sept., a 60 knot wind was found at the 200 mb level in the area of implied maximum horizontal temperature gradient. Fig. 4 shows a composite nephanalysis obtained from two TIROS III passes over the area of Hurricane Carla between 2045Z and 2226Z, on 10 September, 1961. 200 mb winds for 0000Z, 11 September, are plotted on this composite for comparison. A vestige of the shear line, previously even more pronounced, can still be seen in advance of the outer edge of the major overcast cloudiness of the storm. Of particular interest is the jet stream which curves anticyclonically around the edge of Carla, over the annular zone. This wind maximum may have resulted, in part, due to the intensification of the horizontal thermal gradient as warm air, advected from the storm center, converged over the annular zone, mixing with cooler air from outlying areas. Any subsidence, such as appears implied by the satellite photographs, at the rim of the high cloud shield, would normally have served only to further intensify the thermal gradient and resulted in even stronger anticyclonic winds aloft.

#### TYPHOONS RUTH AND SARAH, 1962

Fig. 5 is an abstract of changes that occurred during the approach of Typhoon Ruth, August 1962, to the island of Hachijo, approximately 200 miles south of Tokyo, Japan. This time section shows even more pronounced changes than those that occurred in the case of Hurricane Carla over Burrwood. This storm approached Hachijo on a more direct course and came nearer to the station. Mean temperature increases of nearly 5° C in the layer 400-200 mb occurred shortly after shear line passage and after several days of continuous cooling in this same layer. The air was extremely dry at time of shear line passage indicating a temperature-dew point spread of over 18° C in the layer 500-300 mb. Humidity increased very rapidly after shear line passage as the storm cloudiness moved over the station. A wind maximum at 200 mbs of 190° at 45 knots developed approximately 24 hours after shear line passage in the zone of greatest thermal contrast. Fig. 6 shows a mosaic of a sequence of TIROS V pictures over Hachijo at time of shear line passage. A relatively open area under the shear zone is very evident on this mosaic and coincides in time with the marked dry zone indicated on the time section abstract. Fig. 7 shows an enlargement of the shear zone area with 200 mb streamlines superimposed. It can be seen that the upper shear line was located, in this instance, at least 2 to 3 degrees in advance of the edge of major overcast storm cloudiness. An outer convective band is visible along the northwestern edge of the clear channel. However, it is not as pronounced as the squall line very evident along the northeastern quadrant of Typhoon Sarah, visible on the mosaic in Fig. 6. Sarah was moving very slowly north-eastward at the time of these pictures. Okinawa was located on this mosaic along the northern edge of the squall line. Fig. 8 is an abstract from a time cross-section for Okinawa

hacia el noreste, cuando se hicieron estas fotografías. Okinawa estaba localizado en este mosaico a lo largo del borde norte de la línea de turbonadas. La Fig. 8 es un resumen de una sección de tiempo para Okinawa que muestra algunos cambios cuando el Tifón Sarah pasaba por dicha estación. Como en los otros ejemplos, una línea de cizallamiento superior pasaba antes por la estación cuando todavía estaba lejos el centro de la tormenta. Antes del paso de la línea de cizallamiento hubo enfriamiento a niveles superiores, seguido por calentamiento en la misma capa al pasar la tormenta por la estación. Se notaba un viento de 55 nudos a 200 mb en el borde de la nubosidad de la tormenta en la zona de los mayores contrastes térmicos horizontales. Okinawa fue afectada por fuerte actividad de bandas consecutivas exteriores antes del paso de la línea de cizallamiento, al moverse la tormenta lenta y erráticamente durante los períodos iniciales indicados en el resumen de la sección. El 19 de Agosto, a las 0000Z aumentaban notablemente las rachas de temperaturas de punto de rocío conforme había calentamiento máximo arriba. Condiciones de nubes aisladas 12 horas más tarde también sugerían que Okinawa había pasado bajo el mayor escudo de nubes de Sarah. La Fig. 9 muestra un mosaico de TIROS V al final de Sarah tomado aproximadamente a las 0500Z, el 19 de Agosto. Este mosaico prueba que ciertamente Okinawa había pasado bajo la máxima nubosidad del Tifón Sarah en ese momento y se había colocado en la llamada zona anular. Nótese que la línea de turbonadas, antes localizada a lo largo del borde norte de la tormenta ya no es visible. Los análisis de 200 mb muestran que la línea de cizallamiento en respuesta del movimiento del anticiclón superior avanzaba mucho más allá del centro de la tormenta en tal momento y llegaba a Corea central. La nubosidad terrestre, sobre la mitad sur de Corea, parecía muy suprimida en comparación con otra más al norte. Según lo anotado en los ejemplos previos parece razonable que tal supresión de la nubosidad inferior resultara de la subsidencia —como efecto de la circulación del Tifón Sarah.

which shows time changes as Typhoon Sarah moved past this station. As in the other examples shown, an advance upper shear line moved past the station when the storm center was still far away. Prior to shear line passage upper level cooling occurred following by warming in the same layer as the storm moved past the station. A 55 knot wind at 200 mbs was evident at the edge of storm cloudiness in the zone of greatest horizontal thermal contrast. Considerable outer convective band activity affected Okinawa prior to shear line passage as the storm moved slowly and erratically during the earlier period shown on the cross section abstract. By 19 August, at 0000Z, temperature-dew point spreads increased significantly as maximum warming occurred aloft. Scattered cloud conditions 12 hours later further suggested that Okinawa had passed from under the major cloud shield of Sarah. Fig. 9 shows a final TIROS V mosaic of Sarah taken at approximately 0500Z, 19 August. This mosaic verifies that Okinawa had, indeed, passed from under the major cloudiness of Typhoon Sarah by this time, and was positioned in what has been referred to as the annular zone. It will be noted that the squall line, previously located along the northern edge of the storm, is no longer visible. 200 mb analyses show that the shear line in response to the movement of the upper anticyclone had moved much further in advance of the storm center by this time and was located over Central Korea. Terrestrial cloudiness over the southern half of Korea appears very suppressed in comparison to that further north. In the light of what has been noted in the previous examples it appears reasonable that this suppression of lower cloudiness resulted through subsidence —an effect of the circulation of Typhoon Sarah.

#### BIBLIOGRAFIA

- FETT, R. W. 1961. Hurricane Structure and the High Cloud Shield, Unpublished Master's Thesis, St. Louis Univ.  
 — 1963. Aspects of Hurricane Structure: New Model Considerations Suggested by TIROS and Project Mercury Observations. (Para publicarse en — To be published in *Monthly Weather Review*).

#### BIBLIOGRAPHY