

# GEOFISICA INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Director: Julián Adem

Subdirector: Manuel Maldonado-Koerdell

Vol. 5

México, D. F., 1o. de Julio de 1965

Núm. 3

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

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

8a. SESIÓN

8th. SESSION

PRECIPITACIÓN Y MODIFICACIÓN DEL TIEMPO  
PRECIPITATION AND WEATHER MODIFICATION

### MOVIMIENTO DEL ECO DE PRECIPITACION EN RADAR DEL HURACAN DONNA \*

### RADAR PRECIPITATION ECHO MOTION IN HURRICANE DONNA \*

H. V. SENN \* \*

H. V. SENN \* \*

#### RESUMEN

Analizando películas de varios radares del mismo tiempo en el Huracán Donna, se obtuvieron datos consistentes en casi 3,800 ecos de precipitación que se combinaron para ilustrar, por primera vez, el campo completo de movimientos de eco relativamente simultáneos en casi todas las alturas y azimutes de un huracán. El campo de los movimientos de eco en radar del Huracán Donna, el 9 de Septiembre de 1960, se comparó después con vientos locales de superficies y otros y también el 9 y 10 de Septiembre con datos de movimientos de eco de precipitación en radar en los Huracanes Edna 1954, Connie, Diana e Ione 1955, Audrey 1957 y Daisy y Helene 1958. Cuando se elimina la velocidad del centro de la tormenta, puede comprobarse que los máximos del movimiento de eco relativo resultante tienen lugar con más frecuencia a la izquierda de esa dirección. Se discuten posibles explicaciones para este comportamiento del movimiento de eco.

#### ABSTRACT

Radar data consisting of about 3,800 precipitation echoes were obtained by analyzing film from several radars during the same time period in Hurricane Donna. These data are combined to illustrate for the first time the complete field of relatively simultaneous echo motion at almost all ranges and azimuths in a hurricane. The field of radar echo motion in Hurricane Donna on 9 September 1960 is then compared with local surface and other winds; and also on 9 and 10 September with radar precipitation echo motion data from Hurricanes Edna 1954, Connie, Diane and Ione 1955, Audrey 1957, and Daisy and Helene 1958. When storm center velocity is eliminated, it is shown that the resulting relative echo motion maximums occur most often to the left of the direction. Possible explanations for this echo motion behavior are discussed.

#### INTRODUCCION

El más importante y obvio uso del radar en huracanes consiste en la detección y rastreo operacionales del centro de la tormenta. Como en otros parámetros meteorológicos, se sabe que muchos problemas operacionales y de investigación pueden resolverse con una cuidadosa consideración de los va-

#### INTRODUCTION

The most important and obvious use of radar in hurricane work is for the operational detection and tracking of the storm center. Just as with other meteorological parameters, we find that many valuable operational and research questions can be answered by careful consideration of the

\* Esta investigación fue apoyada por el Contrato Cwb-10507 del U.S. Weather Bureau. Contribución Núm. 463 del Laboratorio Marino, Instituto de Ciencia Marina, Universidad de Miami, Miami, Florida.

\* \* Sección Meteorológica de Radar, Instituto de Ciencia Marina, Universidad de Miami.

\* This research was supported by U. S. Weather Bureau Contract Cwb-10507. Contribution No. 463 from The Marine Laboratory, Institute of Marine Science, University of Miami, Miami, Florida.

\* \* Radar Meteorological Section, Institute of Marine Science, University of Miami.

lios datos de radar. Debido a las capacidades del radar como instrumento meteorológico, tales datos pueden contener información sobre distribución, cantidades, tipos y movimientos de elementos de precipitación de modo 3-dimensional en toda la estructura del huracán. La significación de cualquiera de tales datos o sus relaciones con otros parámetros meteorológicos depende especialmente de una adecuada descripción de la variable apreciada por radar.

El "promedio" o huracán modelo, como aparece en el radar, fue descrito por Rockney (1956), Senn y Hiser (1959) y otros, pero los movimientos de eco de precipitación en radar apenas se han estudiado por pocos investigadores antes de 1960 (Kessler, III, E. y D. Atlas, 1956; Ligda, M. G. H., 1949; McIntyre, H. D., 1956), usando cada uno sólo un número de ecos comparativamente pequeños en huracanes individuales. En ese año, Senn y Hiser (1960) presentaron datos de movimientos de eco que equivalían a más de 1,500 ecos de 7 tormentas diversas combinados en un cuadro "completo" que contenía datos para todos los azimutes y alturas de 10 a 250 millas náuticas del centro del huracán. Obviamente era inadecuado combinar datos de diferentes radares, muy separados en localidades geográficas y de muchos huracanes de diversos años, orígenes, intensidades, áreas, etc. Por ello, ya que se recogieron excelentes datos del Huracán Donna en 1960, se decidió realizar otro intento a una escala más completa para describir movimientos de eco en radar de un solo huracán.

#### DATOS USADOS

Más de 4,000 ecos relativamente pequeños y aislados se siguieron cuidadosamente en películas de radar tomadas el 9 y 10 de Septiembre en los radares SP-1M y MPS-4 de la Universidad de Miami, el WSR-57 del U. S. Weather Bureau en Miami y el A.D.C. AN/FPS-20 en la B. F. A. MacDill, Florida. Sin embargo, debido a la falta de continuidad de ecos o de buena información de centros de tormenta con lapso de tiempo sólo unos 3,800 ecos se usaron en dicho estudio, como lo indica la Tabla I:

TABLA I

DATOS DE ECO USADOS DEL HURACAN DONNA  
HURRICANE DONNA ECHO DATA USED

	PRINCIPIO BEGUIN	FIN END	NÚM. TOTAL DE ECOS TOTAL NO. ECHOES
MIAC WSR-57	1010E 9/9	1605E 9/10	1004
MacDILL FPS-20	072E 9/10	0005E 9/11	1456
U.M. MPS-4	1550E 9/10	1820E 9/10	109
U.M. SP-1M	0645E 9/9	1135E 9/10	1236
			Total 3805

radar data. These data, due to the capabilities of radar as a weather instrument, may contain information on the 3-dimensional distribution, amounts, types and motions of precipitation elements throughout the hurricane structure. The significance of any or all of the data, or their interrelations with other meteorological parameters, depends first on an adequate description of the radar sensed variable.

The "average" or model hurricane as it appears on radar has been described by Rockney (1956), Senn and Hiser (1959), and others; but the motions of radar precipitation echoes have only been studied by a few researchers prior to 1960 (Kessler, III, E. and D. Atlas, 1956; Ligda, M. G. H., 1949; McIntyre, H. D., 1956), each researcher having used only a comparatively small number of echoes in a single hurricane. In that year Senn and Hiser (1960) presented echo motion data representing over 1,500 echoes from 7 different storms which they combined into a "complete" picture containing data on all azimuths and most ranges from 10 to 250 nautical miles from the hurricane center. The inadequacies of combining data from different radars, widely separated geographic localities, and many hurricanes of different years, origins, intensities, areas, etc., are obvious. Consequently, as the excellent data of Hurricane Donna were gathered in 1960, it was decided to make another attempt, on an even more complete scale, to describe radar echo motion in a single hurricane.

#### DATA USED

Over 4,000 isolated, relatively small echoes were carefully traced from radar film taken on the 9th and 10th of September on the SP-1M and MPS-4 radars at the University of Miami, the U. S. Weather Bureau WSR-57 radar in Miami, and the A.D.C. AN/FPS-20 radar at MacDill A.F.B., Florida. However, due to lack of continuity in echo or good time-lapse radar storm center information, only about 3,800 echoes were used in this study as indicated in Table I:

TABLE I

Las características y modos operacionales de esos radares fueron previamente tratados por Senn y Hiser (1961) señalando lo inadecuado de datos de cuando menos otros 7 radares en la Península de Florida que captaron la tormenta, pero que no permitieron la toma de películas de radar con lapso de tiempo para su estudio.

El rastreo de ecos y la reducción de datos se hicieron de la misma manera que en nuestro estudio previo (Senn, H. V. y H. W. Hiser, 1961), excepto que para el presente estudio un programa de cálculo con una IBM 1620 proporcionó algunas variables de ecos que no se tenían antes. La Tabla II es una lista de variables anotadas y perforadas en tarjetas para cada eco.

TABLA II

## VARIABLES DE MOVIMIENTOS DE ECO DE HURACANES EN RADAR

1. tormenta  $\#$ , fecha, tiempo y duración del eco
2. identificación del radar y amplitud del eco
3. ángulo de cruce de la banda espiralada, \* anchura \* y rotación \*
4. diámetro del eco, tipo \* (eco simple, protuberancia, etc.)
5. ambiente del eco \* (dentro o fuera de la banda espiralada, etc.)
6. amplitud del eco y azimut al centro de la tormenta
7. dirección y velocidad de eco, actuales (respecto al radar)
8. dirección y velocidad de eco, relativas (respecto al centro de tormenta)
9. ángulo de cruce del eco, velocidades radial y tangencial relativas
10.  $k_1$  y  $k_2$ , parámetros calculados del movimiento de eco
11. dirección y velocidad del centro de tormenta durante la vida del eco
12. dirección y velocidad del centro de tormenta en radar promediada para  $\pm 30$  minutos
13. radio del ojo del huracán

\* Dichas variables no se obtuvieron en todos los datos de eco de Donna.

El azimut de eco al centro de la tormenta también se registró en grados en vez de sólo cuadrantes de  $90^\circ$  como antes; la vida del eco se dividió en períodos de 5-minutos y otros cambios menores se introdujeron en los procedimientos usados en estudios previos para hacer más exactos los cálculos y distribuciones de tales datos.

La posición del eco respecto al centro de la tormenta en movimiento y la velocidad del mismo que usamos para obtener movimiento de eco relativo se lograron exclusivamente con mapas de centros de tormenta en radaroscopia hasta  $\pm 30$  minutos del tiempo del centro del eco. La información de vuelo registrada por el Proyecto Nacional de Investigación de Huracanes (N.H.R.P.), del U. S. Weather Bureau, se usó para lograr datos de viento, que pueden considerarse por lo menos tan exactos como los datos de eco en radar.

Los datos de Donna eran únicos ya que muchos radares con base en tierra vieron simultáneamente la tormenta desde varias posiciones, dando oportunidad para que grandes porciones o el huracán entero quedasen bajo vigilancia continua por períodos relativamente largos. Además, existen datos de vuelos de investigación concurrentes, a lo menos, con otros de radaroscopios con base en tierra mientras que la tormenta estaba sobre el mar.

The characteristics and operation modes of these radars were treated earlier by Senn and Hiser (1961). They also covered the inadequacies of data from at least 7 other radars on the Florida peninsula which viewed the storm but failed to obtain time-lapse radar film useful for this study.

Echo tracing and data reduction were accomplished in the same manner as in our earlier studies (Senn, H. V. and H. W. Hiser, 1961), except that for the present study an IBM 1620 computational program provided several echo variables not obtained previously. Table II contains a list of the variables noted and punched on cards for each echo.

TABLE II

## RADAR HURRICANE ECHO MOTION VARIABLES

1. storm  $\#$ , date, time and echo lifetime
2. radar identification and echo range
3. spiral band crossing angle, \* width \* and rotation \*
4. echo diameter, type \* (single echo, protuberance, etc.)
5. echo environment \* (in or out of spiral band, etc.)
6. echo range and azimuth from storm center
7. echo direction and speed, actual (with respect to radar)
8. echo direction and speed, relative (with respect to storm center).
9. echo crossing angle, relative radial and tangential speeds
10.  $k_1$  and  $k_2$ , computed parameters of echo motion
11. direction and speed of radar storm center during echo lifetime
12. direction and speed of radar storm center averaged for  $\pm 30$  minutes
13. hurricane eye radius

\* These variables were not obtained for all of the Donna echo data.

Echo azimuth from storm center was also recorded in degrees instead of only  $90^\circ$  quadrants as before; echo lifetime was coded in 5-minute periods; and other minor changes were made from the procedures used for previous studies in order to make computations and distributions of these data more accurate.

The position of the echo with respect to the moving storm center and the velocity of the storm center used in obtaining relative echo motion were obtained exclusively from radarscope storm center plots current to  $\pm 30$  minutes of the echo mid-point time. Recorded flight information from the U. S. Weather Bureau's National Hurricane Research Project (N.H.R.P.) were used to obtain the wind data. They can be considered to be at least as accurate as the radar echo data.

Donna data were unique in that many land-based radars viewed the storm from various positions simultaneously, bringing unusually large portions of the entire hurricane under continuous surveillance for relatively long periods. Furthermore, there are research flight data concurrent with at least some of the land-based radarscope data while the storm was over water.

Sin embargo, los datos de radar de Donna tienen ciertos inconvenientes, pues: a) casi todos los ecos en los cuadrantes izquierdos quedan sobre agua en tanto que los derechos cubren tierra y mar; b) los ecos de ciertas regiones de la tormenta se observaron durante horas completamente diferentes en el día contra ecos de otras regiones; c) el ambiente del huracán cambió de mar a tierra conforme el centro de la tormenta rodeaba la costa suroeste de Florida, aunque no de manera uniforme como podría desearse para ciertos estudios y d) las variaciones y en consecuencia, las alturas de ecos vigilados por radar no eran comparables con puntos de observación por radar ampliamente separados debido a las características de anchura del rayo en el radar MacDill. Aunque alguno de estos inconvenientes limitan la utilidad de los datos, otras variaciones son especialmente benéficas ya que resultan representativas de varios niveles de altura, características diurnas, terreno geográfico, condiciones de latitud, etc. En otras palabras, aunque no es factible pedir al programa de recolección de datos que satisfaga los fines específicos enumerados en este trabajo, una cuidadosa consideración del equipo y modos de operación nos permite usar los propios inconvenientes con ventaja para intentar estudiar y resolver varias cuestiones relativas a cinemática de ecos de huracanes.

#### COMPONENTES DEL MOVIMIENTO DE ECO

**GENERALIDADES**—El movimiento de eco se estudió distribuyendo los ecos en muchas categorías sugeridas por las variables de la Tabla II. Apenas la mitad de los muchos estudios posibles con estos datos se han realizado hasta ahora y de ellos los requisitos del espacio indican que sólo dos están presentes en aquellas. Actualmente se planea desarrollar tales estudios a mucho mayor detalle en un *Informe del Proyecto Nacional de Investigación de Huracanes*.

**VELOCIDADES TANGENCIALES Y RADIALES**—La Figura 1 muestra las velocidades relativas de eco tangenciales y radiales como una función de variación desde el centro de la tormenta, en incrementos y cuadrante de 20 millas n. con respecto al movimiento del huracán, tanto para los "Datos de Siete Tormentas" de un estudio previo como para todos los datos de Donna. Estos datos incluyen más ecos a menores distancias de lo indicado en aquel estudio. En realidad, el alineamiento de las curvas que podrían dibujarse reuniendo los puntos con flechas en un cuadrante dado parecen ser función del número de ecos que se usaron para trazar la curva. Las curvas de ambos cuadrantes derechos de Donna destacan en un aspecto: representan un total combinado de 2,870 ecos en tanto que las curvas de los dos cuadrantes izquierdos sólo representan 872 ecos y muestran fluctuación más considerable en las velocidades tangenciales y radiales de eco.

La tendencia para componentes radiales muy pequeñas en el cuadrante izquierdo anterior es muy significativa en ambos grupos de datos, generalmente con movimiento saliente de eco hacia la izquierda y atrás y componentes uniformemente entrantes en los cuadrantes derechos. También las velocidades tangenciales son generalmente más altas a la izquierda del centro de tormenta de lo que son a la derecha.

The radar data from Donna are biased to the extent that: a) almost all the echoes in the left quadrants are over water, whereas echoes in the right quadrants were found over both land and water; b) echoes from certain regions of the storm were observed during completely different hours of the day than echoes from other regions; c) the environment of the hurricane changed from water to land as the storm center skirted the southwest coast of Florida but not in a uniform fashion as might be desired for certain studies; and d) the ranges and therefore heights of echoes under radar surveillance were not comparable for widely separated radar vantage points due to the beam-width characteristics of the MacDill radar. Although some of the bias limits the usefulness of the data, other variations in the data are especially beneficial in that the data thereby become representative of various altitude levels, diurnal characteristics, geographical terrain and latitude conditions, etc. In other words, while it was not feasible to design the data gathering program to fulfill all of the specific aims enumerated in this paper, careful consideration of the equipment and modes of operation permits us to use the built-in biases to advantage in attempting to study and answer a variety of questions regarding the kinematics of hurricane echoes.

#### COMPONENTS OF ECHO MOTION

**GENERAL**—Echo motion was studied by distributing the echoes into many of the categories suggested by the variables listed in Table II. Only about half of the many studies possible from these data have been made to date. Of these, space requirements dictate that only two be presented herein. It is presently planned to present these and other studies in much greater detail in a forthcoming *National Hurricane Research Project Report*.

**RADIAL AND TANGENTIAL SPEEDS**—Figure 1 shows the radial and tangential relative echo speeds as a function of range from storm center in 20-n. mi increments and quadrant with respect to hurricane motion for both the "Seven Storms Data" from a previous study and all of the Donna data. The Donna data included more echoes at shorter ranges and does not show the general decrease in tangential echo speeds at these ranges which was indicated in the earlier study. In fact, the smoothness of the curves which might be drawn by connecting the arrow points in a given quadrant appear to be a function of the number of echoes which were used in obtaining the curve. The curves for the two right quadrants in Donna are outstanding in this respect, representing a combined total of 2,870 echoes; while the curves for the two left quadrants, representing only 872 echoes, show considerably more fluctuation in both tangential and radial echo speeds.

Very significant in both sets of data is the tendency for very small radial components in the left front quadrant, generally outward echo motion to the left rear, and uniformly inward components in the right quadrants. Also, the tangential speeds are generally higher to the left of the storm center than they are to the right.

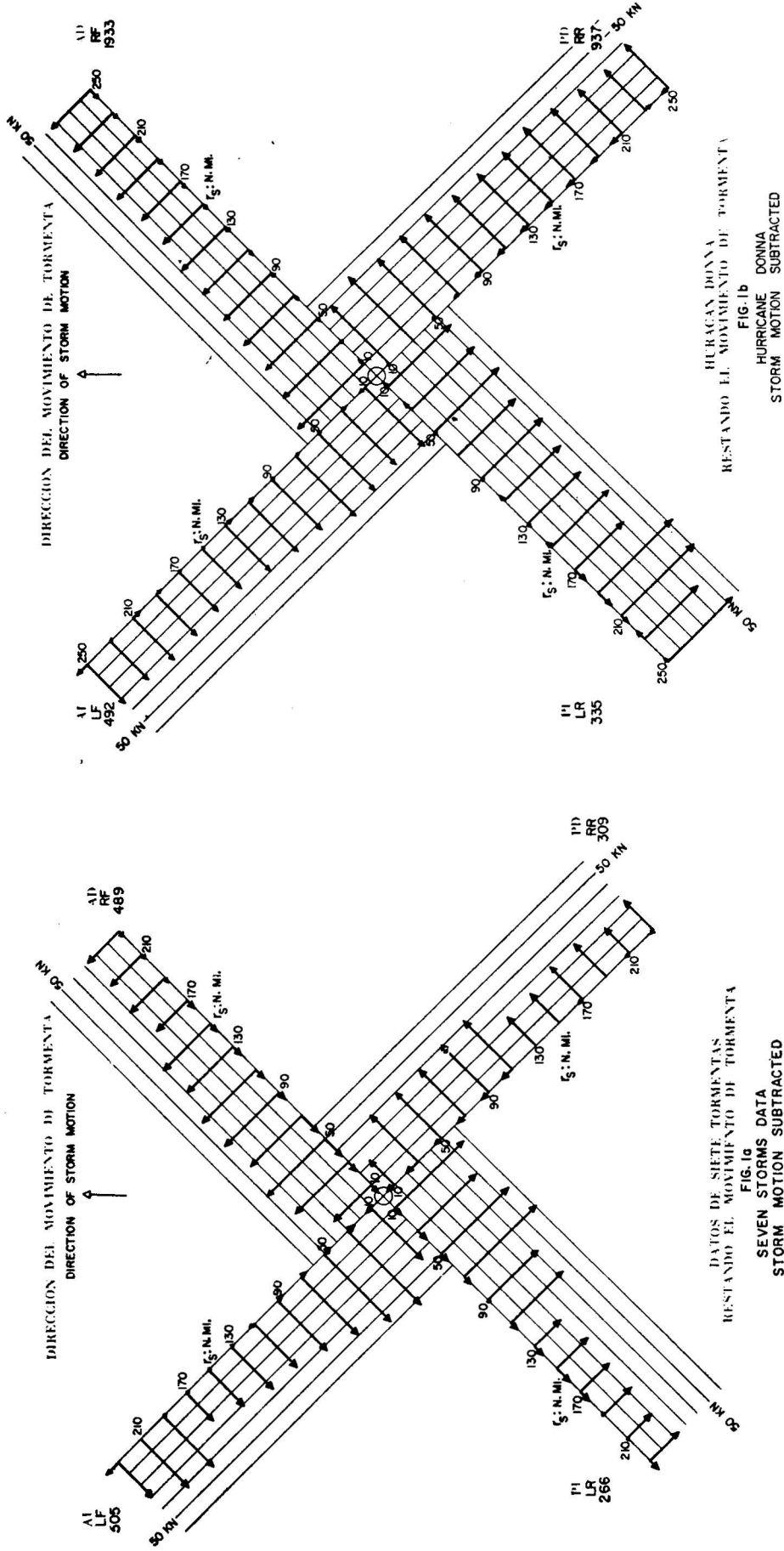


FIG. 1.— COMPARACION DE VELOCIDADES DE ECHO RADIAL Y TANGENCIAL PARA CADA CUADRANTE DE DONNA Y SIETE TORMENTAS.  
FIG. 1 — COMPARISON OF TANGENTIAL AND RADIAL ECHO SPEEDS FOR EACH QUADRANT OF DONNA AND SEVEN STORMS DATA

CINEMÁTICA DEL ECO DEL VIENTO—La Figura 2 muestra los vientos de superficie a las 18:00 TMG en las áreas con vientos de unos 1,600-, 13,000- y 14,200-ps según vuelos del N.H.R.P. cerca de las 14:00 y 20:00 TMG el 9 de Septiembre de 1960. Los datos de eco de radar para las 17:00-19:00 TMG quedaron superpuestos a los datos de viento para comparación. Aunque algunas diferencias en tiempo para los diversos datos son obvias, pueden hacerse ciertas inferencias generales. Como podría esperarse, los vientos de superficie tienen ángulos entrantes de cruzamiento mayores que otros vientos o ecos en la misma cercanía. La magnitud de los ángulos de cruzamiento es sorprendentemente grande aún para vientos de superficie,  $75^\circ$  para uno y  $60^\circ$  para otro dentro de 75 millas n. del centro de la tormenta. Los vientos de 1,600-ps son esencialmente tangenciales a la izquierda delantera y a la derecha trasera, hacia afuera en el cuadrante izquierdo posterior y apreciablemente hacia adentro en el derecho delantero. Los vientos de 13,000- y 14,200-ps son esencialmente tangenciales con componentes radiales salientes muy pequeñas en los cuadrantes. Por desgracia, el centro de la tormenta quedaba tan lejos de tierra que los ecos sólo representan a los cuadrantes derechos y al izquierdo delantero.

Los ecos en el cuadrante frontal derecho tienen ángulos de cruzamiento hacia adentro de menor magnitud que aquellos de vientos de 1,600-ps y casi los mismos ángulos de cruzamiento de vientos a niveles de 14,200-ps, aunque sus velocidades son generalmente menores que los vientos de todos niveles que aparecen en la Figura 2, cerca del centro de la tormenta. Sin embargo, en el cuadrante derecho delantero los ecos de mayor variación generalmente exceden a las velocidades de vientos y en el cuadrante posterior derecho tienen ángulos de cruzamiento hacia adentro mayores que los vientos representados, aunque sus velocidades están más cerca de las velocidades de vientos. En los cuadrantes izquierdos, los ecos se aproximan más a las variaciones y direcciones de vientos en los niveles de 1,600- y 14,200-ps, al parecer con pocas diferencias entre vientos en ambos niveles.

Aunque los datos de altura no pudieron consultarse para los ecos que aparecen en la Figura 2, los datos IHR para la región de los cuadrantes derechos tomados unas horas más tarde muestran una amplia banda brillante a 16,000-18,000-ps. Las cimas de ecos convectivos medios superan en el cuadrante frontal derecho excediendo a los vientos de niveles de 13,000-14,000-ps por un factor de  $1\frac{1}{2}$  a 2. Las bases de los ecos no pudieron fijarse debido a la distancia y a los efectos de curvatura de la Tierra.

#### DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los campos de movimientos de ecos en el Huracán Donna el 9 y 10 de Septiembre de 1960 puede compararse razonablemente bien con el promedio de "Datos de Siete Tormentas" ya que las más altas velocidades de eco y movimientos de ecos hacia afuera ocurren en el cuadrante posterior izquierdo en ambos grupos de datos.

Cuando se compara el movimiento de ecos con los vientos en varios niveles ahora mencionados para Donna, no

ECHO-WIND KINEMATICS—Figure 2 shows the 18:00 GMT surface winds in the area along with some of the 1,600-, 13,000- and 14,200-ft winds from N.H.R.P. flights between about 14:00 and 20:00 GMT on 9 September 1960. Radar echo data for 17:00-19:00 GMT are superimposed on the wind data for comparison. Although some of the differences in time for the various data are obvious, certain general inferences can be made. The surface winds, as one might expect, have greater inward crossing angles than other winds or echoes in the same vicinity. The magnitude of the crossing angles is surprisingly great even for surface winds,  $75^\circ$  for one and  $60^\circ$  for the other within 75 n. mi of the storm center. The 1,600-ft winds are essentially tangential in the left front and right rear quadrants, outward in the left rear quadrant and appreciably inward in the right front. The 13,000- and 14,200-ft winds are essentially tangential with very small outward radial components in most quadrants. Unfortunately, the storm center is so far from land that echoes are representative of only the right quadrants and the left front quadrant.

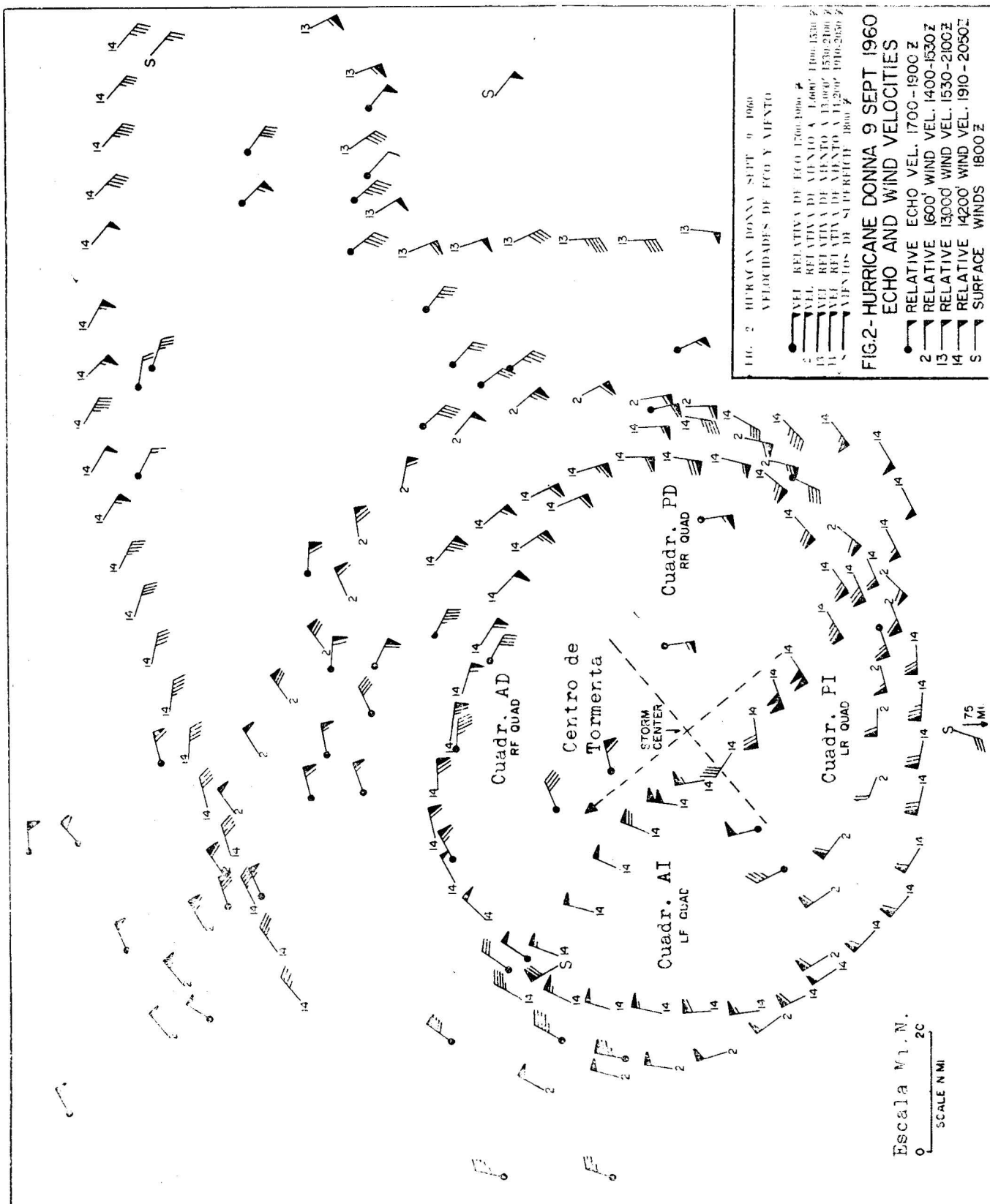
Echoes in the right front quadrant have inward crossing angles of smaller magnitude than those of the 1,600-ft winds, and about the same crossing angles as the 14,200-ft winds; but their speeds are generally lower than the winds at all levels plotted in Figure 2 near the storm center. However, in the right front quadrant echoes at greater ranges generally exceed the wind speeds. Echoes in the right rear quadrant have greater inward crossing angles than the winds plotted but their speeds are near the wind speeds. Echoes in the left quadrants more nearly approximated the wind speeds and directions at both the 1,600- and 14,200-ft levels. There appear to be few differences between the winds at these two levels.

Although height data are not available for the echoes shown in Figure 2, RHI data for the region of the right quadrants taken a few hours later show a widespread bright band at 16,000-18,000-ft. The average convective echo tops in the right front quadrant exceeded the 13,000-14,000-ft wind levels by a factor of  $1\frac{1}{2}$  to 2. Echo bases were not available due to distance and Earth curvature effects.

#### DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The fields of echo motion in Hurricane Donna on 9 and 10 September 1960 compares reasonably well with the averaged "Seven Storms Data" in that the highest echo velocities and outward echo motion occur in the left rear quadrants in both sets of data.

When echo motion is compared to winds at the various levels reported here for Donna, it cannot be said that the



puede decirse que los ecos sigan generalmente a los vientos en un nivel particular. En vez de ello, las muy limitadas observaciones parecen indicar hasta ahora que hay diferencias significantes en las relaciones viento-eco en los cuadrantes derechos de un huracán. Hasta conocer muchos más datos no se puede forjar la hipótesis de que los ecos en los cuadrantes derechos (especialmente el frontal derecho) aparentan moverse más despacio porque están en una región de generación y ventilándose en la manera sugerida por Simpson y Riehl (1958). En los cuadrantes izquierdos (especialmente el posterior izquierdo) los ecos pueden encontrarse en estado de disipación o sujetos a transporte de viento más simple que no afecta su ambiente inmediato tanto como en los cuadrantes derechos.

Los datos en la Figura 2 indican deformación de vientos mucho menor con la altura en los cuadrantes izquierdos que en los derechos. También se consultaron algunos datos IHR para ampliar el estudio sobre movimientos de ecos en varias alturas, así como otros del problema ligados con los actuales datos de ecos IBM que están desarrollándose. Se tiende a creer que la relación viento-eco está fuertemente complicada por componentes de propagación y también tomando en cuenta cierta evidencia de pequeñas áreas de ecos de precipitación de radar, que no necesariamente se mueven con el viento en un nivel particular o en todos los niveles en que el eco se encuentra localizado pareciendo que el término "vientos-aps" (Ligda, M. G. H. y W. A. Mayhew, 1954) es inapropiado y equivoco en tales casos.

La presente distribución de ecos en el Huracán Donna debería repetir, por lo menos parcialmente, los datos de otras tormentas. Aunque tales estudios llevan mucho tiempo, es deseable que se continúen para determinar las verdaderas relaciones cinemáticas viento-eco para ambos huracanes y para otras situaciones del tiempo tropical.

echoes generally follow the winds at a particular level. Instead, it appears from the very limited observations to date that there are significant differences in the echo-wind relationships in the right quadrants of a hurricane. Until far more data become available, one can only hypothesize that echoes in the right quadrants (especially the right front) appear to move more slowly because they are in a region of generation and are being ventilated in a fashion suggested by Simpson and Riehl (1958). In the left quadrants (especially the left rear) the echoes may be in the dissipating stages and subject to more simple wind transport without affecting their immediate environment as much as those in the right quadrants.

The data in Figure 2 indicate slightly less wind shearing with height in the left quadrants than in the right. Some RHI data are also available for further study on echo motion at various heights, and allied studies of the problem with the present IBM echo data are now in progress. There is growing feeling that the echo-wind relationship is reverely complicated by propagation components. Also, since there is some evidence that small radar precipitation echo areas do not necessarily move with the wind at a particular level, or all levels in which the echo is embedded, the term "spawind" (Ligda, M. G. H. and W. A. Mayhew, 1954) would seem to be inappropriate and misleading in such cases.

The present Hurricane Donna echo distributions should be at least partially duplicated with data from other storms. Even though such studies are time consuming, it is desirable that they be repeated in order to determine the true kinematical echo-wind relationships for both hurricane and other tropical weather situations.

#### BIBLIOGRAFIA

- KESSLER, III, E. & D. ATLAS. 1956. Radar Synoptic Analysis of Hurricane Edna, 1954. *Geophys. Res. Paper* 50, A.F.C.R.C., (Bedford, Mass.), pp. 22-25.
- LIGDA, M. G. H. 1949. Analysis of Motion of Small Precipitation Areas in the Hurricane. *M.I.T. Technical Note* No. 3, pp. 30-34.
- LIGDA, M. G. H. & W. A. MAYHEW. 1954. On the Relationship between the Velocities of Small Precipitation Areas and Geostrophic Winds. *Jour. Meteorology*, XI:421-423.
- MCINTYRE, H. D. 1950. Radar Study on the Motion of Small Precipitation Areas in Hurricanes Carol and Edna. *M.I.T. Technical Note* No. 9, pp. 4-5.
- ROCKNEY, V. D. 1956. Hurricane Detection and Other Means. Tropical Cyclone Symposium (Brisbane, Australia), Paper No. 10.
- SENN, H. V. & H. W. HISER. 1959. On the Origin of Hurricane Spiral Bands. *Jour. Meteorology*,
- 1960. The Mean Motion of Radar Echoes in the Complete Hurricane. *Proc. 8th. Weather Radar Conference* (San Francisco, Calif.).
- 1961. Effectiveness of Various Radars in Tracing Hurricanes. *Proc. Second Tech. Confer. on Hurricanes and Tropical Meteorology*. (Miami Beach, Fla.).
- SIMPSON, R. H. & H. RIEHL. 1958. Mid-Tropospheric Ventilation on a Construction Hurricane Development and Maintenance. *Proc. Second Tech. Confer. on Hurricanes and Tropical Meteorology*, pp. D1-1/D4-10.

#### BIBLIOGRAPHY