

NUEVAS ESTRELLAS RAFAGA Y LA RELACION ESPECTRO-RAPIDEZ DE LA VARIACION

Guillermo Haro y Enrique Chavira

Como se indicó en anteriores trabajos,^{1,2} en el Observatorio de Tonantzintla se han encontrado algunas evidencias que permiten suponer que siempre que se observe un grupo de estrellas con características espectroscópicas del tipo T Tauri, existe una alta probabilidad de encontrar, asociadas a éstas, variables rápidas del tipo ráfaga. Los resultados obtenidos en la Nebulosa de Orión alentaron nuevas observaciones en otras áreas, peculiarizadas igualmente, por la presencia de nubes de material interestelar y de estrellas con características T Tauri.

En este artículo, presentamos el estudio realizado sobre una región del Toro que cubre 25 grados cuadrados y con centro en AR 4h 29m Dec. +24°. Con anterioridad, Joy³ en Monte Wilson y Haro, Iriarte y Chavira,⁴ en Tonantzintla, habían descubierto, en la misma área, un buen número de estrellas enanas con líneas de emisión en sus espectros. Nuestras observaciones revelan la existencia de 7 nuevas estrellas variables rápidas del tipo UV Ceti (ráfaga). Tomando en conjunto a las estrellas ráfaga —descubiertas en la vecindad del Sol, en Orión y en el Toro— se demuestra que existe entre ellas una relación *espectro-rapidez de la variación*.

Material de Observación

El período de observación estuvo comprendido del 21 de Octubre al 31 de Diciembre de 1954. En este lapso de tiempo, y usando la cámara Schmidt del Observatorio de Tonantzintla, se tomaron 26 series de placas con centro en AR 4h 29m Dec. +24°. Las series corresponden a 26 diferentes noches de observación, obteniéndose 138 placas. En cada placa se hicieron 5 exposiciones consecutivas de 10 minutos cada una, lo que dió un total de 690 diferentes exposiciones, con un tiempo efectivo de observación de 115 horas. La Tabla I resume los datos relativos a las series de placas tomadas. En la columna 1 se da el número progresivo de la serie; la columna 2 indica la fecha en que la serie fué tomada; la columna 3 señala el número total de placas dentro de cada serie; en la columna 4 se da el tiempo unitario de exposición para cada imagen; la columna 5 contiene el número de exposiciones o de

TABLA I

Series de Placas tomadas con la cámara Schmidt

Nº de Serie	Fecha 1954	Nº de Placas Serie	Tiempo de Exp. Unitario	Nº de Exp. por Placa	Nº de Exp. en la Serie	Tiempo total de Obs. efectiva	Tiempo entre 1ª y última Exp.	Tipo de Placa tomada
			m			m	h m	
1	21-22 Octubre	3	10	5	15	150	2 56	103 aE + Filtro W. 29
2	22-23 "	4	10	5	20	200	3 52	103 a0
3	23-24 "	4	10	5	20	200	4 1	103 a0
4	24-25 "	4	10	5	20	200	4 1	103 a0
5	25-26 "	4	10	5	20	200	3 59	103 a0
6	26-27 "	4	10	5	20	200	4 00	103 a0
7	1-2 Noviembre	3	10	5	15	150	2 56	103 a0
8	17-18 "	4	10	5	20	200	4 00	103 aE + Filtro W. 29
9	23-24 "	4	10	5	20	200	4 5	103 a0
10	24-25 "	7	10	5	35	350	7 53	103 a0
11	25-26 "	8	10	5	40	400	8 21	103 a0
12	26-27 "	8	10	5	40	400	8 9	103 a0
13	27-28 "	5	10	5	25	250	5 36	103 a0
14	29-30 "	8	10	5	40	400	8 5	103 a0
15	30-1 Diciembre	7	10	5	35	350	7 17	103 a0
16	16-17 "	3	10	5	15	150	2 55	103 a0
17	19-20 "	7	10	5	35	350	7 11	103 a0
18	20-21 "	7	10	5	35	350	7 4	103 a0
19	21-22 "	3	10	5	15	150	6 48	103 a0
20	22-23 "	6	10	5	30	300	6 6	103 a0
21	25-26 "	7	10	5	35	350	6 57	103 a0
22	26-27 "	5	10	5	25	250	4 48	103 a0
23	27-28 "	6	10	5	30	300	5 44	103 a0
24	28-29 "	4	10	5	20	200	5 13	103 a0
25	29-30 "	7	10	5	35	350	6 38	103 a0
26	30-31 "	6	10	5	30	300	5 39	103 a0
Totales			138		690	115 00	143 44	

imágenes de una misma estrella en cada placa; el número total de exposiciones en la serie respectiva se da en la columna 6; la columna 7, indica el tiempo total en minutos de observación efectiva en cada serie; en la columna 8, el tiempo total requerido para tomar la serie; por último, en la columna 9 se indica el tipo de emulsión fotográfica usada.

Nuevas Estrellas Ráfaga en el Toro

El área estudiada en el Toro, al ser observada con exposiciones múltiples, no presenta las dificultades encontradas en la Nebulosa de Orión, especialmente por lo que se refiere a la fuerte interferencia de la nebulosa brillante y a los efectos fotográficos causados por ésta. Lo anterior, junto con la relativa baja densidad estelar de esta nueva región, nos permitió hacer en cada placa 5 distintas exposiciones de 10 minutos cada una, sin que ésto causara un empastelamiento excesivo entre las imágenes estelares. Las 5 imágenes diferentes y consecutivas de una misma estrella, facilitaron el reconocimiento de abruptas variaciones lumínicas del orden de 0.2 magnitudes —o más— que pudieran efectuarse dentro de un período de tiempo de 50 minutos aproximadamente. Indudablemente que, debido a la técnica empleada, la duración calculada en el cambio de brillo de una estrella, quedaría limitada por el tiempo unitario de las exposiciones; esto es: en el mejor de los casos, no podríamos reconocer variaciones menores a 10 minutos y, en general, las curvas de luz de las variables encontradas —aún suponiendo que la duración de su variación fuera mayor de 10 minutos— resultarían, necesariamente, suavizadas tanto en tiempo como en el rango de la variación.

El examen del material de observación señalado en la Tabla I, ha dado como resultado el descubrimiento de 7 nuevas variables que muestran rápidos y considerables cambios en su brillo. Todas ellas, fueron encontradas en el centro o en la periferia de conspicuas nubes oscuras en el Toro; resultando interesante hacer notar que, en las regiones cercanas, no afectadas aparentemente por fuerte oscurecimiento, no se descubrió ninguna estrella que mostrara rápida variación. Lo anterior, indudablemente es una buena evidencia de que las nuevas variables están asociadas o sumergidas en las nubes oscuras de material interestelar.

La Tabla II resume algunos de los datos referentes a estas 7 nuevas variables. En la columna 1 se anota el número de Tonantzintla correspondiente a los nuevos objetos; a las estrellas previamente publicadas por Haro y Morgan,⁵ por Haro y Terrazas¹ y por Haro,² en la Nebulosa de Orión, corresponden los números de 1 al 12. Las columnas 2 y 3 indican las coordenadas aproximadas para la época de 1900. En la columna 4 se dan las magnitudes fotográficas correspondientes al mínimo normal y al máximo observado. La columna 5 contiene los rangos de variación fotográficos. La columna 6 da los tiempos de duración de las variaciones: de mínimo normal a mínimo normal, pasando por el máximo. (Indudablemente que los tiempos calculados para la duración de las variaciones en estas estrellas, corresponden a valores máximos, debido al tiempo unitario de exposición, 10 minutos, y al lapso transcurrido en el cambio de placas). La columna 7 da los tipos espectrales determinados. Para las estrellas Nos. 15 y 17 el Dr. Herbig hizo la clasificación, basándose en espectrogramas obtenidos en el Observatorio de Lick; para las otras estrellas, el tipo espectral fué determinado en placas infrarojas tomadas en Tonantzintla y clasificadas con la colaboración del Dr. Víctor Blanco.

TABLA II
Estrellas Ráfaga en el Toro

Nº Tonantzintla	AR (1900) h m	Dec. (1900)	Mag. Fotográficas Mínimo — Máximo	Rango Variación	Duración de la variación m	Tipo Espectral
13	4 24.5	+ 22° 24'	16.5 — 15.5	1.0	28	dM5±
14	4 28.9	22 45	17.4 — 15.7	1.7	29	dM5±
15	4 29.1	22 42	15.8 — 14.4	1.4	61	dM0 ó dM1
16	4 29.8	23 50	17.3 — 16.4	0.9	10	dM5±
17	4 30.6	22 50	15.9 — 14.8	1.1	21	dM4 ó dM5
18	4 30.8	23 25	17.5 — 16.3	1.2	35	dM5±
19	4 31.4	23 58	17.8 — 17.1	0.7	10	dM6±

A continuación se proporcionan con mayor detalle, algunos datos de observación para cada una de las nuevas variables:

Variable N° 13.—Esta estrella muestra una rápida variación en la serie de 6 placas tomada la noche del 27-28 de Diciembre de 1954. En cada placa se hicieron 5 exposiciones de 10 minutos cada una; entre exposición y exposición hubo un intervalo no mayor de 2 segundos. El total de exposiciones en esta serie fué igual a 30. En las primeras 18 exposiciones la estrella aparece en su mínimo normal, aproximadamente la magnitud fotográfica 16.50. En la exposición 19 la variable aumentó una magnitud, volviendo posteriormente a su brillo normal. (Fig. 1). En la Tabla III damos los tiempos universales correspondientes al punto medio de las exposiciones hechas alrededor del máximo, durante el máximo y, además, las magnitudes fotográficas respectivas.

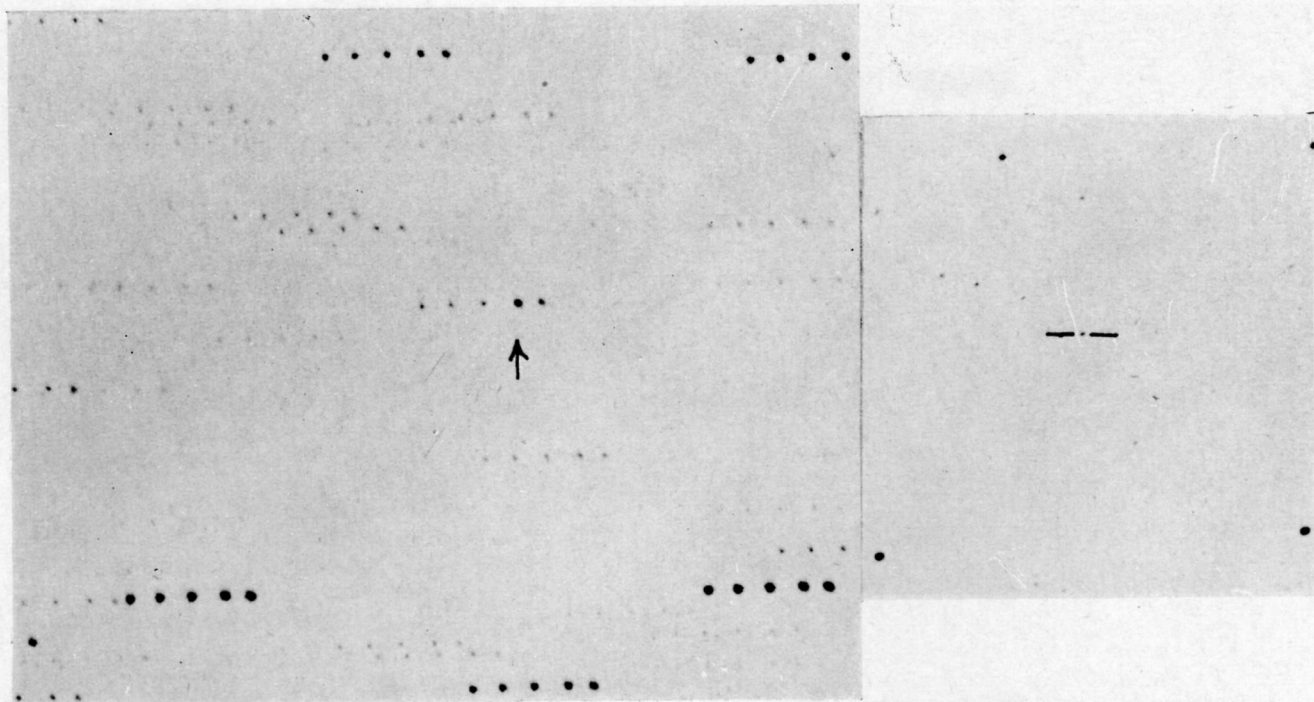


Figura N° 1.—A la izquierda aparece la reproducción de la placa AC 4276, correspondiente a la serie tomada la noche del 27-28 de Diciembre de 1954. En la cuarta exposición contenida en esta placa (cuéntense las imágenes de izquierda a derecha), la variable aumenta en brillo, aproximadamente, una magnitud; en la quinta imagen se advierte el decrecimiento en la luz de esta estrella. A la derecha se incluye un mapa para la localización de la Variable N° 13. En esta figura, el Norte queda hacia arriba y el Oeste a la derecha.

TABLA III

Variable N° 13

<i>Placas Cámara Schmidt</i>	<i>T. U.</i>		<i>Magnitud</i>	<i>Espectro</i>
	<i>28 Dic. 1954</i>		<i>Foto- gráfica</i>	
	h	m		
AC 4276 — Exp. 16	5	08	16.5	dM5e (v)
4276 — Exp. 17	5	18	16.5	
4276 — Exp. 18	5	28	16.5	
4276 — Exp. 19	5	38	15.5	
4276 — Exp. 20	5	48	16.2	
AC 4277 — Exp. 21	6	06	16.5	
4277 — Exp. 22	6	16	16.5	
4277 — Exp. 23	6	26	16.5	

El examen de la curva de luz de esta variable indica que el tiempo máximo de variación pudo ser de 28 minutos, aunque es muy probable que la duración real haya sido menor, especialmente si se considera que la iniciación de la exposición 21, debido a que hubo necesidad de cambiar de placa, se retardó algunos minutos. En la placa espectroscópica AC 3133 tomada el 11 de Febrero de 1953, T. U. 3h 47m, la estrella N° 13 muestra una débil línea de $H\alpha$ en emisión; sin embargo, en 2 placas espectrales posteriores, esta emisión no es visible.

Variable N° 14.—En la serie de 8 placas tomada la noche del 26-27 de Noviembre de 1954 se hicieron 40 exposiciones de 10 minutos cada una. En la exposición 9 esta estrella aumenta su brillo normal en 1.7 magnitudes. (Fig. 2). La duración máxima de la variación resultó ser del orden de 29 minutos. La Tabla IV, en forma similar a la Tabla anterior, resume algunos de los datos observados; en las exposiciones no anotadas, la variable se conserva en su mínimo normal.

En la placa espectral AC 3133, tomada el 10-11 de Febrero de 1953, T. U. 3h 47m, esta estrella muestra una muy débil línea de emisión en $H\alpha$.

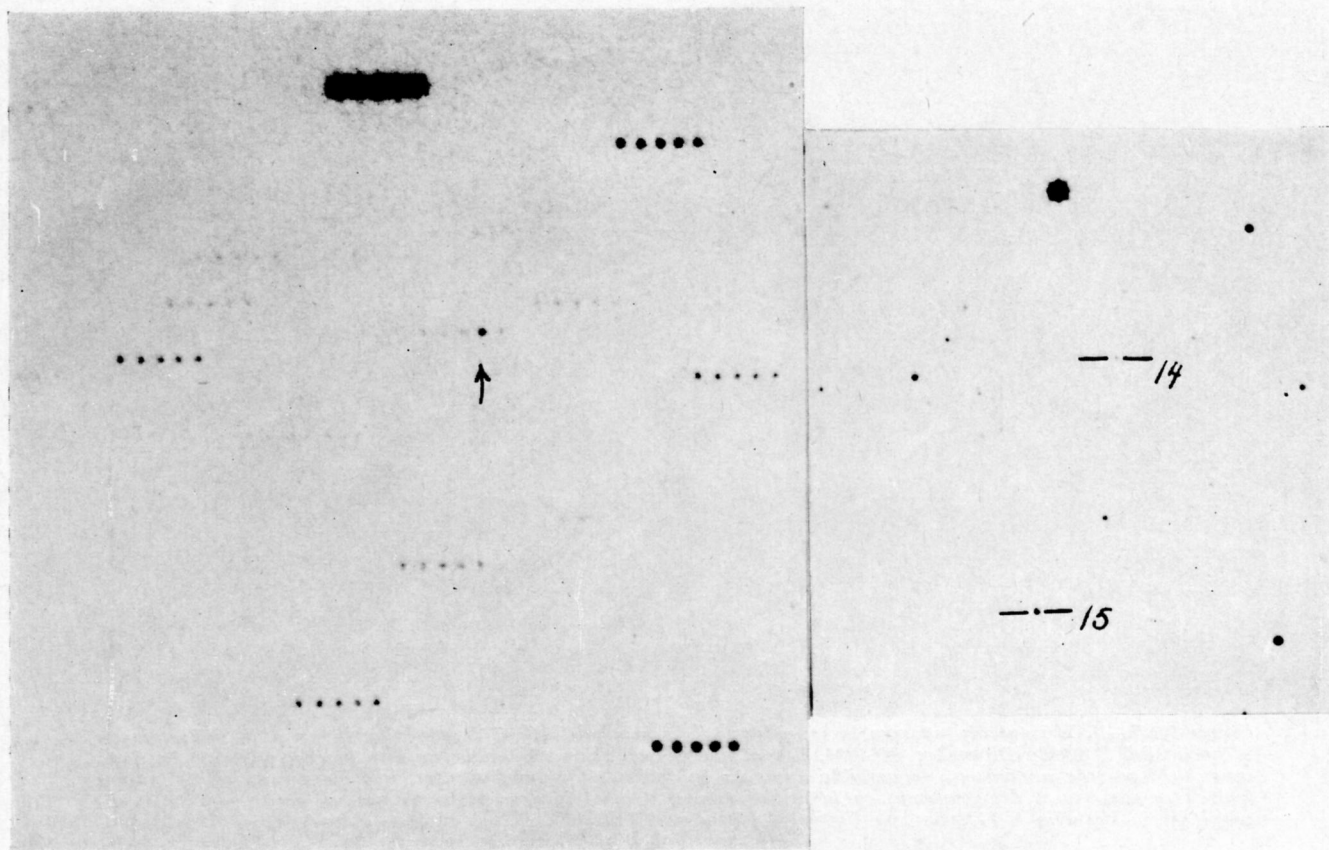


Figura N° 2.—A la izquierda aparece la reproducción de la placa AC 4117, correspondiente a la serie tomada la noche del 26-27 de Noviembre de 1954. En la cuarta exposición de esta placa, la estrella aumenta su brillo normal en 1.7 magnitudes. A la derecha se incluye un mapa para la localización de las Variables Nos. 14 y 15. El Norte está orientado hacia arriba y el Oeste a la derecha.

TABLA IV
Variable N° 14

Placas Cámara Schmidt	T. U. 27 Nov. 1954	Magnitud Foto- gráfica	Espectro
	h m		
AC 4117 — Exp. 6	3 33	17.4	dM5e (v)
4117 — Exp. 7	3 44	17.4	
4117 — Exp. 8	3 55	17.4	
4117 — Exp. 9	4 06	15.7	
4117 — Exp. 10	4 17	17.2	
AC 4118 — Exp. 11	4 35	17.4	
4118 — Exp. 12	4 46	17.4	
4118 — Exp. 13	4 57	17.4	

Variable N° 15.—A solicitud de uno de los autores, el Dr. George H. Herbig, del Observatorio de Lick, amablemente obtuvo un espectrograma de esta estrella el 11 de Febrero de 1955, T. U. 4h 59m (dispersión 430 A/mm en $H\gamma$), encontrando que el tipo espectral correspondía a dM0 ó dM1 sin señales de emisión en las líneas de hidrógeno y del calcio. En la serie de 4 placas, tomadas en Tonantzintla la noche del 25-26 de Octubre de 1954, se hicieron 20 exposiciones de 10 minutos cada una; en la novena exposición la estrella sube de brillo ligeramente, alcanzando su máximo en la décima exposición (Fig. 3), para después volver con relativa lentitud a su mínimo normal. La duración máxima en la variación de esta estrella es del orden de 61 minutos, evidentemente mayor que los tiempos de variación observados para las otras estrellas ráfaga en el Toro. En la Tabla V se resumen algunos datos sobre la variabilidad de esta estrella.

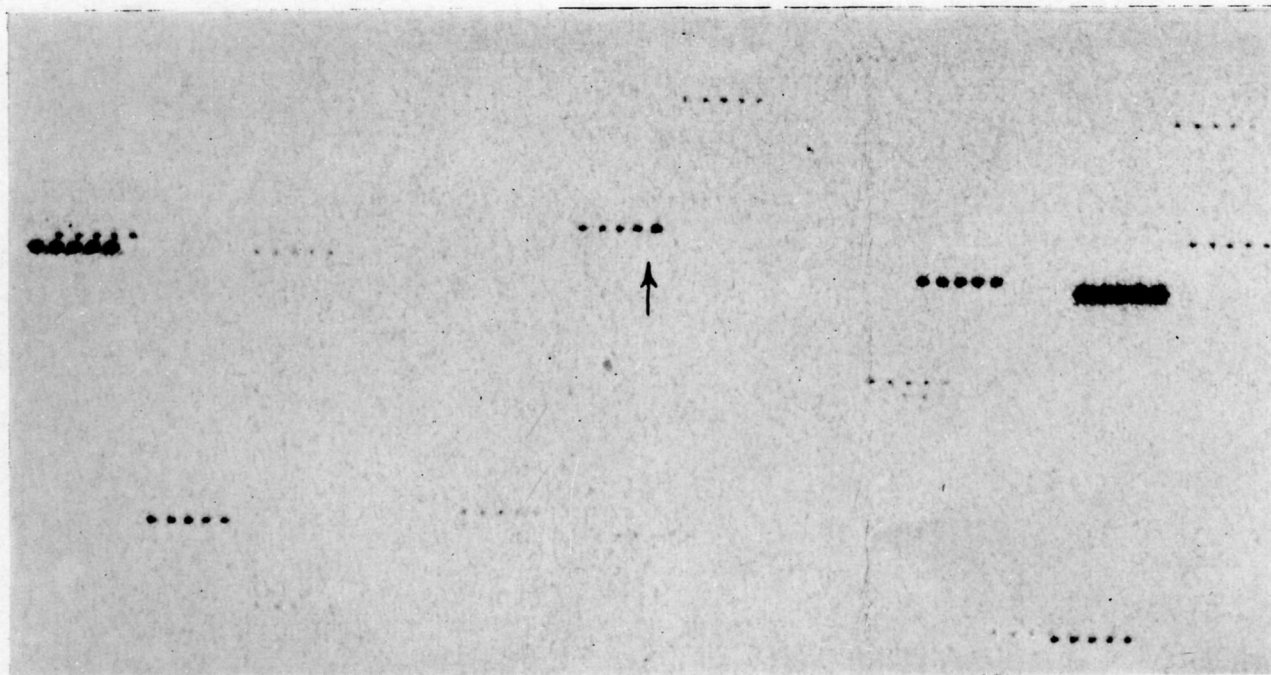


Figura N° 3.—En la reproducción de la placa AC 4033, correspondiente a la serie tomada la noche del 25-26 de Octubre de 1954, la Variable N° 15 inicia la subida de brillo en la imagen cuarta, llegando al máximo en la imagen quinta. En la placa siguiente de la serie, AC 4034, la Variable vuelve con relativa lentitud, a su mínimo normal.

TABLA V
Variable N° 15

Placas Cámara Schmidt	T. U. 26 Oct. 1954	Magnitud		Espectro
		Foto- gráfica		
		h m		
AC 4033 — Exp. 6	5 42	15.8		dM0 ó dM1
4033 — Exp. 7	5 53	15.8		
4033 — Exp. 8	6 04	15.8		
4033 — Exp. 9	6 15	15.2		
4033 — Exp. 10	6 26	14.4		
AC 4034 — Exp. 11	6 43	14.6		
4034 — Exp. 12	6 54	15.2		
4034 — Exp. 13	7 05	15.5		
4034 — Exp. 14	7 16	15.8		
4034 — Exp. 15	7 27	15.8		

Variable N° 16.—La serie de 5 placas, tomada la noche del 27-28 de Noviembre de 1954, muestra en la exposición 7, el rápido aumento del brillo de esta estrella. (Fig. 4). En todas las demás imágenes la variable se conservó en su mínimo normal, resultando la duración máxima de la variación igual a 10 minutos. Se tuvo especial cuidado al examinar tanto la estructura como la posición de la imagen correspondiente al brillo máximo, para cerciorarse que no se trataba de un defecto en la emul-

TABLA VI
Variable N° 16

Placas Cámara Schmidt	T. U. 28 Nov. 1954	Magnitud		Espectro
		Foto- gráfica		
		h m		
AC 4125 — Exp. 6	3 36	17.3		dM5
4125 — Exp. 7	3 47	16.4		
4125 — Exp. 8	3 58	17.3		
4125 — Exp. 9	4 09	17.3		
4125 — Exp. 10	4 20	17.3		

sión. La imagen de referencia es perfectamente normal y no muestra la menor señal defectuosa. La Tabla VI proporciona las magnitudes fotográficas y los tiempos universales, correspondientes a los puntos medios de las exposiciones hechas en la segunda placa de la serie arriba mencionada.

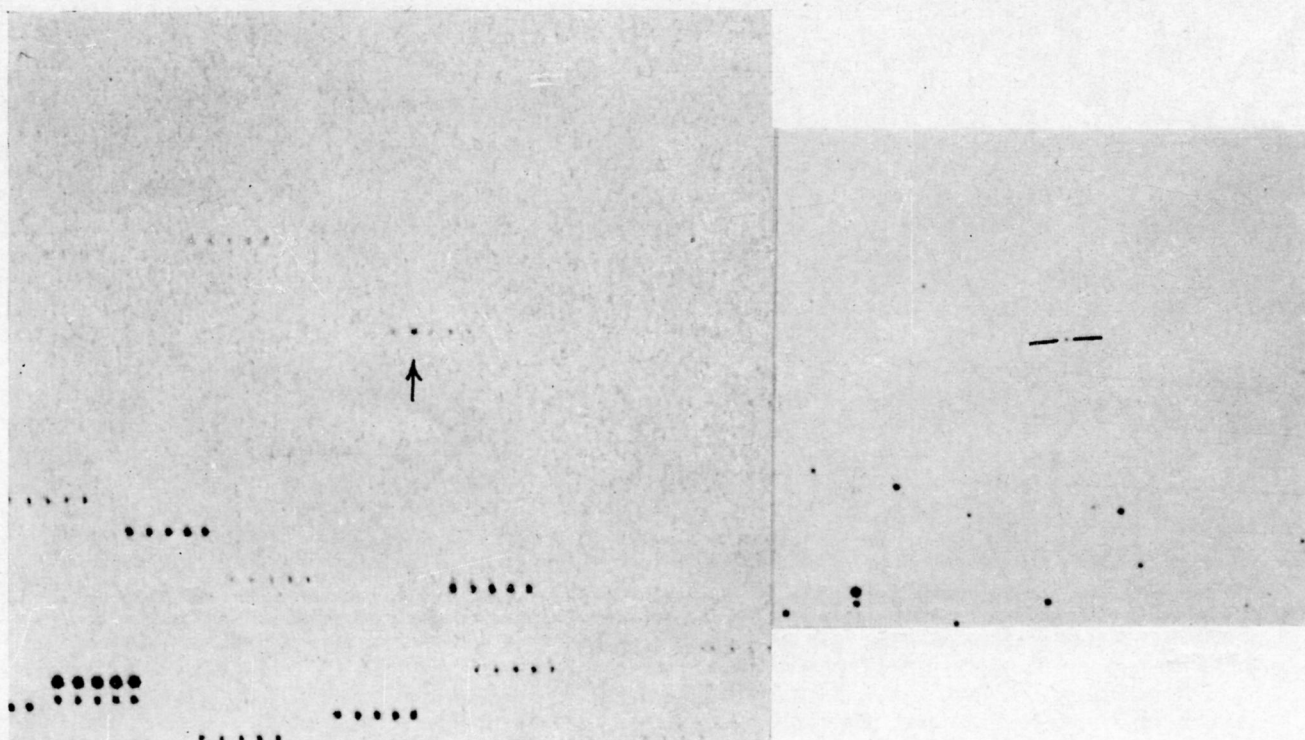


Figura N° 4.—A la izquierda del grabado aparece la reproducción de la placa AC 4125, correspondiente a la serie tomada la noche del 27-28 de Noviembre de 1954. La segunda exposición en esta placa, muestra la rápida variación. A la derecha se incluye un mapa para la localización de esta estrella. El Norte está orientado hacia arriba y el Oeste a la derecha.

Variable N° 17.—La noche del 25-26 de Noviembre de 1954 se tomó una serie de 8 placas con un total de 40 exposiciones. La estrella aparece en su mínimo normal en las 9 primeras exposiciones y sólo en la décima muestra un abrupto cambio de brillo. (Fig. 5). En las 30 restantes exposiciones la variable vuelve a su mínimo normal. La duración máxima de variación es igual a 21 minutos. En la placa espectroscópica AC 3133 y AC 1106, ésta última, tomada el 7 de Noviembre de 1948, T. U. 6h 59 m, la estrella muestra en su espectro una débil línea $H\alpha$ en emisión; sin embargo, en una tercera placa espectral, tomada en diferente fecha, la emisión no es visible aunque no se advierte ningún cambio sensible en la intensidad del espectro continuo. El Dr. Herbig nos informa que, en Febrero 11 de 1955 T. U. 5h 39m, obtuvo un espectrograma de este objeto (dispersión 430 Å/mm en $H\gamma$) encontrando que el tipo espectral era dM4 ó dM5 pero sin señales de H ó $CaII$ en emisión. En la Tabla VII se resumen los datos más importantes de la variación de esta estrella.

TABLA VII

Variable N° 17

Placas Cámara Schmidt	T. U. 26 Nov. 1954	Magnitud	Espectro
		Foto- gráfica	
	h m		
AC 4107 — Exp. 6	3 35	15.9	dM4 ó dM5 (la intensidad de $H\alpha$ en emi- sión es varia- ble)
4107 — Exp. 7	3 46	15.9	
4107 — Exp. 8	3 57	15.9	
4107 — Exp. 9	4 08	15.9	
4107 — Exp. 10	4 19	14.8	
AC 4108 — Exp. 11	4 39	15.9	
4108 — Exp. 12	4 50	15.9	
4108 — Exp. 13	5 01	15.9	

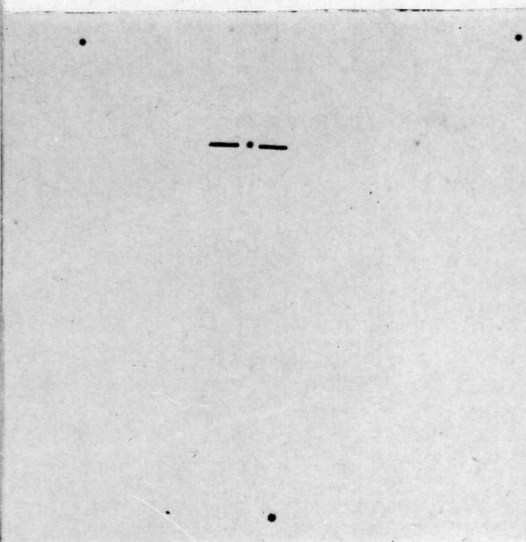
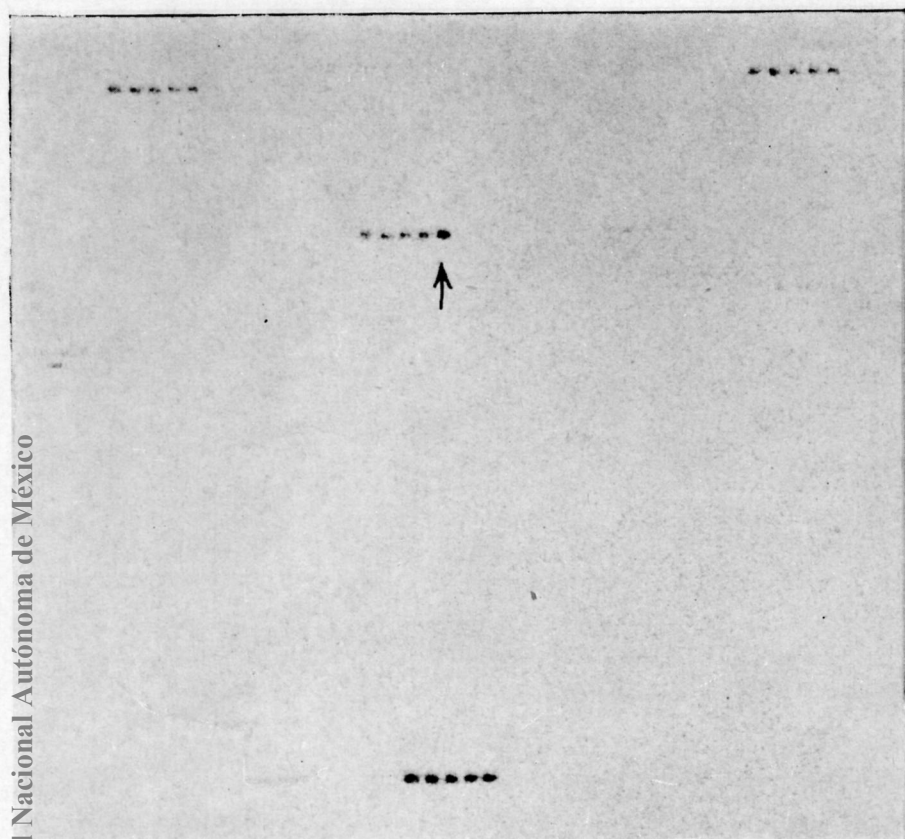


Figura N° 5.—A la izquierda aparece la reproducción de la placa AC 4107, correspondiente a la serie tomada la noche del 25-26 de Noviembre de 1954. En la quinta exposición en esta placa, se advierte el abrupto cambio de brillo. A la derecha el mapa para la identificación de esta estrella. El Norte queda hacia arriba y el Oeste a la derecha.

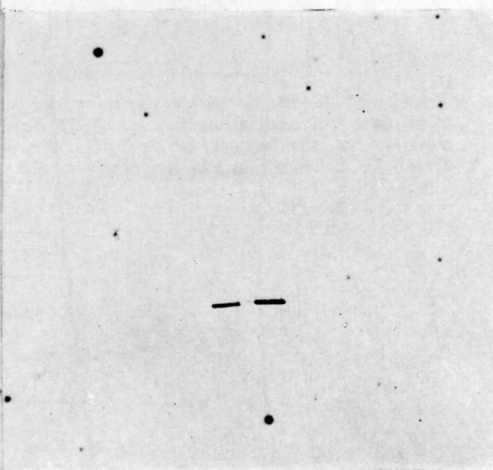
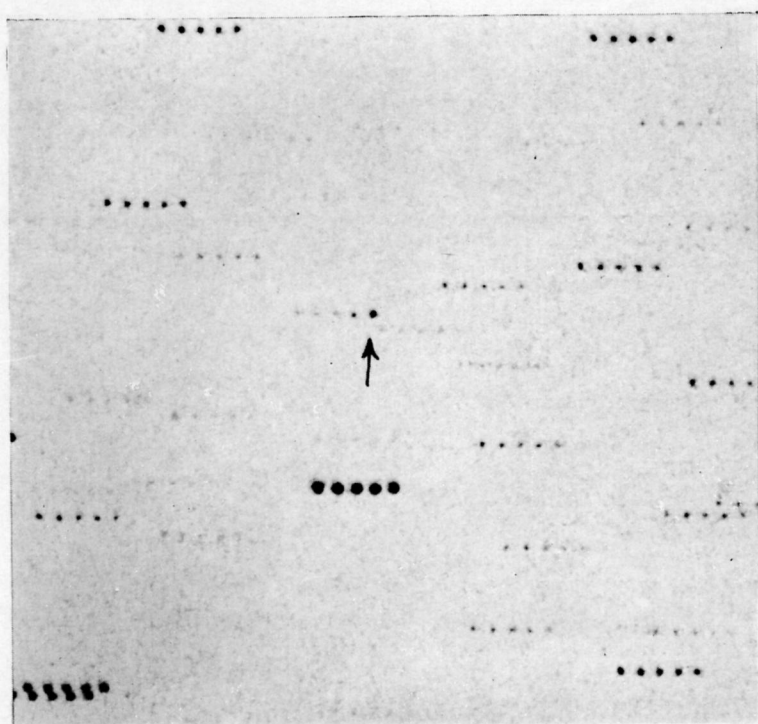


Figura N° 6.—A la izquierda del grabado, la reproducción de la placa AC 4142, correspondiente a la serie tomada la noche del 30-1, Noviembre-Diciembre de 1954. En la cuarta exposición en esta placa, la estrella inicia su variación llegando al máximo en la quinta imagen. A la derecha se incluye el mapa para la identificación. El Norte queda hacia arriba y el Oeste a la derecha.

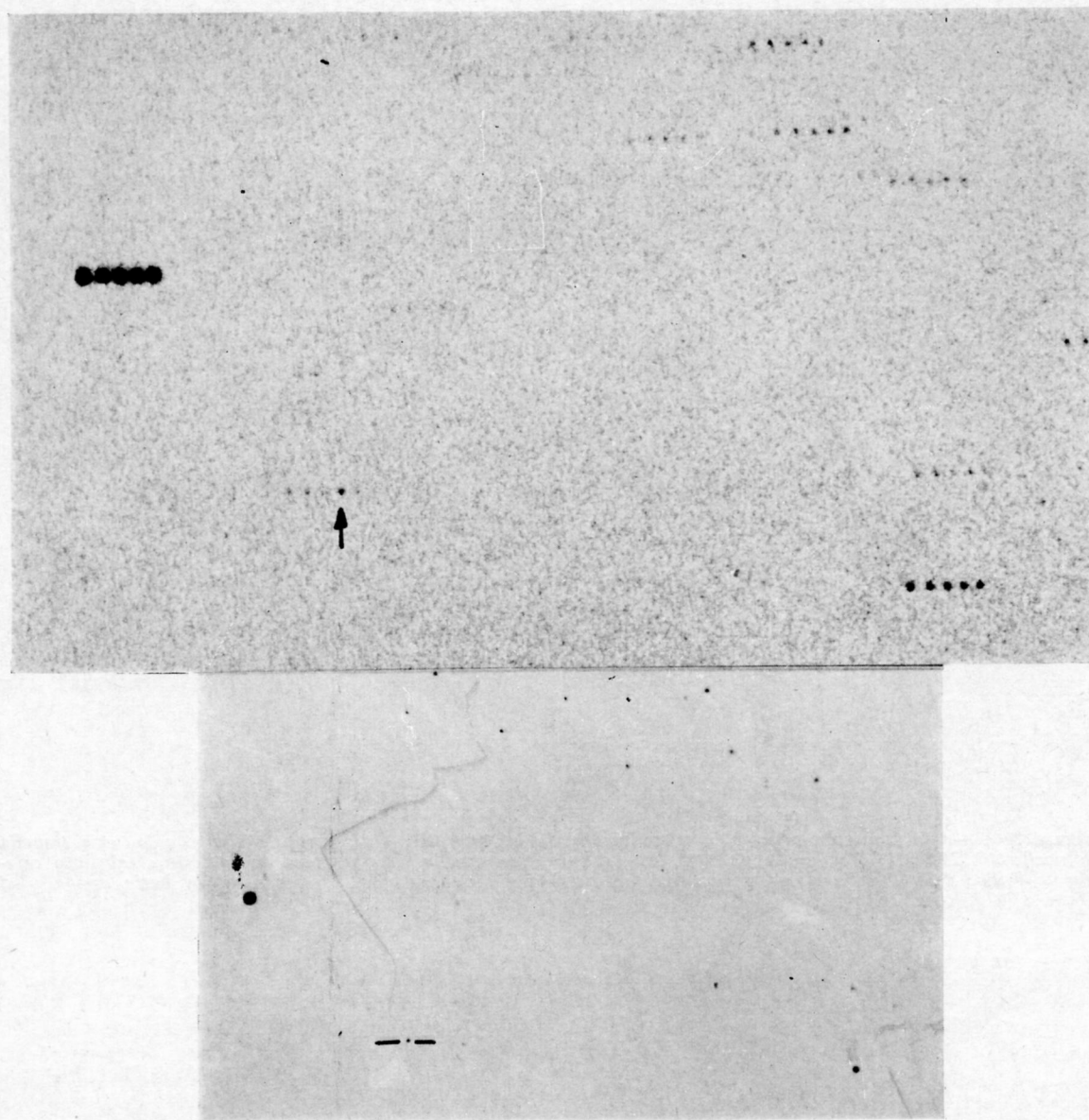


Figura N° 7.—En la parte superior del grabado aparece la reproducción de la placa AC 4245, correspondiente a la serie tomada ~~de~~ la noche del 20-21 de Diciembre de 1954. En la cuarta imagen de esta placa, la estrella muestra su rápido cambio de brillo. En la parte inferior, se incluye el mapa para la identificación de esta Variable. El Norte queda orientado hacia arriba y el Oeste a la derecha.

TABLA VIII

Variable N° 18

Placas Cámara Schmidt	Magnitud		Espectro
	T. U. 1 Dic. 1954	Foto- gráfica	
	h m		
AC 4142 — Exp. 11	4 58	17.5	dM5
4142 — Exp. 12	5 09	17.5	
4142 — Exp. 13	5 20	17.5	
4142 — Exp. 14	5 31	17.2	
4142 — Exp. 15	5 42	16.3	
AC 4143 — Exp. 16	6 06	17.5	
4143 — Exp. 17	6 17	17.5	
4143 — Exp. 18	6 28	17.5	

Variable N° 18.—La duración máxima calculada en la variación de este objeto, la noche del 30-1 Noviembre-Diciembre de 1954, fué de 35 minutos. De las 35 exposiciones hechas en las 7 placas de la serie sólo 2 muestran cambios de brillo respecto al mínimo normal. En la exposición 14 la estrella inicia su variación, llegando al máximo en la exposición 15 (*Fig. 6*); en todas las exposiciones siguientes la variable aparece en su mínimo normal. En 3 placas espectrales obtenidas en diferentes fechas, la estrella observada en su mínimo, no muestra la línea $H\alpha$ en emisión. La Tabla VIII contiene los datos más significativos para la construcción de la curva de luz de esta variable.

Variable N° 19.—De todas las estrellas ráfaga encontradas en el Toro, ésta es la de tipo espectral más tardío y de color más rojo. En la placa espectral AC 1106 la línea $H\alpha$ en emisión es débil, en otras placas espectrales esta línea brillante no es visible. La duración máxima de la variación observada en la serie de 7 placas tomadas la noche del 20-21 de Diciembre de 1954, fué de 10 minutos. (*Fig. 7*). En la Tabla IX se dan algunos datos para la construcción de la curva de luz.

TABLA IX
Variable N° 19

Placas Cámara Schmidt	T. U. 21 Dic. 1954		Magnitud Foto- gráfica	Espectro
	h m			
AC 4245 — Exp. 16	1	34	17.8	dM6c (v)
4245 — Exp. 17	1	45	17.8	
4245 — Exp. 18	1	56	17.8	
4245 — Exp. 19	2	07	17.1	
4245 — Exp. 20	2	18	17.8	
AC 4246 — Exp. 21	2	36	17.8	
4246 — Exp. 22	2	47	17.8	
4246 — Exp. 23	2	58	17.8	

En cada una de las estrellas que ahora presentamos, sólo una variación conspicua ha sido observada en las series de placas a que se refiere la Tabla I. En la colección de placas existentes en el Observatorio de Tonantzintla, y tomadas con anterioridad a las series de referencia, no se ha advertido ninguna variación significativa en estas estrellas, a no ser los cambios de intensidad en la línea $H\alpha$ brillante en algunas de ellas. En todos estos últimos casos, aparentemente, la intensidad del espectro continuo no ha variado.

Relación Espectro-Rapidez de la Variación

Los datos de observación obtenidos para algunas de las estrellas ráfaga en las vecindades del Sol y en las regiones de Orión y del Toro, demuestran que existe una evidente relación entre sus tipos espectrales y el tiempo de duración total de las variaciones en sus brillos. Al estudiar las estrellas ráfaga en la Nebulosa de Orión, ya se había indicado que estos últimos objetos mostraban variaciones en lapsos de tiempo sistemáticamente mayores que los observados para las estrellas ráfaga de nuestras vecindades.¹ Los nuevos datos sobre las estrellas ráfaga en el Toro vienen a complementar nuestros conocimientos sobre este tipo estelar y hacer clara la existencia de la relación *espectro-rapidez de la variación* en las estrellas ráfaga en general.

El diagrama de la *Fig. 8* representa esta relación. En la construcción del diagrama sólo intervinieron las estrellas ráfaga en las que se conoce, con cierta aproximación, el tiempo de variación total: de mínimo normal a mínimo normal, pasando por el máximo. En la Tabla X se listan las estrellas utilizadas para establecer la presente relación. En la columna 1 aparece el nombre con que es conocida la estrella. En la columna 2, el tiempo aproximado de la duración total en la variación observada; para las estrellas ráfaga de las vecindades del Sol se han tomado los datos publicados por diversos autores y representan solo valores promedios aproximados; en las estrellas de Orión y del Toro los tiempos se calcularon a partir de las curvas de luz construidas para cada estrella y sólo representan valores máximos que una observación fotoeléctrica hubiera podido reducir. La columna 3 da los tipos espectrales; para las estrellas ráfaga en las vecindades del Sol, los tipos espectrales son los publicados por Roques;⁶ los espectros de las estrellas del Toro fueron clasificados por el Dr. Herbig, o en placas espectrales infrarojas tomadas con la cámara Schmidt de Tonantzintla; para las estrellas de Orión los tipos espectrales son simples aproximaciones basadas en el módulo de distancia de la Nebulosa, en las magnitudes aparentes y colores de las estrellas y en la apariencia espectral en placas infrarojas por comparación con las variables rápidas Orión N° 5 y Orión N° 8, a quienes el Dr. Herbig clasificó como dK6. (La variable rápida Orión N° 8 no aparece listada en la Tabla X, porque las observaciones obtenidas no fueron suficientes para construir su completa curva de luz).

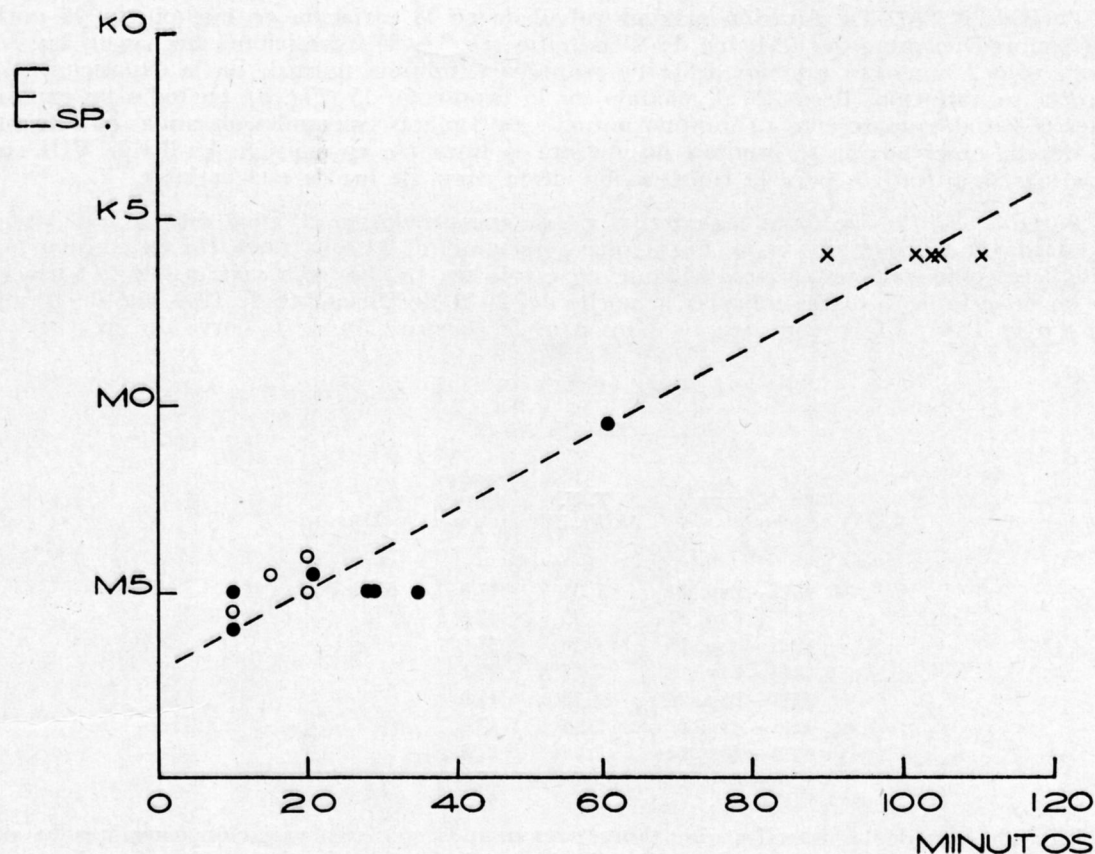


Figura Nº 8.—Diagrama Espectro-Rapidez de la Variación para las estrellas Ráfaga. Los círculos blancos representan a estrellas Ráfaga en las vecindades del Sol; los círculos negros corresponden a estrellas Ráfaga en las nubes oscuras del Toro y las cruces representan a las estrellas Ráfaga en la Nebulosa de Orión. En la coordenada vertical se indican los tipos espectrales y en la horizontal el tiempo, en minutos, de la variación total correspondiente.

TABLA X
Estrellas Ráfaga en el Diagrama
Espectro-Rapidez de la Variación

Nombre de la Estrella	Duración total de la variación	Tipo Espectral
	m	
L 726-8	10	dM5.5e
BD + 20° 2465	20	dM4e
Krüger 60 B	15	dM4.5e
BD + 19° 5116AB	20	dM4e-dM5.5e
Orión Nº 5	102	dK5 ó dK7
Orión Nº 7	105	dK6 ?
Orión Nº 9	104	dK6 ?
Orión Nº 10	90	dK6 ?
Orión Nº 12	111	dK6 ?
Toro Nº 13	28	dM5±
Toro Nº 14	29	dM5±
Toro Nº 15	61	dM0 ó dM1
Toro Nº 16	10	dM5±
Toro Nº 17	21	dM4 ó dM5
Toro Nº 18	35	dM5±
Toro Nº 19	10	dM6±

Indudablemente, la presente relación *espectro-rapidez de la variación* adolece de las limitaciones y falta de finura del material observacional en que está basada. Sin embargo, la relación es tan acusada que resiste a la misma tosquedad de los datos obtenidos. No obstante la dispersión en el diagrama de la Fig. 8, se destacan claramente las posiciones relativas del grupo de estrellas dM tardías con respecto a las posiciones de la estrella Nº 15, dM0-M1, del Toro y el grupo de estrellas dK de

Orión. La determinación de más precisos tipos espectrales y curvas de luz para las estrellas de Orión y del Toro, refinarán sin duda alguna, la relación que presentamos. La carencia de magnitudes absolutas para las estrellas de Orión y del Toro nos ha impedido construir el diagrama *luminosidad-rapidez de la variación*, aunque todo parece indicar que esta relación también existe. A este respecto resulta significativo señalar que Roques⁶ ha encontrado que las tres variaciones observadas fotoeléctricamente en la estrella L 726-8 ($M_v = 16.1$) muestran una rapidez mayor que las variaciones observadas en BD + 19° 5116 ($M_v = 11.1-13.6$) y en BD = 20° 2465 ($M_v = 10.9$).

Consideraciones Finales

Podemos ahora sintetizar algunos resultados o conclusiones que se desprenden de nuestras observaciones sobre las variables rápidas en las nubes de material interestelar de Orión y del Toro, intentando, a la vez, relacionarlas con las estrellas ráfaga en las vecindades del Sol.

1) Por lo que se refiere a las variables del Toro, presentadas en este trabajo, se puede concluir que todas ellas están asociadas o sumergidas en nubes de material interestelar. Esta afirmación se basa en varias razones: a) los tipos espectrales y las magnitudes aparentes; b) la localización de todas estas estrellas en el centro o en la periferia de las conspicuas nubes oscuras del Toro y c) su distribución paralela o semejante a las estrellas de tipo T Tauri encontradas en la misma región.

2) Las variables rápidas Nos. 13, 14, 16, 17, 18 y 19 en el Toro, muestran características idénticas a las estrellas ráfaga descubiertas en la vecindad del Sol. Son, desde luego, estrellas enanas más tardías que dM3 y sus variaciones rápidas y esporádicas se efectúan en lapsos de tiempo del mismo orden que en las estrellas ráfaga cercanas. Creemos que estas nuevas evidencias difícilmente encontrarán objeción: se trata, en ambos casos, de un mismo fenómeno y fundamentalmente, de una misma clase de variables.

3) Gracias a la generosa colaboración del Dr. George H. Herbig, del Observatorio de Lick, se obtuvieron 2 espectrogramas de rendija de las variables rápidas Nos. 5 y 8 en Orión. La variable N° 5, observada en Lick el 24 de Enero de 1955, T. U. 8h 18m con una dispersión de 430 Å/mm en $H\gamma$, tiene tipo espectral dK5 ó dK7, sin H ó CaH en emisión. La variable N° 8, observada con la misma dispersión que la anterior, el día 13 de Febrero de 1955, T. U. 4h 30m, muestra un tipo espectral cercano a dK6 con débiles líneas de hidrógeno en emisión pero sin líneas de calcio brillantes. (La clasificación de estos espectros fué hecha por el Dr. Herbig). Las placas espectrales infrarojas, obtenidas en Tonantzintla para el estudio de las otras variables rápidas en Orión, demuestran, por lo menos, que estos objetos son más tempranos que M0-M1. Por la apariencia de estas estrellas en las placas rojas e infrarojas, por sus magnitudes aparentes y su color —enteramente similares a las variables Nos. 5 y 8 de tipos espectrales conocidos— podemos concluir que la gran mayoría de las variables rápidas en Orión tienen tipos espectrales dK tardíos.

4) Las variables rápidas N° 7 y N° 8 en Orión fueron observadas, en forma simultánea y durante la subida al máximo, en luz ultravioleta-azul y roja respectivamente, mostrando una fuerte radiación en longitudes de onda corta posiblemente causada por emisión continua semejante a la observada por Joy y Humason⁷ en la estrella ráfaga UV Ceti.

5) La variable N° 15 en el Toro, de tipo espectral dM0 ó dM1 (también observada y clasificada por el Dr. Herbig), constituye un excelente ejemplo intermedio entre las variables rápidas de tipos dM tardíos y las variables rápidas dK tardías en Orión. Todo lo anterior, a nuestro modo de ver, demuestra que existe una evidente secuencia espectral entre las estrellas ráfaga. Si a ésto agregamos la relación *espectro-rapidez de la variación*, expuesta con anterioridad, reforzamos nuestras pruebas en el sentido de que tanto las variables ráfaga de las vecindades del Sol como las variables rápidas en Orión y en el Toro, pertenecen a una misma clase de variables, y en ellas se verifica, fundamentalmente, un mismo tipo de fenómeno que causa la variación.

6) La presencia de un espectro quiescente con líneas de emisión no parece ser condición esencial en las estrellas ráfaga de Orión y del Toro. Solo en algunas de estas estrellas se han observado, en el espectro normal, líneas de emisión y la intensidad de ellas parece variable. Por otro lado en las estrellas ráfaga conocidas en las vecindades del Sol, los espectros quiescentes observados, siempre han mostrado líneas de emisión. Esto, que podría posiblemente constituir una diferencia significativa, puede muy bien ser interpretado como el efecto de una selección observacional: en el espectro quiescente de las estrellas ráfaga, en las vecindades del Sol, se observan líneas de emisión por la sencilla razón de que sólo se han estudiado estrellas con espectros dMe.

7) No obstante que la región del Toro fué estudiada en la misma forma exhaustiva que la región de Orión, y que en la primera la técnica de observación fué perfeccionada, no se encontraron en ella variables rápidas con espectros más tempranos que M0. Lo anterior, aunque solo responde a una investigación preliminar, no deja de ser significativo y, desde luego, no puede interpretarse como el efecto de una selección observacional, sino posiblemente como una carencia real —en la región de las nubes oscuras del Toro— de estrellas dK con características ráfaga o, por lo menos, de su muy baja

frecuencia. En cambio, si puede explicarse, como efecto de selección observacional, el que, en la Nebulosa de Orión, no hayamos encontrado estrellas ráfaga de tipo M, especialmente cuando éstos son tardíos, debido al módulo de distancia de la Nebulosa y a la magnitud límite de nuestra investigación. Resulta igualmente importante considerar los datos que sobre estrellas ráfaga tenemos en las vecindades del Sol, junto con las características T Tauri, "suavizadas", de las estrellas enanas con emisión que las rodean. Especulando sobre estas diferencias aparentes, se podría concluir que las estrellas ráfaga, pertenecientes a asociaciones T de diferentes edades, acusan —ellas mismas— el estado de evolución del agregado al que pertenecen.

Nos es profundamente grato expresar nuestro agradecimiento al Dr. George H. Herbig, del Observatorio de Lick, por su valiosa colaboración y, también, al Dr. Víctor Blanco, por su ayuda en la clasificación espectral.

R E F E R E N C I A S

- 1.—G. Haro y L. Rivera T.—Boletín de Tonantzintla y Tacubaya N° 10, Junio, 1954.
- 2.—G. Haro.—Boletín de Tonantzintla y Tacubaya N° 11, Diciembre, 1954.
- 3.—A. H. Joy.—Ap. J. **110**, 424, 1949.
- 4.—Haro, Iriarte y Chavira.—Boletín de Tonantzintla y Tacubaya N° 8, Agosto, 1953.
- 5.—G. Haro and W. W. Morgan.—Ap. J., **118**, 16, 1953.
- 6.—P. E. Roques.—P. A. S. P., **67**, 34, 1955.
- 7.—A. H. Joy and M. L. Humason, Pub. A. S. P. **61**, 133, 1949.

NEW FLARE STARS AND THE SPECTRUM-RATE OF VARIATION RELATION

In this study we confirm the statement made in previous papers,^{1,2} where it was indicated that, whenever there exists a group of T Tauri stars, there is the possibility of finding, associated to them, rapid variables of the flare type. Hence, we have found 7 new variables of the UV Ceti type in the Taurus dark regions. The new data we have at hand permits us to draw a *spectrum-rate of variation* relation for the flare stars in general.

Observational Data

The observational material was obtained within the period October 21 to December 31, 1954, with the Tonantzintla Schmidt camera. A total of 26 series of plates were taken, centered at RA 4h 29m, Dec. + 24°. The series were secured in 26 different nights comprising 138 plates. Five exposures, each of 10 minutes duration, were made on each plate. The total number of different exposures of the whole series was 690, with an effective observational time of 115 hours. Table I summarizes the data of the series taken. Column 1 gives the progressive number of the series; column 2, the date in which the series were taken; column 3, the total number of plates taken in each series; column 4, the time of a single exposure; column 5, the number of exposures made on each plate; column 6, the number of exposures taken in each series; column 7, the total effective observational time in each series; column 8, the total time required to take the whole series; and lastly, in column 9, the type of photographic emulsion used.

New Flare Stars in the Taurus Region

Table II summarizes the data for the 7 new flare stars found in the Taurus dark regions. The Tonantzintla number for each star is marked in column 1; numbers 1 to 12 were given to the twelve rapid variables previously discovered by Haro and Morgan,⁵ Haro and Terrazas,³ and Haro². Columns 2 and 3 indicate the coordinates (1900). Under column 4, the photographic magnitudes for the normal minimum and the observed maximum are given. Column 5 indicates the approximate range of photographic variation. Column 6 contains the time of variation: from normal minimum to the maximum observed brightness, and back to normal minimum. Column 7 gives the approximate spectral type; stars Nos. 15 and 17 were classified by Dr. Herbig, who took at Lick Observatory one slit spectrogram (of dispersion 430 Å/mm at $H\gamma$) for each of these two stars. The spectral types of the rest of the variables were determined from infrared spectral plates taken at Tonantzintla and classified with Dr. Victor Blanco's cooperation.

The observational data obtained for each of the stars is given in Tables Nos. III, IV, V, VI, VII, VIII and IX. All of these last Tables contain, in the first column, the number of the Schmidt plate, followed by the serial number of the exposure made in the series to which the plate belongs; second column, the U. T. midpoint of the exposure; the third column, the photographic magnitudes; and in the fourth column, the spectral type. Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 are reproductions of the plates in which the outburst of the variables was discovered. A small chart with a single exposure is included in each figure to facilitate identification of the flare stars. (In all figures West is in the right side and North at the top).

The Spectrum-Rate of Variation Relation

The observational data obtained from some of the flare stars in the vicinities of the sun, and in the regions of Orion and Taurus show that there is an obvious relation between their spectral types and the total time of the complete variation in brightness. When studying the flare stars in the Orion Nebula, it was asserted that these particular stars varied in periods of time systematically larger than the ones observed in the flare stars in the vicinities of the sun.¹ The new information on the Taurus flare stars complements, up to a certain extent, our knowledge of this peculiar stellar type and makes clear the existence of the *spectrum-rate of variation* relation for the flare stars in general. This relation is represented in Figure 8. (The spectral types are plotted against the length of variation in minutes). Only flare stars with a known time of total variation were used in the drawing of the diagram. The flare stars used

to establish the present relation are listed in Table X. First column gives the name by which the star is known. In the second column the approximate total time of the variation observed is given; for the flare stars in the vicinities of the sun we have taken the data published by several authors, and only represent approximate mean values; for the Orion and Taurus flare stars the time of variation was derived from light-curves made for each star and only represent maximum values that a photoelectric observation could have undoubtedly diminished. Column 3 presents the spectral types; for the flare stars in the vicinities of the sun, the spectral types are the ones published by Roques,⁶ the spectra of the Taurus variables are the ones contained in Table II; for the Orion variables and with the exception of the Orion star No 5, classified by Dr. Herbig, only very rough spectral types are given. These were based on considerations of distance modulus, apparent magnitudes, approximate colors and their appearance in the infrared spectral plates, which were identical to those of Orion No 5 and No 8 flare stars classified by Dr. Herbig as dK6. (Rapid variable, Orion No 8, does not appear in Table X because we do not have the complete data for the drawing of its light-curve).

Undoubtedly, the present *spectrum-rate of variation* relation reveals the same limitations and lack of fineness which characterizes the observational material on which it is based. Nevertheless, the relation is so marked that it resists the roughness of the data observed. Notwithstanding that the dispersion shown in the diagram of Figure No 8 could be augmented, there would always clearly outstand the relative positions of the late dM stars with respect to the positions of the Taurus star No 15, dM0-M1, and the group of dK stars in Orion. More precise spectral types and light-curves for the variables in Orion and Taurus could, beyond doubt, refine the submitted relation. The lack of absolute magnitudes for the Orion and Taurus stars has prevented us from drawing the *luminosity-rate of variation* diagram, even though everything tends to indicate that this relation also exists. To this respect, it is very significant that Roques⁶ found that the three flares of L726-8 ($M_v = 16.1$) observed photoelectrically with high time resolution were all characterized by an extremely rapid brightening while the flares of BD + 20° 2465 ($M_v = 10.9$) and the flare of BD + 19° 5116 ($M_v = 11.1$) brightened at a much slower rate.

Final Remarks

We shall now synthesize some of the results or conclusions which are drawn from our observations on the rapid variables immersed in the Orion and Taurus clouds of interstellar material trying, at the same time, to relate them with the flare stars discovered in the vicinities of the sun.

1) As regards the Taurus variables, presented in this paper, it can be concluded that all of them are associated or immersed in clouds of interstellar material. This statement is based in the following observations: a) the spectral types and the apparent magnitudes; b) The location of all these stars in the center or in the periphery of the conspicuous Taurus dark areas; c) Its parallel or similar distribution to those of the T Tauri stars found in the same region.

2) The Taurus rapid variables Nos. 13, 14, 16, 17, 18 and 19 show identical characteristics to those of the flare stars discovered in the vicinities of the sun. They are, of course, dwarf stars later than M3 and their rapid and sporadic variations are effected in lapses of time of the same order as those in the flare stars of our vicinity. We believe that these new evidences cannot but hardly find any objection. It can be concluded that in both cases we are dealing with the same phenomenon and, basically, with the same class of variables.

3) Due to Dr. George H. Herbig's generous collaboration, one slit spectrogram (of dispersion 430 Å/mm at $H\gamma$) was obtained of each of the two rapid variables in Orion,¹ Nos. 5 and 8. Variable No 5 observed at the Lick Observatory on January 24, 1955, 8h 18m U. T., shows a spectral type dK5 or dK7, with no H or CaH emission. In variable No 8 observed on February 13, 1955, 4h 30m U. T., the spectral type is about dK6, with rather weak hydrogen emission lines and with no emission in the calcium lines. The infrared spectral plates taken in Tonantzintla for the study of the other rapid variables in Orion show, at least, that these other objects are earlier than M0-M1. Tentatively, these last stars have been classified as late dK.

4) The rapid variables No 7 and No 8 in the Orion Nebula were observed simultaneously and during their rise to maximum in ultraviolet-blue and red light, respectively, showing a strong radiation in short wave lengths, which was possibly caused by continuous emission similar to the one observed by Joy and Humason⁷ in the flare star UV Ceti.

5) The Taurus variable No 15, spectral type dM0 or dM1 (also observed and classified by Dr. Herbig) is an excellent intermediary example between the rapid variables of late dM types and the late dK rapid variables in Orion. In our opinion, all the aforementioned data demonstrates that there exists an evident spectral sequence among the flare stars. If we add to this the *spectrum-rate of variation* relation, already outlined, we strengthen our proofs to the effect that the flare stars in the vicinity of the sun, as well as the rapid variables in Orion and Taurus, belong to the same class of variables and, basically, the same type of phenomenon takes place in them, causing the variation.

6) The presence of a quiescent spectrum with emission lines does not seem to be an essential condition in the Orion and Taurus flare stars. Emission lines have been observed in the normal spectra in only some of these stars, and their intensity seems to vary. On the other hand, the known flare stars in the vicinity of the sun have always shown emission lines in their spectra. The latter, which could possibly be considered as a significative difference, can very likely be interpreted as effect of observational selection, i. e.: in the quiescent spectra of the flare stars in the vicinity of the sun, emission lines are observed for the simple reason that only dMe type stars have been studied for possible flares.

7) Notwithstanding that the Taurus region was studied as exhaustively as the Orion Nebula region and that, in the former the observational technique was improved, no rapid variables with spectra earlier than M0 were found in it. Although the foregoing only entails a preliminary investigation, it is no less significative and, of course, cannot be interpreted as the effect of an observational selection, but possibly as a real lack—in the region of the Taurus dark clouds—of dK stars with flare characteristics or, at least, of their very low frequency. However, it can be explained as an effect of observational selection that in the Orion Nebula no M type flare stars—especially if late M types—were found, owing to the distance modulus of the Nebula and the limiting magnitude of our search. It is likewise important to consider the information had on flare stars in the vicinity of the sun and the "minimized" T Tauri features of the surrounding emission dwarf stars. The apparent differences already mentioned regarding the flare stars lead us to speculate on the possibility that the flare stars belonging to T-associations of different ages disclose—by themselves—the evolutionary stage of the stellar aggregate to which they belong.

(Nota intercalada durante las pruebas de imprenta).—El Dr. W. A. Hiltner ha tenido la bondad de informarnos que el Dr. Kuiper, en el Observatorio de McDonald, obtuvo espectrogramas de las

estrellas Ráfaga Nos. 15 y 17 en el Toro. La estrella Ráfaga N^o 15, ha sido clasificada por el Dr. Kuiper como dK8; la estrella Ráfaga N^o 17, fué clasificada como M5+. Agradecemos al Dr. Kuiper y al Dr. Hiltner su amable cooperación.

(Note added to the proofs).—Dr. W. A. Hiltner has informed us that Dr. G. P. Kuiper obtained two spectrograms, at the McDonald Observatory, of stars Nos. 15 and 17. Dr. Kuiper's classification for the aforementioned stars are the following: Taurus Flare star N^o 15 as a dK8; Taurus Flare star N^o 17, as M5+. We are grateful to Dr. Kuiper's and Dr. Hiltner's kind cooperation.