

CLASIFICACION ESPECTRAL A PARTIR DE PARAMETROS  
FOTOMETRICOS DEL INFRARROJO CERCANO

H.L. Tignanelli y A. Feinstein

Facultad de Ciencias Astronómicas  
y Geofísicas  
La Plata, Argentina

RESUMEN. En base al estudio de estrellas tardías (tipo K y M) realizadas en las bandas JHKL del infrarrojo cercano (1 a 3.5 micrones) definidas por el sistema de Johnson, hechas desde el Observatorio Astronómico de La Plata con el telescopio de 83 cm y un detector de SPb, y con la nueva homogenización de estrellas brillantes del hemisferio sur en las mismas bandas, recientemente efectuadas por J. Koornneef, se trata de mostrar un nuevo sistema de clasificación espectral fundado en parámetros definidos en base a colores infrarrojos. Los resultados obtenidos permiten obtener importante información sobre los tipos espectrales y el enrojecimiento de variables de largo período.

ABSTRACT. From the analysis of the measurements of KM-type stars done in the near infrared (1 to 3.5 microns: the JHKL bands of Johnson's system), with a 83-cm reflector and a PbS detector at La Plata Observatory, we try to establish a new photometric classification system that discriminate luminosity class by means of certain parameters defined by infrared colours and infrared magnitudes. Data compiled and homogeneized by J. Koornneef of southern bright stars in those bands were also included.

The results give us information about the spectral types and reddening of those stars.

We also indicate how to calculate the radiation excess that those stars could have.

El objetivo de esta comunicación es presentar algunos de los resultados obtenidos a partir de observaciones de estrellas tardías en la región del infrarrojo cercano, definido por el sistema JHKLM de Johnson (1966).

Considerando que el enrojecimiento diferencial entre las longitudes de onda infrarrojas es pequeño comparado con el que se encuentra entre cualquier longitud de onda infrarroja y la región del visible, usamos el color infrarrojo-visible como una medida del enrojecimiento en procura de hacer relativamente pequeñas a las correcciones necesarias en los colores infrarrojo-infrarrojo.

Específicamente, tomamos el color (V-K) como nuestra medida del enrojecimiento, siendo V la magnitud visual y K la magnitud correspondiente a la banda de 2,25 micrones; al mismo tiempo consideramos al color (K-[λ]) como el de interés, al cual corregiremos por enrojecimiento, donde [λ] es la magnitud infrarroja correspondiente a cualquiera de las bandas del infrarrojo cercano.

Luego, obtenemos la siguiente combinación de colores:

$$Q(\lambda) = (K - [\lambda]) - \{E(K - [\lambda]) / E(V - K)\} (V - K) \quad (1)$$

Determinamos el valor *normal*  $Q'(\lambda)$ , y la razón  $\{E(K - |\lambda|) / E(V - K)\}$ , coeficientes de enrojecimiento, escribiendo la expresión (1) en la forma:

$$(K-[\lambda]) = Q'(\lambda) + \{E(K-[\lambda])/E(V-K)\}(V-K) \quad (2)$$

y resolviendo por mínimos cuadrados. Los valores de los colores utilizados fueron los encontrados por Koornneef (1982) en su trabajo de homogenización de sistemas fotométricos standard para las bandas de 1 a 5 micrones.

Se calculó entonces el valor del parámetro  $Q'(\lambda)$ , independiente del enrojecimiento, para las estrellas más tardías que M0, notándose una sensible variación con el tipo espectral y con la clase de luminosidad.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

1) Estrellas de secuencia (V)

	Q' (J)	Q' (H)	Q' (L)
M0	-,75849	,0735	,03406
M1	-,78299	,0830	,04668
M2	-,80749	,0825	,03930
M3	-,83199	,0520	,04192
M4	-,80649	,0515	,03454
M5	-,80099	,0610	,04716
M6	-,77549	,0705	
M7	-,77999	,0800	
M8	-,78449	,0795	

2) Estrellas gigantes (III)

	Q' (J)	Q' (H)	Q' (L)	Q' (M)
M0	-,62004	-,05787	-,01586	-,01668
M1	-,64506	-,05136	-,02167	-,01354
M2	-,65073	-,06078	-,02111	-,00844
M3	-,66675	-,06166	-,02819	-,00077
M4	-,66032	-,05278	-,02398	-,02469
M5	-,65984	-,05780	-,03522	
M6	-,62627	-,05712	-,01154	

3) Estrellas supergigantes (I)

	Q' (J)	Q' (H)	Q' (L)	Q' (M)
M0	-,50788	-,05131	-,01651	-,02715
M1	-,49769	-,05467	-,02516	-,02452
M2	-,51604	-,07096	-,03300	-,01909
M4	-,50332	-,05069	-,06841	
M5	-,50488	-,05829		

Los valores medios de los coeficientes de enrojecimiento, para cada tipo de luminosidad son:

	(I)	(III)	(V)
{E(K-J)/E(V-K)}	-,12621	-,09357	-,02200
{E(K-H)/E(V-K)}	-,04154	-,04068	-,07800
{E(K-L)/E(V-K)}	,05406	,03633	,02952

Paralelamente, introducimos los colores  $t(H)$ ,  $t(K)$  y  $t(L)$ , los cuales están definidos como la diferencia entre la semisuma de las magnitudes de dos bandas no consecutivas, y la magnitud de la banda intermedia correspondiente, es decir:

$$t(\lambda_2) = \{ |\text{mag.}(\lambda_1) + \text{mag.}(\lambda_3)| / 2 \} - \text{mag.}(\lambda_2) \quad (3)$$

y considerando el sistema definido por Johnson

$$\begin{aligned} t(H) &= \{ |J+K| / 2 \} - H \\ t(K) &= \{ |H+L| / 2 \} - K \\ t(L) &= \{ |K+M| / 2 \} - L \end{aligned} \quad (4)$$

El color  $t(L)$  no se ha podido medir para todas las estrellas pues no se contó con observaciones en la banda M. Los valores encontrados de  $t(H)$  y  $t(K)$ , evidenciaron una notable correspondencia con la temperatura, pudiéndose diferenciar secuencias distintas para estrellas enanas, gigantes y supergigantes. Análogamente a lo realizado con el  $Q'(\lambda)$ , se consideraron en esta oportunidad sólo estrellas de tipo tardío. La tabla siguiente muestra las cantidades halladas.

	SUPERGIGANTES		GIGANTES		ENANAS	
	t(H)	t(K)	t(H)	t(K)	t(H)	t(K)
M0	1,700	,010	1,660	,045	1,445	,025
M1	1,770	,015	1,740	,045	1,560	,020
M2	1,905	,025	1,850	,050	1,665	,030
M3	2,175	,030	2,065	,055	1,740	,050
M4	2,480	,025	2,400	,050	1,845	,060
M5	2,830	,160	2,790	,060	1,960	,055
M6			3,250	,050	2,075	,150
M7					2,190	,155
M8					2,295	,165

Al combinar el parámetro  $Q(\lambda)$  con  $t(H)$ ,  $t(K)$  y  $t(L)$ , encontramos que las estrellas se combinan en secuencias definidas pudiéndose separar por tipo de luminosidad; asimismo, en cada secuencia los tipos espectrales pueden diferenciarse con notable aproximación.

En el gráfico nro. 1,  $|Q(J) \text{ vs. } t(H)|$ , pueden apreciarse claramente estas secuencias; algo análogo sucede con el nro. 2,  $|Q(J) \text{ vs. } t(K)|$ . Definitivamente, para la muestra utilizada, los gráficos donde participa el  $Q(J)$  son los que presentan mejor diferenciación en clase de luminosidad y tipo espectral.

El gráfico nro. 3,  $|Q(H) \text{ vs. } t(K)|$ , no permite diferenciar claramente los tipos espectrales, y además las estrellas gigantes y supergigantes se confunden en una misma región no pudiéndose resolver. No obstante, las enanas se diferencian notablemente de aquéllas, en un grado de magnitud mayor que el de los gráficos anteriores.

En el nro. 4,  $|Q(H) \text{ vs. } t(H)|$ , sucede algo análogo; y en el caso de  $Q(L) \text{ vs. } t(K)$ , gráfico nro. 5, vuelve a repetirse el mismo comportamiento, aunque las secuencias de gigantes y supergigantes se resuelven un tanto mejor, considerando la dispersión utilizada.

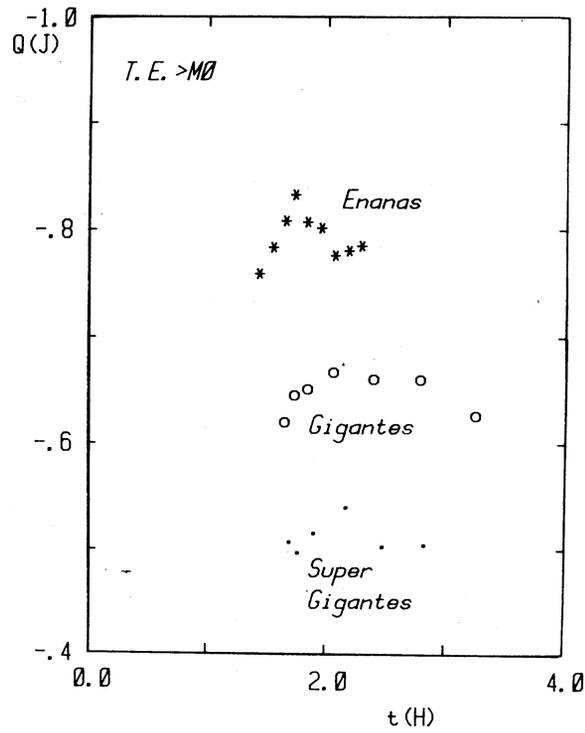


Figura 1

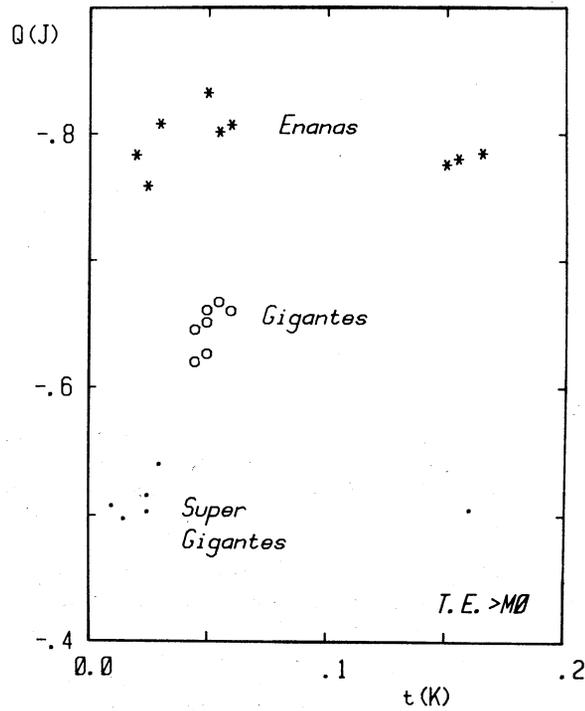


Figura 2

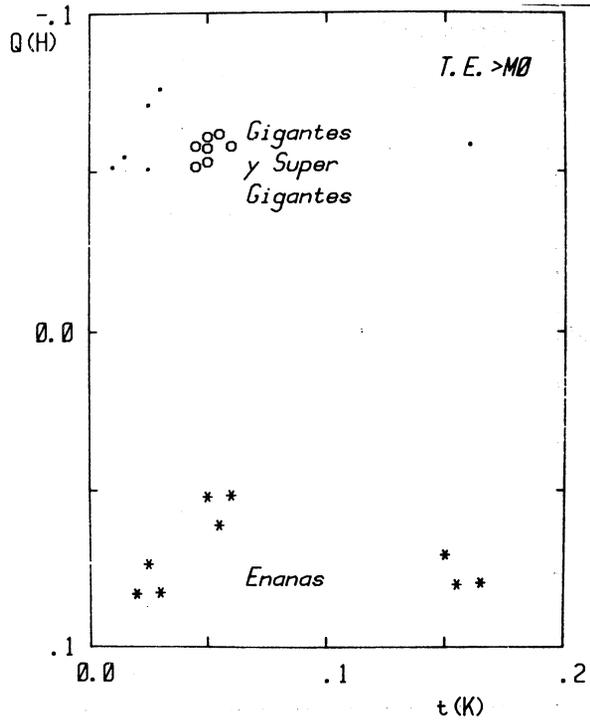


Figura 3

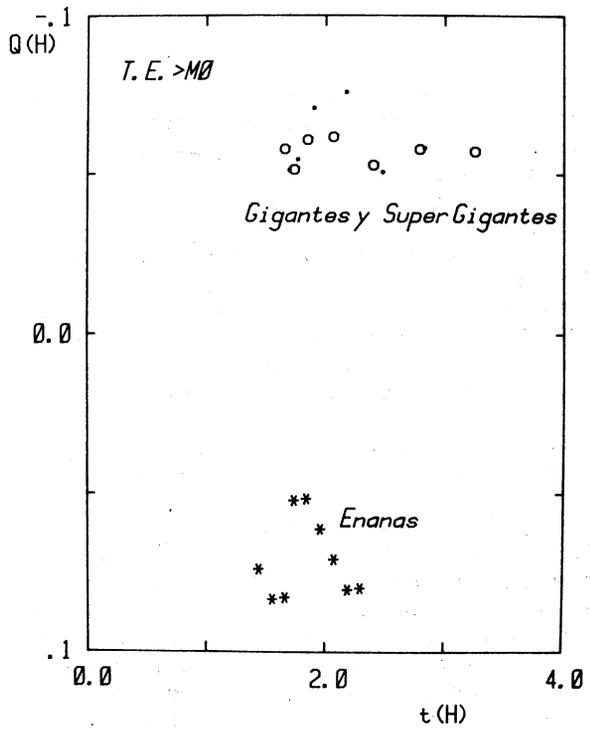


Figura 4

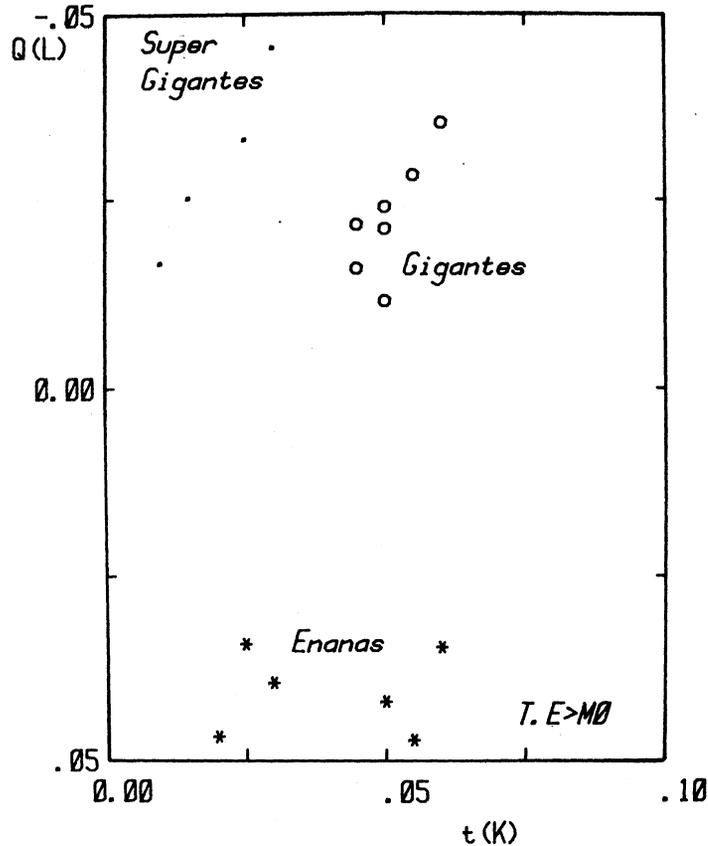


Figura 5

Incluimos en el gráfico nro. 6 el  $Q(M)$  vs.  $t(H)$ , para mostrar el comportamiento de la muestra con estos parámetros notándose que es dificultoso diferenciar las estrellas tipo III de las de tipo I para valores negativos de  $Q(M)$ , a pesar que podemos resolverlas en forma aproximada por medio de cotas al parámetro  $t(H)$ .

Las restantes combinaciones no son claras y no aportan un criterio suficiente para hacer una diferenciación coherente.

Un tratamiento similar se le dió al conjunto de observaciones realizadas por Lee (1970) con estrellas tardías gigantes y supergigantes, y también a las estrellas del catálogo de Gliese, del cual se han extraído los valores de estrellas enanas de tipo M.

Este conjunto de observaciones, sirvió para certificar la validez del método; se calculó para todas las estrellas el correspondiente valor de  $Q(\lambda)$  y  $t(\lambda)$ , considerando los valores del cociente de excesos encontrado para las estrellas de Koornneef, dado en una tabla anterior.

El resultado encontrado coincide con el hallado para estrellas standard; las estrellas se agrupan en secuencias definidas, pudiéndose diferenciar claramente el tipo de luminosidad.

En este caso, los gráficos que mejor ajustan son los que involucran al parámetro  $Q(H)$ . En el gráfico nro. 7,  $Q(H)$  vs.  $t(H)$ , gigantes y supergigantes se resuelven perfectamente de las estrellas enanas, mientras que entre sí, existe cierta confusión a pesar de evidenciarse una tendencia hacia valores más negativos para las de tipo I. En el caso de  $Q(H)$  vs.  $t(K)$ , volvemos a tener el mismo efecto remarcando aún más la tendencia antes mencionada.

Las restantes combinaciones no son tan claras, aunque en todas se evidencia la correlación existente entre los parámetros  $Q(\lambda)$  y  $t(\lambda)$ , como lo muestra el gráfico nro. 9.

De esta manera, por medios fotométricos, podemos diferenciar clases de luminosidad en la zona del infrarrojo cercano, sólo basándonos en combinaciones de magnitudes y colores de dicha región.

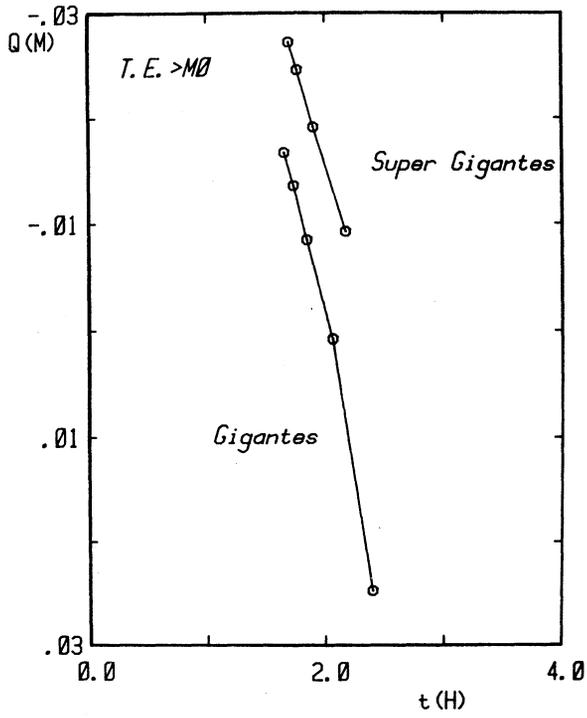


Figura 6

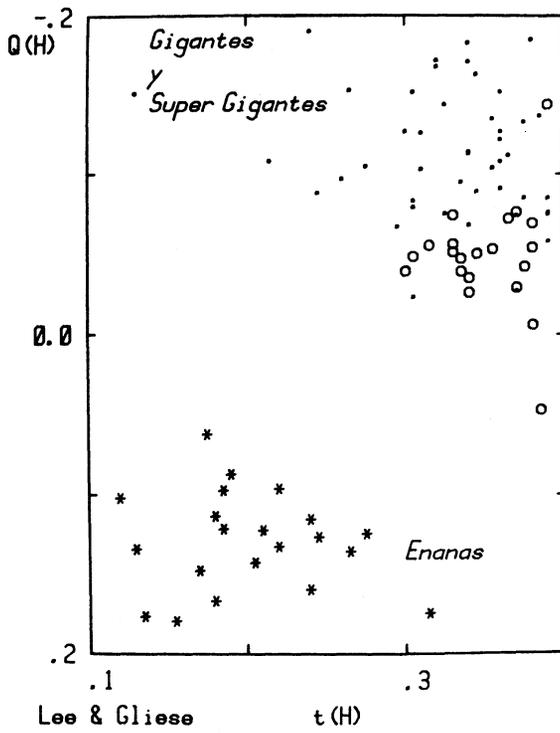


Figura 7

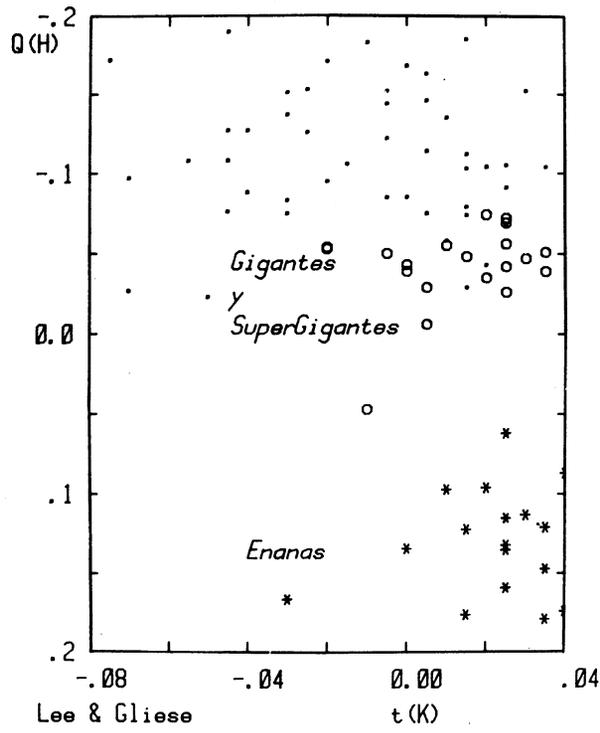


Figura 8

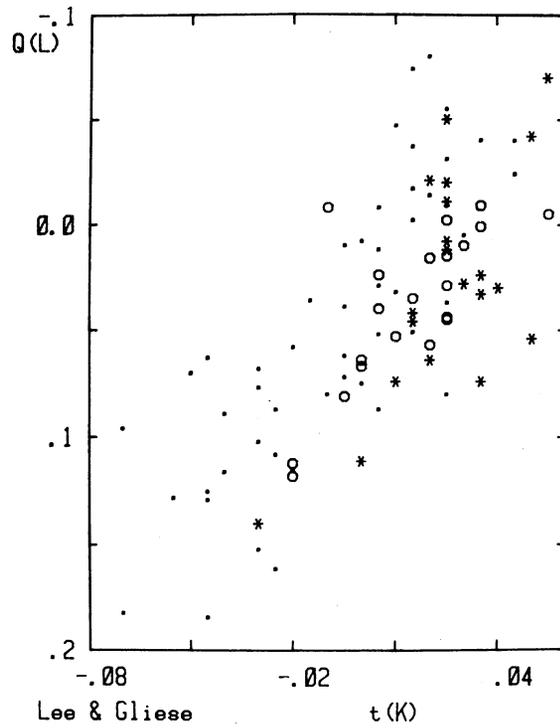


Figura 9

El presente trabajo estuvo orientado en esta primera etapa sólo a estrellas tardías, pero se estudia su aplicación a todos los rangos de temperaturas, permitiendo así una clasificación espectral completa.

Al mismo tiempo estamos estudiando cuáles son las bandas moleculares que se corresponden con cada uno de los parámetros  $Q(\lambda)$  y  $t(\lambda)$ , de manera de encontrar una justificación física a la separación de las estrellas en los diagramas mostrados.

Por otra parte, este tratamiento permite ubicar de forma sencilla y rápida a las estrellas con comportamiento anormal, pudiéndose estimar sus peculiaridades en primera aproximación, comparándolas con las estrellas standard. En este sentido, la diferencia entre el  $Q(\lambda)$  calculado para una estrella de programa y el  $Q'(\lambda)$  de las estrellas standard, es decir

$$\Delta Q(\lambda) = Q(\lambda) - Q'(\lambda) \quad (5)$$

es una medida del exceso de radiación infrarrojo de la estrella.

En las mismas bandas, se han observado estrellas variables tardías tipo Mira; todas ellas son variables infrarrojas y se ha encontrado que el exceso infrarrojo calculado por la fórmula (5) se correlaciona con el máximo de intensidad en sus correspondientes curvas de luz.

#### REFERENCIAS

- Castor, J.T. y Simon, T. A. *J.* 265, 304.
- Catchpole, R.M., Robertson, B.S.C., Lloyd Evans, T.H.H., Feast, M.W., Glass, I.S. and Carter, B.S. 1979, *Circulars of South African Astronomical Observatory, Cape*, 1, N° 4, p. 61.
- Dyck, H.M., Lockwood, G.W. and Capps, R.W. 1974, *A. J.* 189, 89.
- Engels, D., Sherwood, W.A., Wamsteker, W. and Schultz, G.V. 1980, *European Southern Observatory Scientific Preprint* N° 130.
- Jaschek, C., Hernández, E., Sierra, A. and Gerhardt, A. 1972, *Catalogue of Stars observed Photoelectrically*, Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata, Serie Astronómica Tomo 38.
- Feast, M.W., Robertson, B.S.C. and Catchpole, R.M. 1977, *M.N.R.A.S.* 179, 499.
- Jhonson, H. 1966, *Lunar and Planetary Laboratory Communications*, University of Arizona, Tucson, p. 193.
- Glass, I.S. 1975, *M.N.R.A.S.* 171, 19.
- Koornneef, J. 1983, *European Southern Observatory Scientific Preprint* N° 222.
- Lee, T. 1970, *A. J.* 162, 217.
- Smack, J. 1966, *Coloquium on Late Type Stars*, Trieste.
- Wamsteker, W. 1981, *European Southern Observatory Scientific Preprint* N° 132.

Horacio L. Tignanelli and Alejandro Feinstein: Observatorio Astronómico de La Plata, Paseo del Bosque s/n°, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

