

51
209



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Fotometría IR (JHK) de
cúmulos de galaxias:
Abell 194, Abell 426 (Perseo)
y Abell 2151 (Hércules)

T E S I S

Que para obtener el Título de

F I S I C O

p r e s e n t a :

Victor Manuel Ortega Montiel

México, D.F.

1991

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pag.
INTRODUCCION	2
I. GENERALIDADES.	
I.1. Clasificación de galaxias	3
I.2. Sistemas fotométricos	7
I.2.1. Sistema UBV	9
I.2.2. Sistema de Johnson UBVR1JHKL MN	11
I.3. Galaxias elípticas	17
I.3.1. Población estelar y componentes	17
I.4. Galaxias S0	20
I.4.1. Población estelar y componentes	21
II. OBSERVACIONES IR.	
II.1. Introducción	24
II.2. Correcciones.	
II.2.1. Correcciones-K	26
II.2.2. Correcciones por extinción	26
II.3. Abell 194	28
II.4. Abell 426 (Perseo)	35
II.5. Abell 2151 (Hércules)	44
III. RELACIONES COLOR-MAGNITUD.	
III.1. Introducción	56
III.2. Abell 194	59
III.3. Abell 426 (Perseo)	62
III.4. Abell 2151 (Hércules)	65
IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	68
IV.1. Tablas	71
V. REFERENCIAS.	75

INTRODUCCION.

El presente trabajo de tesis se dividió de la siguiente manera: Se presenta un breve resumen de los catálogos de clasificación de galaxias más usados y algunos criterios de clasificación. A continuación se hace una descripción de los distintos sistemas fotométricos haciendo especial énfasis en los sistemas infrarrojos, que para el caso del presente trabajo son los que revisten mayor importancia, y se presentan algunas de las propiedades más importantes de las galaxias elípticas y SO.

Se presentan algunas de las características más relevantes de los cúmulos: Abell 194, Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules), las magnitudes infrarrojas observadas y sus respectivas correcciones por corrimiento al rojo (K -corrections) y/o extinción interestelar, la mayor cantidad de datos encontrados en la literatura y las gráficas de color-color: $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$, y color-magnitud: $(J-H)_c$, $(J-K)_c$ y $(H-K)_c$ vs. K_c para cada cúmulo, donde (c) indica que los colores fueron corregidos por corrimiento al rojo (K -corrections) y/o por extinción interestelar, construidas a partir de las magnitudes corregidas.

A continuación se construyeron las curvas de crecimiento para cada cúmulo, usando la curva estimada por Frogel *et al.* (1978), para las muestras completas incluyendo galaxias elípticas, SO y espirales, y se obtuvieron los colores y magnitudes totales con las cuales se construyeron las gráficas color-color: $(B-K)_T$, $(V-K)_T$ vs. $(J-K)_c$ y color-magnitud: $(B-K)_T$, $(V-K)_T$ vs. K_T , donde (T) indica colores y magnitudes totales, para cada cúmulo.

Las conclusiones más importantes en este trabajo son: 1) Las gráficas color-color muestran que las galaxias de tipo temprano tienen colores típicos de estrellas gigantes K y M del bulbo y que están en la secuencia principal (Frogel *et al.* 1978 y Johnson, 1966) 2) La gráfica color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ de Abell 194 muestra que hay una mayor dispersión en los colores $(H-K)_c$ comparados con sus similares en los cúmulos de Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules), sugiriendo que existe una diferencia en la población estelar. 3) En las gráficas de color-magnitud $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ vs. K_c se observa que hay una diferente dispersión de colores para cada cúmulo estudiado, sugiriendo que las poblaciones son diferentes en cada cúmulo. 4) En las gráficas de color-magnitud: $(B-K)_T$ y $(V-K)_T$ vs. K_T se observa que existe una relación entre todos los tipos morfológicos, en el sentido de que las componentes esféricas más luminosas son más rojas en el IR. 5) Los promedios de los colores (Tabla IV.1) indican que las poblaciones en los tres cúmulos estudiados son similares

I. GENERALIDADES.

En este capítulo se presentan algunos aspectos de clasificación de galaxias, sistemas fotométricos (en especial el sistema *UBV* y el sistema infrarrojo, incluyendo al satélite *IRAS*.) y algunas propiedades observadas de las galaxias de tipo temprano.

I.1. Clasificación de galaxias.

Por la gran variedad de morfologías que presentan, las galaxias se clasifican en grupos de características similares. La clasificación de las galaxias se basa esencialmente en su estructura. Para tener una clasificación adecuada se emplean criterios uniformes y una notación flexible y precisa que exprese el procedimiento de clasificación.

Existen varios sistemas de clasificación, de los cuales los más usados son:

- 1) El sistema de Hubble.
- 2) El sistema de de Vaucouleurs.
- 3) El sistema de Yerkes.
- 4) El sistema DDO.

En 1953 Hubble preparó un atlas fotográfico para ilustrar su sistema de clasificación de galaxias a partir del estudio de las placas fotográficas tomadas a las galaxias más brillantes que $m_{pg} = 13.0$ y al norte de $\delta = -30^\circ$. Estas placas fueron recopiladas por Hubble entre 1936 y 1950. El atlas fue publicado después de su muerte en Septiembre de 1953 por Allan Sandage.

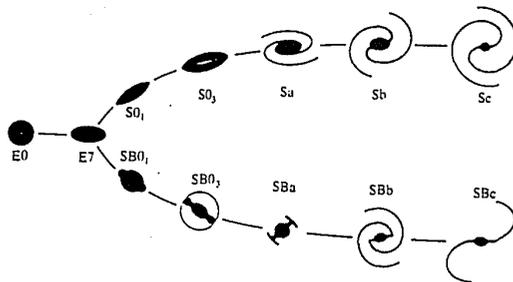


Fig. I.1. Esquema de la clasificación de Hubble.

Los criterios utilizados por el sistema de Hubble son:

- 1) El tamaño nuclear relativo al aplanamiento del disco.
- 2) El carácter de los brazos espirales.
- 3) El grado de resolución de las estrellas y de las regiones HII de los brazos espirales y/o en el disco.

El sistema de de Vaucouleurs se encuentra explicado, ampliado y mejorado en el *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (de Vaucouleurs, de Vaucouleurs y Corwin, 1976), conocido como RC2. Este catálogo es una versión revisada y ampliada del *Catálogo de Galaxias Brillantes* (BGC). Este catálogo se hizo estudiando las placas obtenidas en el Observatorio de Monte Palomar. El catálogo lista la identificación, la ascensión recta y declinación de 1950, el tipo morfológico de acuerdo con el *Handbuch der Physik System* (de Vaucouleurs, 1959), tipos nucleares, luminosidad, datos fotométricos, etc. Todas las correcciones conocidas al original (BGC) se tomaron en cuenta y se aplicaron en el curso de la

preparación del catálogo. En particular se corrigieron las coordenadas de los centros galácticos cuando fue posible, flujos de radio continuo, índices espectrales y emisión de la línea de 21 cm. para muchas galaxias. El número de galaxias que incluye este catálogo es de 4364, más del doble que el original BGC.

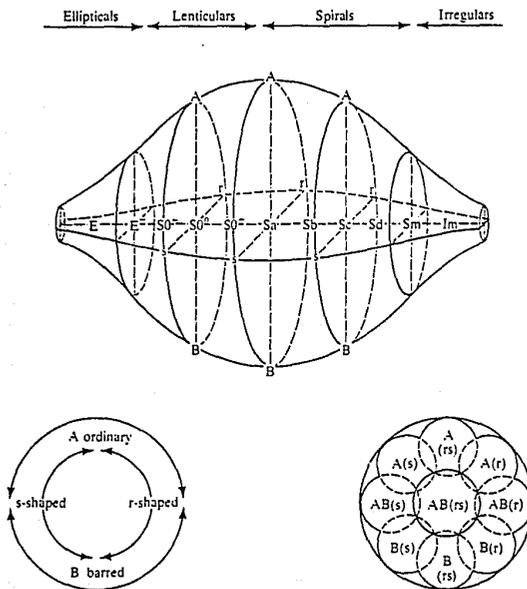


Fig. 1.2. Esquema de la clasificación de de Vaucouleurs.

El sistema de Morgan o sistema de Yerkes define un parámetro fundamental llamado grupo de población o clase de concentración de una galaxia. Este parámetro corre desde k, para aquellas galaxias que tienen la mayor concentración luminosa en el bulbo, hasta a para aquellas galaxias que tienen bulbos más pequeños y distribuciones de luz más difusas. Este sistema es un sistema básicamente lineal que no menciona las complejidades morfológicas que usó de Vaucouleurs para ampliar el sistema de Hubble.

Sydney Van den Bergh desarrolló un sistema de clasificación de galaxias que utiliza varios de los criterios usados en los sistemas de Hubble y de Yerkes.

Este sistema fue creado con la idea de que existe una continuidad entre las galaxias lenticulares, pasando por las galaxias anémicas espirales hasta las galaxias espirales ricas en gas.

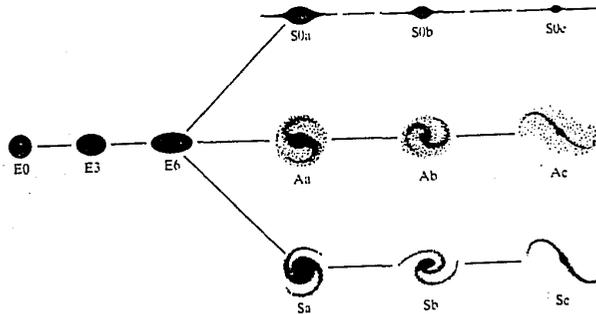


Fig. I.3. Esquema de la clasificación de Van den Bergh.

En este sistema, las galaxias elípticas están arregladas por su aparente elongación al igual que en el sistema de Hubble. Las galaxias que poseen disco están arregladas en 3 secuencias

paralelas: Galaxias lenticulares, galaxias anémicas espirales; que son galaxias espirales pobres en gas; y galaxias espirales ricas en gas.

Inspeccionando las placas de Monte Palomar, Van den Bergh descubrió que la apariencia de los brazos espirales era función de la luminosidad absoluta de las galaxias. Mostró que las galaxias con mayor luminosidad tienen los brazos más desarrollados y grandes y los sistemas más débiles tienen brazos muy poco desarrollados. Por inspección de las características de los brazos, Van den Bergh fue capaz de dividir a las galaxias anémicas espirales y espirales de tipo Sb en 5 distintas clases de luminosidad (I, I-II, II, II-III, III).

I.2. Sistemas fotometricos.

Debido a la existencia de la atmósfera, gran parte de la radiación que nos llega de los objetos estelares es absorbida. Esta absorción se debe a la presencia de varias moléculas en la atmósfera terrestre: especialmente al H_2O y CO_2 y en menor medida a N_2O , CH_4 y ozono. Para poder llevar a cabo correctamente las mediciones infrarrojas se necesita que el observatorio se encuentre instalado en un lugar más alto a 2,000 mts. de altura sobre el nivel del mar, donde la concentración de vapor de agua en la atmósfera sea mínima para evitar las bandas de absorción del H_2O . En el caso del telescopio de 2.1 mts. en San Pedro Mártir; este se encuentra instalado a una altura de 2,800 mts. sobre el nivel del mar, donde la concentración de vapor de agua en la atmósfera es muy pequeña y sus variaciones a lo largo del año son prácticamente nulas, por lo que es un lugar muy confiable para

obtener medidas infrarrojas.

A lo largo del infrarrojo existen anchas y profundas bandas de absorción intensas, capaces de absorber la totalidad de la radiación emitida por un objeto estelar de cierta longitud de onda. Sólo en las longitudes de onda que coinciden con estas angostas brechas, podemos recibir gran parte de la radiación emitida por un objeto estelar.

El espectro del visible y del infrarrojo contiene bandas angostas de transmisión que fueron seleccionadas para definir los sistemas fotométricos estándares.

A partir del infrarrojo, que va desde 1μ hasta 100μ y de filtros que permiten el paso de ciertas longitudes de onda, uno puede obtener los índices de color tomando la diferencia de las magnitudes medidas por 2 filtros diferentes. Este color o índice de color es esencialmente la medida de la razón de los flujos estelares entre 2 longitudes de onda características. Este color o índice de color se define como:

$$m_A - m_B = \text{const} - 2.5 \frac{\int_0^{\infty} S_{\lambda}(A) f_{\lambda}^0 d\lambda}{\int_0^{\infty} S_{\lambda}(B) f_{\lambda}^0 d\lambda}$$

donde S_{λ} es la respuesta del telescopio, receptor y filtro (Mihalas y Binney, 1981). Este índice de color tiene su punto cero de tal forma que las estrellas A0 tienen la misma magnitud en todas las longitudes de onda.

A partir de estos índices de color se pueden medir algunas características de la distribución de la energía de una estrella y se pueden inferir algunas propiedades físicas como temperatura, gravedad superficial, composición química; etc.

Escogiendo adecuadamente los filtros uno puede obtener el índice de color que mide la razón de flujo entre longitudes de onda larga y corta que dé una medida del color estelar y que por lo tanto dé información sobre la temperatura; se pueden encontrar algunas bandas espectrales que contienen gran número de líneas de absorción que reflejan las abundancias de elementos pesados y por lo tanto la composición atmosférica.

1.2.1. Sistema UB_V.

El sistema fotométrico más usado es el sistema UB_V (Johnson y Morgan, 1952), donde la letras UB_V denotan el nombre de la banda: U: Ultravioleta; B: Azul y V: Visual. Estas bandas tiene las siguientes longitudes de onda características: U: 0.36 μ ; B: 0.45 μ ; V: 0.550 μ . (Fig. 1.4)

Se sabe a partir de la observación y de la teoría (Ley de Planck) que la longitud de onda de la máxima emisión de la distribución de la energía estelar decrece del infrarrojo para estrellas M, pasando por el visible para estrellas de tipo solar hacia estrellas azules de tipo A hasta el ultravioleta para estrellas tipo OB. Esto significa que las estrellas más frías se ven rojas, las estrellas tipo solar, amarillas y las estrellas tempranas, azules.

Este sistema tiene su punto cero; $(U-B) = (B-V) = 0$; definido a partir de 6 estrellas de clase AO V en el sistema MK. Esto significa que estas 6 estrellas tienen la misma magnitud en las tres bandas. Estas estrellas son Vega (Alfa Lyr), Gama UMA, 109Vir, Alfa CrB, Gama Oph y HR3314 (Johnson y Morgan, 1952).

En este sistema se definen 2 índices de color: $(U-B)$ y $(B-V)$. $(U-B)$ mide esencialmente la cantidad de radiación ultravioleta emitida por una estrella. Este índice de color es negativo para estrellas jóvenes hasta estrellas tardías B y positivo para estrellas tempranas A hasta estrellas M; todas en la secuencia principal. Los índices $(U-B)$ para estrellas gigantes (K y M) son: ≈ 0.6 hasta ≈ 2 ; mientras que para estrellas del mismo tipo espectral (K y M) en la secuencia principal, los índices son: ≈ 0.5 hasta ≈ 1.3 ; y para estrellas B hasta M, de la secuencia principal, los índices son: ≈ 0.2 hasta ≈ 1.4 . Es decir, las estrellas gigantes amarillas tienen índices mayores que estrellas K y M de la secuencia principal. $(B-V)$ mide esencialmente la temperatura siendo negativa para estrellas muy azules (estrellas O, B) y positivo para estrellas A hasta estrellas tardías. Las estrellas gigantes amarillas de tipo espectral K y M, tienen índices $(B-V)$ mayores que estrellas K y M de la secuencia principal. Los índices $(B-V)$ para estrellas gigantes amarillas (K y M) son: ≈ 0.8 hasta ≈ 1.6 ; mientras que los índices $(B-V)$ para estrellas (K y M) de la secuencia principal son: ≈ 0.8 hasta ≈ 1.5 . Para estrellas en la secuencia principal de tipo espectral B hasta M, son ≈ 0.2 hasta ≈ 1.6 . En la Tabla IV.4 de la siguiente sección se pueden observar los colores típicos $(U-B)$ y $(B-V)$ de las estrellas en la secuencia principal del sistema *UBV*.

I.2.2. Sistema de Johnson UBVR^IJHKLMN.

Las bandas que utiliza este sistema son: *U*, *B*, *V*, *R*, *I*, *J*, *K*, *L*, *M* y *N*. Las longitudes de onda efectivas para cada banda son: *U*: 0.36 μ ; *B*: 0.45 μ ; *V*: 0.55 μ ; *R*: 0.67 μ ; *I*: 0.87 μ ;

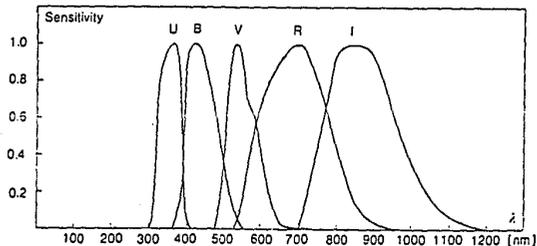


Fig. I.4. Perfiles de transmisión de los filtros en el sistema UBVR^I (Tomado de Kartunen et al.1987).

El sistema infrarrojo *JKLMN* es una extensión del sistema *UBV* establecido por Johnson en 1962. Las bandas que utiliza este sistema son: *J*: 1.20 μ ; *K*: 2.20 μ ; *L*: 3.5 μ ; *M*: 5.0 μ y *N*: 9.0 μ . Subsecuentemente se encontró una ventana igualmente utilizable a 1.65 μ y que fue eventualmente llamada *H*. Estas longitudes de onda corresponden al infrarrojo cercano y medio. Los anchos de banda correspondientes para cada filtro son: *J*: 1.13-1.37 μ ; *H*: 1.50-1.80 μ ; *K*: 2.01-2.42 μ ; *L*: 3.22-3.76 μ ; *M*: 4.4-5.5 μ ; *N*: 7.5-14.5 μ .

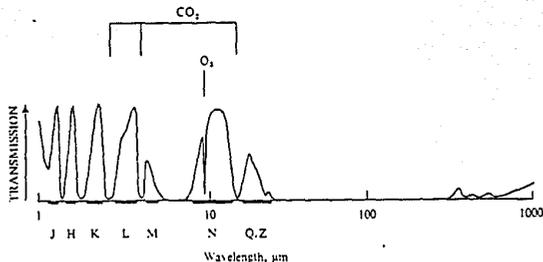


Fig 1.5. Perfiles de transmisión de los filtros y ventanas atmosféricas accesibles desde la superficie terrestre en el sistema JHKLMN (Tomado de Allen, 1975).

La absorción de la radiación no es el único problema que la atmósfera introduce. La atmósfera emite fuertemente en el infrarrojo. La distribución de energía de la emisión atmosférica térmica es la de un cuerpo a 250 K. A las longitudes de onda correspondientes a *J*, *H* y *K*; la radiación atmosférica térmica es insignificante y solamente la dispersión de la radiación por pequeñas partículas puede causar que el cielo sea brillante.

Al igual que en el sistema *UBV*, en el sistema *JHK* se considera el punto cero para $\langle J-H \rangle = \langle H-K \rangle = \langle J-K \rangle = 0$ y las estrellas de referencia son Vega (Alfa Lyr), Gama UMA, 109Vir, Alfa CrB, Gama Oph, HR3314. En la Tabla I.1. se presentan las magnitudes estándar y los colores de las estrellas estándar brillantes en el sistema *JHK* (Elias et al. 1982).

Tabla I.1. Estrellas brillantes estándar.

Magnitudes estandar y colores						
BS	K	(J-K)	(H-K)	(K-L)	H ₂ O	CO
696	5.440	0.145	0.055	0.090		
718	4.390	-0.025	-0.010	-0.025	-0.001	0.004
1552	4.140	-0.100	-0.045	-0.025	-0.001	0.013
1953	2.655	0.620	0.100	0.075	0.034	0.084
3888	2.990	0.145	0.030			
4167	3.100	0.150	0.025	0.020	0.004	-0.010
4550	4.385	0.485	0.070	0.045	0.020	0.005
4689	3.765	0.025	0.010	0.010	0.001	-0.004
5447	3.485	0.195	0.025	0.050		
6092	4.300	0.100	-0.035		-0.010	0.010
6136	2.020	0.810	0.140	0.150	0.030	0.144
6707	3.205	0.245	0.040			
7615	1.630	0.525	0.070	0.110		
8143	3.795	0.075	0.030	0.085		
8541	4.250	0.050	0.015	0.020		
8551	2.295	0.610	0.075	0.075	0.034	0.085

Tomada de Elias et al. 1982.

Existen otras bandas de observación que corresponden a longitudes en el lejano infrarrojo. Estas longitudes de observación son usadas por el satélite IRAS (Infrared Astronomical Satellite) y son: 12 μ , 25 μ , 60 μ y 100 μ y los anchos de banda correspondientes a estas longitudes de onda son: 12 μ : 8.5-15 μ ; 25 μ : 19-30 μ ; 60 μ : 40-80 μ y 100 μ : 83-120 μ . Para mayores detalles sobre la instrumentación, descripción de la misión, reducción de datos, calibración del satélite IRAS, etc. ver Neugebauer et al. (1984).

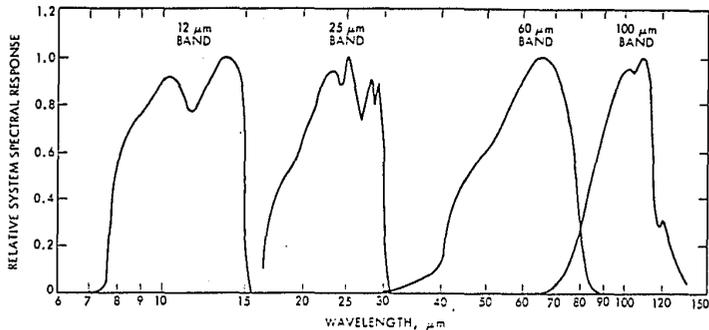


Fig. 1.6. Perfiles de transmisión de los filtros correspondientes al Satellite IRAS. (Tomado de Neugebauer et al. 1984).

La banda más sensible para la detección de la mayoría de los objetos extragalácticos es la banda de 60μ . En la banda de los 25μ se han detectado frecuentemente galaxias Seyfert.

Los 3 mecanismos que se creen que son los responsables de la emisión en el lejano infrarrojo en fuentes extragalácticas brillantes son: emisión fotosférica de estrellas, emisión sincrotrónica de electrones relativistas y emisión de polvo calentado por otras fuentes luminosas (Soifer et al. 1987).

En muchas galaxias tempranas, la emisión fotosférica contribuye sustancialmente a la banda de 12μ ; sin embargo la contribución fotosférica es insignificante en las otras bandas. La emisión sincrotrónica domina la emisión observada en objetos luminosos BL Lac y en cuasares OVV y podría ser importante en algunos otros cuasares y en galaxias Seyfert. El calentamiento de gas por varios campos de radiación es probablemente el responsable

de la emisión infrarroja en la gran mayoría de las galaxias detectadas por IRAS.

En la gran mayoría de las longitudes de onda se manifiestan los brotes violentos de formación estelar (Starburst). Los rayos-X que se detectan son producidos por remanentes estelares compactas y por sistemas binarios de mediana y de poca masa. Las líneas de absorción fotosférica de SiII y CIV de estrellas O y B están presentes en el ultravioleta y se observa un continuo azul muy intenso, que como ya se mencionó antes es un indicador más de la presencia de estrellas jóvenes calientes. En el cercano infrarrojo, líneas intensas de CO fotosférico indican la presencia de estrellas gigantes y supergigantes resultado de la rápida formación estelar (Starburst). En las longitudes de onda usadas por IRAS, se han detectado un gran número de regiones HII con un continuo térmico intenso muy característico, que a menudo contiene más luminosidad que el resto de la distribución de energía, el continuo de radio es no térmico y generalmente se piensa que proviene de la emisión sincrotrónica de electrones relativistas generados por explosiones de supernovas. La emisión de radio no térmica es usualmente más intensa que aquella asociada con remanentes individuales. El medio interestelar denso es el responsable de generar el combustible para el brote de formación estelar que también es una fuente intensa de líneas moleculares en radio frecuencia.

I.3. Galaxias elípticas.

I.3.1. Población estelar y componentes.

Conforme se han ido desarrollando las técnicas de observación, se han encontrado nuevos elementos que han contribuido a que la idea que se tenía acerca de este tipo de galaxias haya cambiado.

Se encontró que la luz emitida por el bulbo de galaxias elípticas está dominada principalmente por estrellas tardías tipo K y M gigantes, que emiten la mayor parte de su luz en las bandas J, H y K (Johnson, 1966). Debido a que la luz emitida por este tipo de galaxias está dominada por estrellas de población vieja, se sabe que la formación estelar es mínima debido a su nulo o bajo contenido de gas y polvo. Esto sugiere que la formación estelar en las etapas iniciales en este tipo de galaxias fue muy eficiente.

Varios autores creen que las galaxias elípticas tuvieron un período en el cual acumularon gas y polvo en cantidad suficiente para que tuvieran formación de estrellas y actividad de supernovas. Esta actividad de supernovas produjo vientos de vida corta que expulsaron al gas y al polvo que quedó después de la formación estelar (e.g. Mathews y Baker, 1971; MacDonald y Bailey, 1981, Sander, 1981).

Diversos investigadores, usando CCD's instalados en distintos telescopios y observatorios encontraron, sin embargo, que hay un porcentaje de este tipo de galaxias que contienen gas y polvo. Este polvo también ha sido detectado en algunas galaxias por el satélite IRAS (Infrared Astronomical Satellite).

El gas detectado en este tipo de galaxias tiene, al parecer,

2 fuentes que lo generan:

1) La masa expulsada por estrellas que evolucionan de la secuencia principal hacia enanas blancas, incluyendo Miras, nebulosas planetarias, novas y supernovas.

2) Obtención de masa por acreción o fusión de galaxias.

El medio galáctico en galaxias elípticas está formado por 4 componentes: (Schweizer, 1987)

1) Polvo. El polvo ha sido detectado, como ya se mencionó antes, con detectores CCD's y con el satélite IRAS. Debido a que los granos de polvo tienen opacidad grande en el ultravioleta, son extremadamente eficientes para absorber fotones incidentes de alta energía y convertirlos en fotones infrarrojos (Soifer *et al.* 1987).

2) Gas frío. Este gas frío ha sido detectado en muchas galaxias elípticas y resultó ser nubes de H I con una temperatura menor a 10^2 K y con masas del orden de 10^5 a 5×10^9 masas solares. De acuerdo con Knapp (1987), la mayor parte del H I observado es de origen externo debido a que este gas y las estrellas en las galaxias elípticas no evolucionan juntas. El contenido de H I observado en galaxias elípticas no es producido por pérdida de masa estelar sino que fue adquirido del exterior de la galaxia. Se cree que la forma de obtención de este gas por galaxias elípticas y SO sigue el mismo patrón de las galaxias espirales para obtener sus discos. Otra posible forma de obtención de H I pudo haber sido por medio de fusión entre este tipo de galaxias y galaxias enanas o durante la interacción de mareas con alguna galaxia espiral vecina rica en gas (Soifer *et al.* 1987).

3) Gas tibio. Este gas tibio resultó ser nubes de H II que tiene una temperatura de alrededor de 10^4 K con masas del orden de

10^3 a 10^6 masas solares.

4) Gas caliente. Este gas caliente es el responsable de la emisión de rayos-X y fue observado por vez primera por el Observatorio Einstein. Se reportó por vez primera a NGC 4406 en el cúmulo de Virgo con emisión de rayos-X y se detectaron masas de gas caliente del orden de 10^8 a 10^{10} masas solares con una temperatura del orden de 10^7 K (Forman *et al.* 1979 citado en Schweizer, 1987). Se cree que este gas de alta temperatura fue expulsado por estrellas evolucionadas que fue atrapado por el pozo de potencial (Thronson *et al.* 1989). Debido a que la densidad inferida de este gas emisor de rayos-X es tan alta, parece que la materia se está acumulando en lugar de estar siendo expulsada por lo que los vientos galácticos no pueden tener lugar en galaxias de tipo temprano (Jura, 1986).

Las 3 primeras componentes de este medio galáctico se encuentran distribuidas en discos individuales que se encuentran orientados a cierto ángulo con respecto al eje principal de simetría. El gas caliente se encuentra en una corona, que al parecer tiene una distribución esférica, que se extiende a un radio mayor a 100 Kpc. para galaxias elípticas masivas.

I.4. Galaxias S0.

El origen y formación de este tipo de galaxias es uno de los tópicos astronómicos más polémicos en nuestro días.

A este tipo de galaxias se les considera como galaxias de transición entre las galaxias elípticas pobres en gas y las galaxias espirales ricas en gas, debido a que presentan características combinadas de ambos tipos de galaxias. Este tipo de galaxias se caracterizan por poseer un disco grueso (o delgado) sin estructura espiral (a menudo tienen una componente esférica) y grandes bulbos.

Diversos investigadores piensan que este tipo de galaxias se formaron a partir de galaxias espirales (e.g. Spitzer y Baade, 1951; Larson et al. 1980; Gregg, 1989). Otros (e.g. Sandage y Visvanathan, 1978; Dressler, 1980; Burstein, 1981) consideran que las galaxias S0 no son descendientes directas de las galaxias espirales por razones estructurales.

Se propuso que el origen de estas galaxias se podría deber a distintos mecanismos: Pérdida del disco de gas por choques entre galaxias espirales; consumo del gas para la formación estelar, es decir, formación estelar muy eficiente; evaporación de gas y pérdida de gas por interacción con el medio intercumulo (Spitzer y Baade, 1951; Larson et al. 1981). Es decir, ellos propusieron que las galaxias S0 son descendientes directas de las galaxias espirales que perdieron su gas por distintos medios.

A partir de estudios de modelaje de la población estelar o de síntesis de población en los discos de las galaxias S0, Gregg (1989) establece que existe una población estelar más caliente que en las galaxias elípticas debido a que se ha observado un exceso

de galaxias azules en cúmulos distantes. Bothun y Gregg (1990) proponen que esta población joven en los discos de las galaxias S0 tienen una edad promedio menor, con respecto a la población del bulbo, de 3×10^9 a 5×10^9 años. Por lo anterior, ellos concluyen que las galaxias S0 son el punto final en la evolución de las galaxias de disco.

Sandage y Visvanathan (1978), a partir de datos fotométricos, establecieron que las galaxias S0 no pueden ser descendientes de las galaxias espirales por que se esperaría que los colores ($u-v$) para galaxias S0 deberían de ser más azules de lo que son ahora. También encontraron que la similitud entre las distribuciones de color en las galaxias E y S0 es una condición necesaria y tal vez suficiente para mostrar que las galaxias S0 no son galaxias espirales que perdieron su gas.

Dressler (1980) encontró que las galaxias S0 se observan en cúmulos de baja densidad contradiciendo el hecho de que las galaxias espirales perdieron su contenido gaseoso en cúmulos de alta densidad. Además encontró que las galaxias S0 tienen bulbos mucho mayores que los de las galaxias espirales y las razones D/B (D corresponde a disco y B corresponde a bulbo) son mucho menores que los de las galaxias espirales.

I.4.1. Poblacion estelar y componentes.

Se consideraba que las galaxias S0, al igual que las galaxias elípticas, no estaban formando estrellas por su bajo contenido de gas y polvo, por lo que la formación estelar era mínima o no existía y por lo tanto la luz emitida por este tipo de sistemas era dominada por luz de estrellas de población vieja. Spitzer y

Baade (1951) explicaron este bajo contenido de gas de dos maneras distintas:

1) Las galaxias S0 fueron alguna vez galaxias espirales que perdieron su gas y polvo por medio de procesos ambientales tales como choques entre galaxias en cúmulos o pérdida de gas por interacción con el medio intergaláctico.

2) Las galaxias S0 son el resultado de la condición inicial de colapso a disco en el cual:

a) Poco o nada de gas queda después del brote de formación estelar.

b) Algo del gas sobrante es usado en formación estelar tardía o es expulsado por supernovas.

Se creía que el déficit de gas y polvo se debía a la existencia de vientos galácticos calientes producidos por explosiones de supernovas, como los propuestos por Mathews y Baker (1971), y a que la formación estelar había sido muy eficiente, por lo que ninguna formación subsecuente puede ser mantenida con la tasa de pérdida de masa, por lo que muy poco o casi nada de gas debe quedar en galaxias S0 normales, a excepción de la inyección de gas por medio de fuentes exteriores (Thronson *et al.* 1989)

Posteriormente se encontró que estos sistemas no eran tan inertes como se pensaba. Con la llegada de nuevas tecnologías (Satelite IRAS, CCD's) se encontró que estos sistemas si contenían gas y polvo en suficiente cantidad como para que existiese formación estelar.

Se cree que los mecanismos que originan este gas y polvo son los mismos que originan el gas y el polvo en las galaxias elípticas.

Para que exista formación estelar en galaxias se necesita que exista gas molecular o H_2 . Se detectó en este tipo de sistemas emisión en CO, que es un indicador de la existencia de gas molecular, por lo que este tipo de galaxias tienen formación estelar mínima. Se cree que este gas molecular es el combustible de la actual formación estelar en estos sistemas; lo que se infiere del lejano infrarrojo y del radio continuo. El origen de este gas molecular no es del todo conocido. Se cree que el gas pudo haber estado en la galaxia desde su formación y que fue enriquecido por elementos pesados formados en los interiores estelares para posteriormente ser expulsado por explosiones de supernovas. Otras posibilidades son que el gas fue obtenido por pérdida de masa estelar que después se enfrió, por medio de flujos fríos, por medio de la captura de gas de una galaxia espiral vecina rica en gas o por una galaxia enana (Sage y Wrobel, 1989).

Se encontró que gran número de estas galaxias tienen emisión de rayos-X. Se cree que este gas caliente productor de rayos-X fue obtenido por la pérdida de masa de estrellas evolucionadas y que fue atrapado por el pozo de potencial de estas galaxias. Sin embargo, se piensa que la emisión de rayos-X no siempre proviene del gas caliente sino de fuentes estelares discretas. Como ya se dijo antes, en las galaxias S0, al igual que en las galaxias E, la densidad del gas emisor de rayos-X es tan alta que la materia parece estar acumulándose en lugar de estar siendo expulsada, por lo que los vientos galácticos propuestos por Matthews y Baker (1971) no pueden tener lugar en este tipo de galaxias (Jura, 1986).

II. OBSERVACIONES IR.

II.1. Introduccion.

En este capítulo se presenta y se reporta la fotometría *JHK* para 3 cúmulos de galaxias: Abell 194, Abell 426 (Perseo), Abell 2151 (Hércules). Los datos se obtuvieron en distintas temporadas de observación por Elsa Recillas, Luis Carrasco, Alfonso Serrano e Irene Cruz-González con el fotómetro de antimoniuro de indio (InSb), enfriado a una temperatura de 68 K con nitrógeno sólido, instalado en el telescopio de 2.1 mts. del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, Baja California, México. Los detalles técnicos de éste fotómetro están reportados en Roth *et al.* (1984). El telescopio está equipado con un espejo secundario $f/27$ oscilante que permite ajustar "tiros" (o amplitud de muestreo cielo-objeto) largos (de algunos minutos de arco) para obtener una cancelación adecuada del cielo. En particular, para la observación de galaxias, puesto que son objetos extendidos y de bajo brillo superficial, se requiere observarlas con una configuración que permita ajustar tiros largos ya que es necesario asegurarse que en las mediciones alternas (chopeo) del cielo, no se incluya radiación de las partes externas de la galaxia que se mide. Las observaciones se obtuvieron a través de un diafragma de 14.8 segundos de arco de diámetro, que con frecuencia y para galaxias cercanas no es lo suficientemente grande para incluir la totalidad de la galaxia observada. Las magnitudes y los colores obtenidos con dicha abertura generalmente corresponden a la región

del bulbo para galaxias cercanas. El telescopio se controló con una microcomputadora y los datos se registraron en medios magnéticos, mediante los programas de adquisición desarrollados por Luis Carrasco y Alfonso Serrano. Los datos fueron reducidos por Luis Carrasco utilizando el sistema de calibración IR del OAN (SPM) (Carrasco *et al.* 1991), y utilizando programas de reducción desarrollados por Carrasco en una microcomputadora. Estos programas corrigen magnitudes infrarrojas con los flujos conocidos de estrellas de calibración observadas a lo largo de la noche a diferentes masas de aire (Johnson, 1966; Elias *et al.* 1982, 1983; Carrasco *et al.* 1991). Los tiempos de integración adoptados fueron variables dependiendo de los filtros y de la magnitud de los objetos y se ajustaron para obtener un error formal máximo de 3% en la mediciones individuales.

En las siguientes secciones de este capítulo se presenta el procedimiento para obtener las correcciones por enrojecimiento o correcciones K (K -corrections) y por extinción interestelar así como las observaciones fotométricas JHK para los miembros de 3 cúmulos de galaxias: Abell 194, Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules) estudiados en este trabajo.

Se presentan las magnitudes observadas J , H y K corregidas por extinción atmosférica, los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y la magnitud K_c corregidos por corrimiento al rojo y por extinción interestelar cuando esta introduce un error significativo en las medidas de las magnitudes J , H y K .

II.2. Correcciones.

II.2.1 Correcciones-K.

Las correcciones por enrojecimiento debido al corrimiento al rojo, o correcciones K , (K -corrections) para cada galaxia de cada cúmulo se obtuvieron de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$(J-H)_K = -0.5z \quad \dots (1)$$

$$(H-K)_K = -3.5z \quad \dots (2)$$

$$K_K = 3.3z \quad \dots (3)$$

y

$$(J-K)_K = -4z \quad \dots (4)$$

que se obtuvo de la suma de las ecuaciones (1) y de (2); donde z es el corrimiento al rojo, ($z \equiv \Delta\lambda/\lambda = v/c$). (Persson *et al.* 1979; citado en Recillas *et al.* 1990)

II.2.2. Correcciones por extinción.

Debido a la existencia de polvo en el medio interestelar, se producen efectos de extinción interestelar que introducen errores significativos en la interpretación de los colores correspondientes de las galaxias de cada cúmulo.

El enrojecimiento por extinción interestelar se obtuvo a partir de la curva promedio para el medio interestelar de Savage y Mathis (1979). De acuerdo con esta curva, los coeficientes de extinción A_J , A_H y A_K se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{A_J}{E(B-V)} = 0.87 \quad ; \quad A_J = 0.87 * E(B-V) \quad \dots (5)$$

$$\frac{A_K}{E(B-V)} = 0.38 \quad ; \quad A_K = 0.38 * E(B-V) \quad \dots (6)$$

y se adoptó:

$$\frac{A_H}{E(B-V)} = 0.61 \quad ; \quad A_H = 0.61 * E(B-V) \quad \dots (7)$$

Como el enrojecimiento promedio es:

$$R = \frac{A_B}{E(B-V)} = 4.1 \quad ; \quad E(B-V) = \frac{A_B}{4.1} \quad \dots (8)$$

y usando A_B máxima y A_B mínima, para cada cúmulo suponiendo que no hay extinción intracúmulo, de acuerdo con Burstein *et al.* (1989), adoptamos un valor promedio de A_B para obtener el valor de $E(B-V)$ y por lo tanto, de las ecuaciones (1), (2) y (3) obtenemos los valores de los coeficientes de extinción interestelar para cada cúmulo.

II.3. ABELL 194.

Abell (1958) clasifica a los cúmulos de acuerdo con su riqueza. El criterio de riqueza usado es: Un cúmulo debe de contener al menos cincuenta miembros que no sean más débiles en 2 magnitudes que el tercer miembro más brillante del cúmulo. Clasifica a los cúmulos de acuerdo con conteos, que se refieren al número de galaxias contadas en un cúmulo que no son más débiles en 2 magnitudes que el tercer miembro más brillante del cúmulo.

De acuerdo con lo anterior, este catálogo clasifica a Abell 194 como un cúmulo de riqueza 0, es decir, cuenta de 30 a 49 galaxias en el cúmulo, que no son más débiles en 2 magnitudes que el tercer miembro más brillante del cúmulo. Bautz y Morgan (1970) lo clasifican como un cúmulo de clase II que son aquellos cúmulos en los cuales la galaxia o las galaxias más brillantes son intermedias en apariencia entre las de clase cD y las galaxias gigantes elípticas. De acuerdo con Rood y Sastry (1971), Abell 194 es un cúmulo tipo L, donde 3 o más de las galaxias más brillantes están alineadas. El cúmulo de Abell 194 es un cúmulo cuya población galáctica es pobre en galaxias espirales y rica en galaxias SO (Pimentel, 1989). Abell 194 es un cúmulo que forma un abanico con vértice en las galaxias NGC 545 y NGC 547 (Rood y Sastry, 1971).

Las correcciones por enrojecimiento o correcciones K (K -corrections) se obtuvieron de acuerdo con las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) de la sección II.2., tomando una $\langle V_0 \rangle = 5,491$ Km

seg^{-1} ($\langle z \rangle = 0.018$) para aquellas que no tienen medida V_o individual. Se tomó como constante de Hubble el valor $H_o = 50 \text{ Km}$ $\text{seg}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ por lo que la distancia media al cúmulo es $d = \frac{\langle V_o \rangle}{H_o} = 109 \text{ Mpc}$.

Las correcciones correspondientes a la extinción interestelar se obtuvieron de acuerdo con las ecuaciones (5), (6), (7) y (8) de la sección II.2. y se adoptó para este cúmulo el valor $A_B = 0.12$, de acuerdo con el procedimiento explicado en la misma sección.

Los coeficientes de extinción interestelar obtenidos para este cúmulo son:

$$A_J = 0.030$$

$$A_H = 0.02:$$

$$A_K = 0.011$$

Como el cúmulo de Abell 194 se localiza fuera del plano galáctico y como se puede observar de los valores de los coeficientes de extinción interestelar y de los errores de las magnitudes observadas J , H y K (Tabla II.3.1.); los coeficientes A_J , A_H y A_K son del orden del error instrumental de las magnitudes observadas: 0.01-0.03; por lo que la extinción interestelar introducida por el medio interestelar es relativamente pequeña.

Por lo tanto, sólo se considera la corrección por corrimiento al rojo para los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y la magnitud K_c en este cúmulo.

La Tabla II.3.1. presenta los datos fotométricos obtenidos para 30 galaxias, incluidas 4 galaxias E, 20 galaxias S0, 5 galaxias S (Espirales) y 1 galaxia SBab (Espiral barrada).

En las columnas (1), (2), (3), (4) y (5) se presentan el

número de secuencia, el nombre de la galaxia de acuerdo con Dressler (1980), el NGC-IC y el tipo morfológico de acuerdo con RC2, y la fecha de observación. La identificación de las galaxias de acuerdo con su NGC-IC se hizo usando las coordenadas galácticas de 1950 en el catálogo de Dressler (1980). Debido a que la gran mayoría de las coordenadas de los centros galácticos del catálogo RC2, como se mencionó en el capítulo I., son coordenadas corregidas y no coinciden o se aproximan con las del catálogo de Dressler (1980). La identificación resultó ser demasiado complicada por lo que podrían existir errores en las identificaciones NGC-IC para cada galaxia. En las columnas (6), (7), (8), (9), (10) y (11) se presentan las magnitudes observadas J , H y K con su error instrumental correspondiente. En las columnas (12), (13), (14) y (15) se presentan los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$, $(J-K)_c$ y la magnitud K_c corregidos por enrojecimiento debido a la velocidad de recesión o correcciones K (K -corrections). La extinción interestelar en este cúmulo no se considera como ya se mencionó antes, debido a que esta corrección es del orden del error instrumental. En las columnas (16), (17) y (18), se presentan los valores de $\log D_{25}$; que es el diámetro deproyectado del objeto a la isofota de magnitud 25; los valores de la magnitud aparente total B_T y los valores de $(B-V)_T$ de acuerdo con el catálogo RC2 (r) y con Burstein *et al.* (1987) (b), respectivamente. En la columna (19) se presentan los valores de V_T estimados de la siguiente manera: $V_T = B_T - (B-V)_T$.

Tabla II.3.1. Fotometria *JHK* de galaxias en Abell 194.

No	Nom	NGC-IC	T.M.	Fecha	J	σ_J
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1	I119	Sa	2-9-86	12.72	0.02
2	2		Sb	2-9-86	13.00	0.02
3	3		SO	4-9-86	12.48	0.03
4	4	N560	SO _p	14-8-86	11.63	0.02
5	5	N558	SO	4-9-86	12.38	0.03
6	6	N564	E	14-8-86	11.63	0.02
7	7		SO	5-9-86	11.88	0.01
8	17		SBab	7-9-86	12.18	0.02
9	18	I1696	E	24-8-86	12.28	0.02
10	19	N519	SO	24-8-86	12.62	0.04
11	23	N538	Sa	23-8-86	12.05	0.02
12	25	N530	SO/a	14-8-86	11.71	0.03
13	29		SO	22-8-86	12.32	0.05
14	30		SO/a	22-8-86	12.52	0.05
15	31		SO	23-8-86	12.49	0.02
16	33		SO	14-8-86	12.29	0.02
17	34	N541	D	13-9-86	11.51	0.01
18	35		Sa	23-8-86	12.22	0.02
19	40		Sp	7-9-86	13.72	0.04
20	42		Sp	14-8-86	11.28	0.02
21	43	N547	D	14-9-86	11.29	0.02
22	45		SO	24-8-86	12.88	0.02
23	47	N545	SO _p	14-8-86	12.01	0.02
24	50	N565	SO	24-8-86	12.33	0.03
25	53	N543	SO	14-8-86	12.27	0.03
26	56		E/SO	16-8-86	12.65	0.04
27	59	N548	SBO	16-8-86	12.69	0.05
28	60		SO	16-8-86	12.20	0.04
29	64		SO	16-8-86	12.67	0.03
30	75		SO	7-9-86	12.34	0.02

Tabla II.3.1. (Continuación).

No	H	σ_H	K	σ_K	(J-H) _c	(H-K) _c
(1)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	12.05	0.03	11.79	0.03	0.66	0.19
2	12.28	0.02	11.96	0.02	0.71	0.26
3	11.80	0.03	11.53	0.02	0.66	0.21
4	10.90	0.02	10.63	0.02	0.72	0.20
5	11.77	0.03	11.44	0.03	0.60	0.27
6	10.83	0.01	10.64	0.01	0.78	0.12
7	11.19	0.02	10.94	0.02	0.67	0.18
8	11.55	0.02	11.25	0.01	0.61	0.24
9	11.41	0.02	11.20	0.02	0.86	0.14
10	12.04	0.03	11.75	0.03	0.57	0.22
11	11.41	0.01	11.18	0.03	0.63	0.16
12	10.97	0.02	10.72	0.01	0.72	0.20
13	11.67	0.06	11.45	0.05	0.64	0.14
14	11.76	0.06	11.62	0.04	0.74	0.07
15	11.84	0.02	11.61	0.02	0.64	0.16
16	11.58	0.02	11.30	0.02	0.69	0.22
17	10.78	0.02	10.54	0.01	0.72	0.17
18	11.47	0.02	11.12	0.02	0.73	0.29
19	13.13	0.06	12.82	0.05	0.58	0.24
20	10.53	0.01	10.30	0.01	0.74	0.16
21	10.57	0.02	10.32	0.02	0.71	0.18
22	12.10	0.04	11.96	0.04	0.77	0.07
23	11.19	0.02	10.87	0.01	0.81	0.25
24	11.56	0.03	11.31	0.04	0.75	0.18
25	11.47	0.02	11.19	0.01	0.78	0.21
26	12.02	0.02	11.63	0.03	0.62	0.32
27	11.93	0.01	11.65	0.04	0.74	0.22
28	11.55	0.02	11.29	0.02	0.64	0.19
29	12.10	0.03	11.98	0.03	0.56	0.06
30	11.66	0.01	11.38	0.03	0.66	0.21

Tabla II.3.1. (Continuación).

No (1)	(J-K) _c (14)	K _c (15)	log D ₂₅ (16)	B _T (17)	(B-V) _T (18)	V _T (19)
1	0.85	11.86	1.21 ^R			
2	0.97	12.02				
3	0.88	11.59				
4	0.92	10.69	1.36 ^R	13.85 ^R	0.96 ^R	12.89
5	0.87	11.50	0.84 ^R			
6	0.91	10.70	1.26 ^R	13.33 ^B	0.97 ^R	12.38
7	0.86	11.00				
8	0.86	11.30				
9	1.00	11.26	0.95 ^B	14.36 ^B	0.94 ^B	13.42
10	0.80	11.81				
11	0.79	11.24	1.13 ^R			
12	0.92	10.77	1.28 ^B			
13	0.79	11.51				
14	0.82	11.68				
15	0.80	11.67				
16	0.92	11.36				
17	0.90	10.60	1.29 ^B	12.77 ^B	0.96 ^R	11.69
18	1.02	11.18				
19	0.82	12.88				
20	0.91	10.36				
21	0.90	10.38	0.91 ^B	13.03 ^B	1.04 ^R	12.09
22	0.85	12.02				
23	1.06	10.93	1.48 ^B	13.03 ^B	0.89 ^B	12.14
24	0.94	11.37	1.20 ^R			
25	1.00	11.25	0.84 ^R	14.40 ^R	1.06 ^R	13.34
26	0.95	11.69				
27	0.96	11.71	0.90 ^B	14.36 ^B	0.90 ^B	13.39
28	0.84	11.35				
29	0.62	12.04				
30	0.88	11.44				

R: Tomado del Catalogo RC2.

B: Tomado de Burstein et al. (1987).

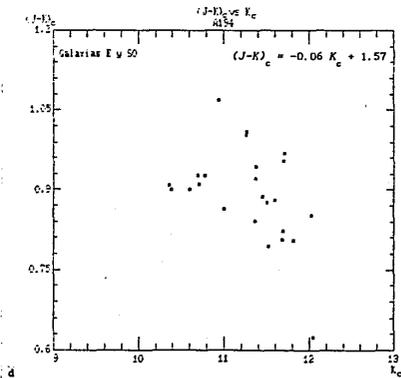
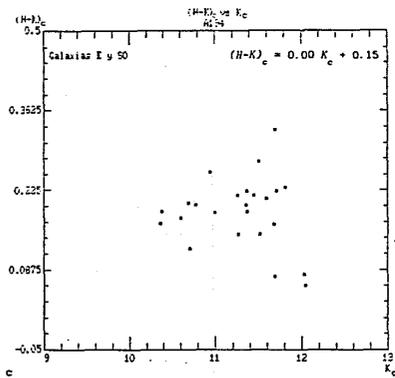
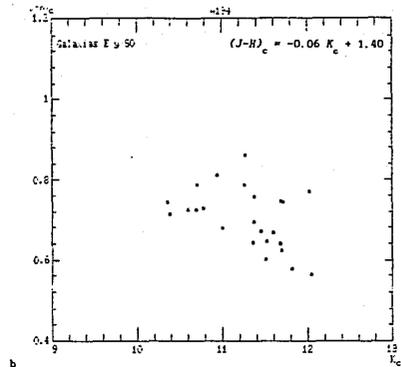
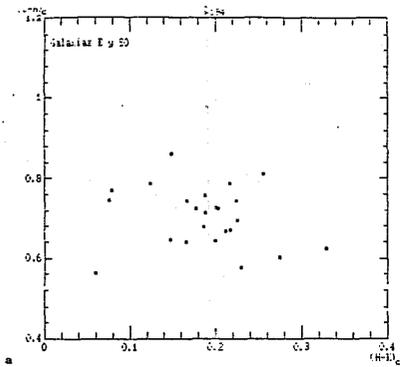


Fig. (II.3. 1a, 1b, 1c y 1d.). a. Gráfica color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ construida a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo de la Tabla II.3.1. b, c y d. Gráficas color-magnitud: $(J-H)_c$ vs. K_c , $(H-K)_c$ vs. K_c y $(J-K)_c$ vs. K_c construidas también a partir de los colores y magnitudes corregidas por corrimiento al rojo de la Tabla II.3.1.

II.4. Abell 426 (Perseo).

De acuerdo con la clasificación de Abell (1958), el cúmulo de Abell 426 (Perseo) está clasificado como un cúmulo rico de clase 2. De acuerdo con el criterio de riqueza usado por este catálogo y que se explicó en II.3., en este cúmulo se contaron de 80 a 129 galaxias que no son más débiles en 2 magnitudes que el tercer miembro más brillante del cúmulo. Bautz y Morgan (1970) lo clasifican como un cúmulo clase II-III que es un tipo intermedio entre los de tipo II como el cúmulo de Abell 194 y los de tipo III que son cúmulos que no contienen galaxias dominantes. Ejemplos de este tipo de cúmulos serían el cúmulo de Virgo y Abell 2065 (CrB). Este tipo de cúmulos se pueden dividir como III-E o como III-S, de acuerdo con la presencia o ausencia de un número considerable de galaxias espirales brillantes. El cúmulo de Abell 426 (Perseo) y el cúmulo de Abell 194 son cúmulos similares debido a su prominente concentración de galaxias brillantes alineadas. El cúmulo de Abell 426 (Perseo) es un cúmulo tipo L, donde 3 o más de sus miembros más brillantes están alineados y numerosas galaxias débiles están situadas alrededor de ellas (Sastry y Rood, 1971).

El cúmulo de Perseo es pobre en galaxias espirales, denso y centralmente concentrado. (Strom y Strom, 1978a). Este cúmulo contiene un tipo de galaxias esféricas que están caracterizadas por un núcleo brillante rodeado por un halo de bajo brillo superficial (Strom y Strom, 1978b).

Como ya se había mencionado antes, los miembros más brillantes del cúmulo están alineados y son: NGC 1275, NGC 1272 e IC 310. El miembro más brillante de este cúmulo es NGC 1275 que es una galaxia Seyfert cuya velocidad media radial ($V_0 = 5,291 \text{ Km seg}^{-1}$) es muy cercana a la velocidad media del cúmulo. Kent y Sargent (1979) creen que esta galaxia es una galaxia elíptica gigante con una galaxia espiral de tipo tardío que está cayendo hacia su centro.

Gear *et al.* (1978) llevaron a cabo medidas en el cercano y lejano infrarrojo en NGC 1275 y concluyeron que la emisión infrarroja desde 1μ hasta 2mm se debe:

- 1) Fundamentalmente a la contribución estelar.
- 2) La emisión en el cercano infrarrojo (JHKL), a la existencia de una componente delgada sincrotrónica no térmica.
- 3) La emisión en el lejano infrarrojo, a una componente térmica debida a la re-radiación de granos de polvo calentados por estrellas jóvenes.

Esta galaxia tiene un núcleo compacto de radio muy intenso con una morfología compleja. Se encontró que este núcleo tiene estructura de chorro. Meaburn *et al.* (1989) encontraron que es un filamento óptico que se proyecta directamente hacia el núcleo de NGC 1275. También encontraron que la intensidad de la emisión de continuo a 5200μ , es de $4.2 \pm 0.4 \times 10^{-28} \text{ erg cm}^{-2} \text{ seg}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$. De acuerdo con Tanaka (1985), esta galaxia es el centro de la emisión de rayos-X y además es el centro del cúmulo. Existen al menos 3 distintas fuentes de emisión de rayos-X que fueron observadas por medio del Observatorio

Einstein: una fuente compacta en NGC 1275; una pequeña fuente difusa centrada en NGC 1275 y una componente más que se encuentra a 1.7' al Este de NGC 1275 (Ulmer *et al.* 1987b).

Kent y Sargent (1979) opinan que estas componentes de emisión de rayos-X son:

1) Una componente extendida de ≈ 1 Mpc centrada en la cadena de galaxias situadas en medio del cúmulo de Perseo. Esta componente se debe a la emisión libre-libre del medio intracúmulo caliente. Se ha calculado que el medio intracúmulo tiene una $T = 10^8$ K y una densidad de $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$.

2) Una componente extendida de 120 Kpc centrada en NGC 1275. La fuente probable de esta componente es el incremento de la densidad del medio intracúmulo en el potencial gravitacional de NGC 1275, que produce emisión intensa de rayos-X.

3) Un punto centrado en NGC 1275 inferido de las observaciones de Hemken (1978).

O'Dea, Dent y Balonek (1984) encontraron que NGC 1275 (3C 84) se encuentra sumergido en un gas térmico de densidad $2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ y una temperatura de 10^4 K. El mecanismo primario de emisión de rayos-X es emisión libre-libre de plasma óptico.

Se ha encontrado que las abundancias de hierro en el medio intercúmulo son del orden de las abundancias solares por lo que Ulmer *et al.* (1987a) concluyen que una fracción sustancial del medio intercúmulo ha sido procesado por estrellas. Los valores de las abundancias de Fe relativas al Sol y las temperaturas dentro y fuera de la región central de acuerdo con Ulmer *et al.* (1987a) son: Dentro: $0.81 \pm \begin{matrix} 0.26 \\ 0.16 \end{matrix}$, Fuera: $0.41 \pm \begin{matrix} 0.41 \\ 0.25 \end{matrix}$ y Dentro $4.2 \pm \begin{matrix} 0.2 \\ 0.1 \end{matrix}$ x

10^7 K y Fuera: $7.1 \pm \begin{matrix} 0.8 \\ 0.6 \end{matrix} \times 10^7$ K, respectivamente. La baja temperatura en la región central del cúmulo es consistente con la alta densidad y el resultante tiempo corto de enfriamiento (menor que el tiempo de Hubble en el núcleo del cúmulo) (Fabian et al., 1978, Sarazin, 1986 citado en Ulmer et al., 1987a).

Las correcciones por enrojecimiento por corrimiento al rojo o correcciones K (K -corrections) se obtuvieron de acuerdo con las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) de la sección II.2. En este caso no se tomó ninguna velocidad promedio $\langle V_0 \rangle$ ya que todas las galaxias tienen medida individual de V_0 . Si consideramos una velocidad promedio $\langle V_0 \rangle = 5,070 \text{ Km seg}^{-1}$ ($\langle z \rangle = 0.0169$) y la constante de Hubble $H_0 = 50 \text{ Km seg}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, entonces la distancia media al cúmulo es $d = \frac{\langle V_0 \rangle}{H_0} = 101 \text{ Mpc}$.

Las correcciones por extinción se obtuvieron de las ecuaciones (5), (6), (7) y (8) de la sección II.2. y se adoptó un valor de $A_B = 0.70$, usando el procedimiento que se explicó en la misma sección. Los coeficientes de extinción interestelar son los siguientes :

$$A_J = 0.150$$

$$A_H = 0.10:$$

$$A_K = 0.061$$

En este cúmulo sí es necesario aplicar una corrección por extinción ya que los coeficientes de extinción interestelar no son del orden del error instrumental. Como el cúmulo de Perseo se encuentra cerca del plano de la galaxia, el material de la Galaxia introduce un error significativo en las medidas de las magnitudes de la fotometría JHK de este cúmulo.

Por lo anterior, las correcciones por enrojecimiento y extinción interestelar se tomaron en cuenta para los colores corregidos $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y para la magnitud K_c de este cúmulo.

En la Tabla II.4.1. se presentan los datos para el cúmulo Abell 426 (Perseo) obtenidos a través de la fotometría *JHK* para 23 galaxias en las que se incluyen: 14 galaxias E, 5 galaxias S0, 3 galaxias Sb y 1 Galaxia Sa.

En las columnas (1), (2), (3) y (4) se presentan el número de secuencia, el nombre de la galaxia; la notación *Per* está tomada de Strom y Strom (1977) y *CR* denota Chincarini y Rood (1971); la fecha de observación y su correspondiente tipo morfológico de acuerdo con el catálogo RC2. En las columnas (5), (6), (7), (8), (9) y (10) se presentan las magnitudes *J*, *H* y *K* con sus errores instrumentales correspondientes. En las columnas (11), (12), (13) y (14) se presentan los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y la magnitud K_c corregidos por extinción interestelar y por corrimiento al rojo. En la columna (15), (16) y (17) se presentan los valores del $\log D_{25}$, la magnitud total aparente B_T y el valor de $(B-V)_T$ de acuerdo con RC2 (R) y con Burstein *et al.* (1987) (B), respectivamente. En la columna (18) se presentan las velocidades de recesión individuales de acuerdo con Kent y Sargent (1979) (K) y Burstein *et al.* (1987) (B) y en la columna (19) su *z* correspondiente. En las columnas (20) y (21) se presentan los valores de la dispersión de velocidades σ y el valor del índice de metalicidad Mg_2 para cada galaxia de acuerdo con Davies *et al.* (1987).

Tabla II.4.1. Fotometría JHK de galaxias en Abell 426 (Perseo).

No	NGC-IC	Fecha	T. M.	J	σ_J	H	σ_H
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	N1175	22-9-87	S0+	11.31	0.01	10.64	0.01
2	N1186	22-9-87	Sbc	10.99	0.01	10.52	0.01
3	N1233	22-9-87	Sb	11.61	0.01	10.92	0.02
4	N1250	22-9-87	S0+	11.49	0.02	10.80	0.01
5	N1260	18-10-87	E	11.56	0.01	10.82	0.01
6	N1268	13-9-87	Sb	13.35	0.04	12.64	0.03
7	N1270	18-10-87	E	11.12	0.02	10.33	0.01
8	N1271	13-9-87	E	11.77	0.02	11.04	0.01
9	N1272	18-10-87	S0	11.30	0.01	10.54	0.01
10	N1273	18-10-87	E	11.62	0.02	10.84	0.01
11	N1274	18-10-87	E	11.91	0.02	11.14	0.02
12	N1275	18-10-87	S0	11.34	0.01	10.59	0.01
13	N1278	20-10-87	E	11.50	0.01	10.75	0.01
14	N1282	18-10-87	E	11.56	0.02	10.82	0.01
15	N1283	18-10-87	E/S0	11.86	0.02	11.14	0.02
16	N1293	20-9-87	E0	11.80	0.01	11.08	0.01
17	N1294	20-9-87	S0-	11.69	0.01	10.91	0.01
18	I310	23-9-87	E/S0	11.36	0.01	10.57	0.01
19	Per101	18-10-87	E	12.73	0.02	12.09	0.02
20	I284	22-9-87	Sa	11.56	0.01	11.04	0.01
21	Per199	20-9-87	E/S0	12.33	0.01	11.61	0.00
22	Per195	20-9-87	E	12.53	0.04	11.83	0.03
23	CR32	20-9-87	E	12.01	0.02	11.27	0.02

Tabla II.4.1. (Continuación).

No (1)	K (9)	σ_K (10)	(J-H) _c (11)	(H-K) _c (12)	(J-K) _c (13)	K _c (14)
1	10.31	0.01	0.61	0.21	0.95	10.32
2	10.34	0.01	0.41	0.09	0.58	10.31
3	10.51	0.03	0.62	0.32	1.05	10.50
4	10.49	0.01	0.63	0.19	0.97	10.50
5	10.47	0.01	0.68	0.23	1.05	10.47
6	12.41	0.04	0.66	0.15	0.88	12.38
7	10.04	0.01	0.73	0.19	1.03	10.03
8	10.72	0.02	0.66	0.22	1.01	10.72
9	10.24	0.02	0.70	0.20	1.00	10.23
10	10.62	0.02	0.72	0.11	0.97	10.62
11	10.84	0.01	0.70	0.18	1.03	10.85
12	10.25	0.01	0.68	0.24	1.04	10.25
13	10.45	0.01	0.68	0.18	1.01	10.46
14	10.56	0.01	0.68	0.19	0.93	10.52
15	10.74	0.03	0.66	0.28	1.09	10.75
16	10.80	0.02	0.66	0.18	0.94	10.79
17	10.56	0.01	0.71	0.23	1.10	10.57
18	10.24	0.02	0.73	0.22	1.07	10.24
19	11.82	0.03	0.58	0.17	0.87	11.81
20	10.92	0.01	0.46	0.04	0.57	10.89
21	11.26	0.02	0.65	0.25	1.03	11.25
22	11.63	0.02	0.64	0.05	0.88	11.66
23	10.97	0.01	0.68	0.20	0.98	10.96

Tabla II.4.1. (Continuación).

No (1)	log D ₂₅ (15)	B _T (16)	(B-V) _T (17)	V _{gal} (18)	z (19)	log σ (20)	M _{B2} (21)
1	1.39 ^R	13.80 ^R	1.01 ^R	5738 ^K	0.019		
2	1.52 ^R			2830 ^K	0.009		
3	1.32 ^R	14.00 ^R	0.81 ^R	4506 ^K	0.015		
4	1.43 ^R			3260 ^K	0.011		
5	1.23 ^R	13.65 ^B		4841 ^B	0.016		
6	1.08 ^R			6332 ^K	0.021		
7	0.92 ^B	13.57 ^B	1.16 ^R	5718 ^B	0.019		
8				5883 ^K	0.019		
9	1.26 ^B	12.23 ^B	0.96 ^B	4172 ^B	0.013		
10	0.95 ^B	13.52 ^B	1.15 ^R	5354 ^B	0.017		
11	0.75 ^R	14.38 ^B		6399 ^B	0.021		
12	1.41 ^R	12.35 ^R	0.76 ^R	5291 ^K	0.017		
13	1.12 ^B	12.83 ^R	1.07 ^R	6115 ^B	0.020		
14	1.00 ^B	13.36 ^B	0.85 ^B	2203 ^B	0.007	2.35	0.264
15	0.92 ^B	13.75 ^B	0.92 ^B	6727 ^B	0.022	2.37	0.308
16	0.98 ^B	13.41 ^B	0.89 ^B	4132 ^B	0.013	2.36	0.345
17	1.25 ^R	14.20 ^R	1.09 ^R	6682 ^K	0.022		
18	1.08 ^B	13.12 ^B	0.97 ^B	5346 ^K	0.017	2.36	0.272
19	0.60 ^B	15.48 ^B		4963 ^B	0.016	1.97	0.249
20	1.60 ^R			2860 ^K	0.009		
21	0.93 ^B	13.75 ^B		5039 ^B	0.017	2.29	0.307
22	0.84 ^B	14.20 ^B		8342 ^B	0.028	2.22	0.300
23	0.92 ^B	13.79 ^B	0.98 ^B	4453 ^B	0.015	2.37	0.315

R: Tomado del Catalogo RC2.

K: Tomado de Kent y Sargent (1979).

B: Tomado de Burstein et al. (1987).

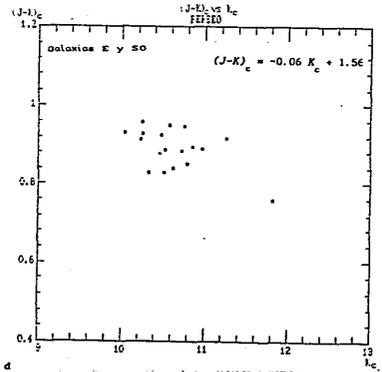
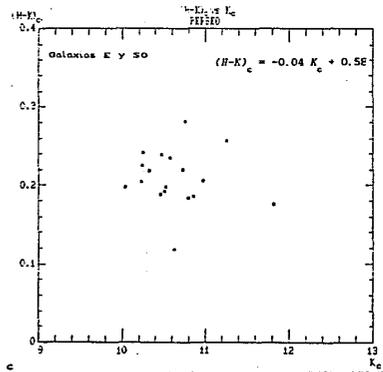
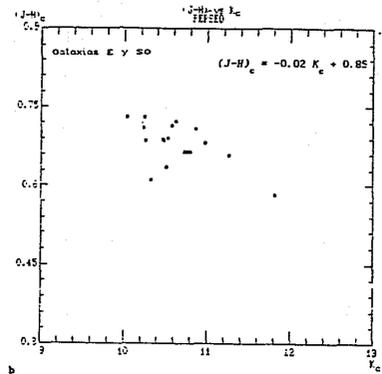
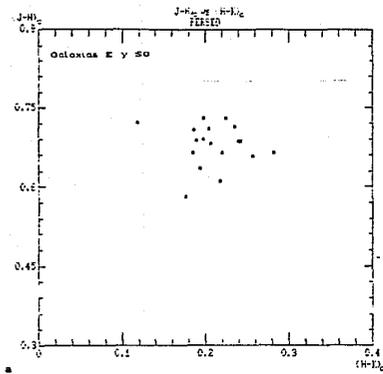
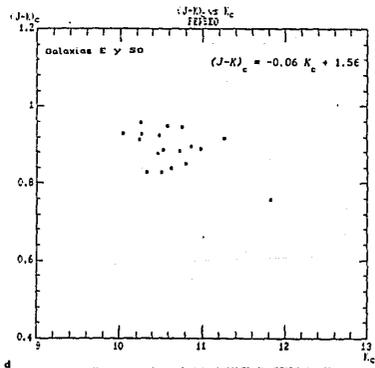
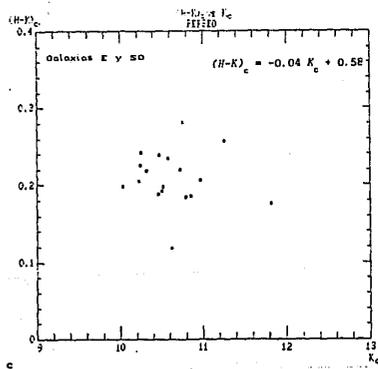
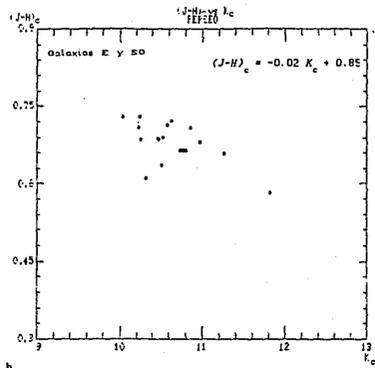
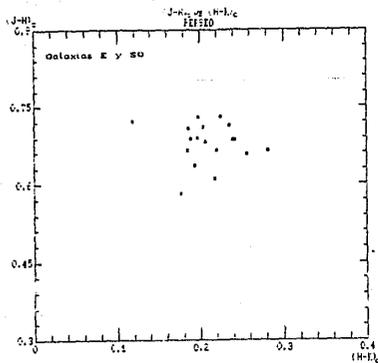


Fig. (11.4. 1a, 1b, 1c y 1d.). a. Gráfica color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ construida a partir de los colores corregidor por corrimiento al rojo y por extinción interestelar de la Tabla 11.4.1. b, c y d. Gráficas color-magnitud: $(J-H)_c$ vs. K_c , $(H-K)_c$ vs. K_c y $(J-K)_c$ vs. K_c construidas también a partir de los colores y magnitudes corregidas por corrimiento al rojo y por extinción interestelar de la Tabla 11.4.1.



Figs. (II.4. 1a, 1b, 1c y 1d.). a. Gráfica color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ construida a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo y por extinción interestelar de la Tabla II.4.1. b, c y d. Gráficas color-magnitud: $(J-H)_c$ vs. K_c , $(H-K)_c$ vs. K_c y $(J-K)_c$ vs. K_c construidas también a partir de los colores y magnitudes corregidas por corrimiento al rojo y por extinción interestelar de la Tabla II.4.1.

II.5. Abell 2151 (Hércules).

El supercúmulo de Hércules esta formado por 3 cúmulos de galaxias: Abell 2151 (Cúmulo de Hércules), Abell 2152 y por Abell 2147.

Abell (1958) clasifica a Abell 2151 como un cúmulo de riqueza 2. De acuerdo con el criterio de riqueza explicado en el cúmulo de Abell 194, en este cúmulo se contaron de 80 a 129 galaxias que no son más débiles en 2 magnitudes que el tercer miembro más brillante del cúmulo. Este cúmulo, de acuerdo con Rood y Sastry (1971), es un cúmulo tipo I, donde las galaxias están distribuidas irregularmente con o sin centro bien definido. Strom y Strom (1978) clasifican a este cúmulo como irregular, rico en galaxias espirales y de baja densidad.

NGC 6045 es la fuente más potente de emisión infrarroja en este cúmulo (Young *et al.* 1984) e IC 1182 parece tener una estructura de chorro (Schommer *et al.* 1981). De acuerdo con Cooke *et al.* (1977), Abell 2151 contiene 4 radiogalaxias relativamente intensas. Las 2 radiogalaxias más intensas se asocian con NGC 6034 y con NGC 6061, se encuentran situadas al norte y al sur del cúmulo, respectivamente. La presencia de estas 2 radiogalaxias prueba indirectamente que gas con densidad del orden de 10^{-4} cm^{-3} está presente en estas regiones y que probablemente se encuentra en todo el supercúmulo. Para estos autores, la emisión de rayos-X proviene del gas caliente intercúmulo y el pico de emisión de rayos-X no coincide con la región donde la concentración galáctica es mayor (Abell 2151). De acuerdo con Giovanelli *et al.* (1981) la

densidad de HI en Abell 2151 es menor a la que existe en Abell 2147. Es decir, hay una deficiencia de gas en el centro del supercúmulo y parece estar acoplado primariamente con la presencia de una fuente de rayos-X fuerte y difusa. Esta deficiencia de HI indica que estas galaxias han tenido interacción con el medio del cúmulo, debido a que este gas se encuentra menos ligado y es más susceptible a perturbaciones externas. Esta deficiencia de gas es más pronunciada en galaxias que se encuentran más cercanas al núcleo del cúmulo. Los mecanismos para expulsar este HI no pueden ser internos. Evidencias observacionales sugieren que esta pérdida de HI se da por medios externos, como evaporación del gas, y "ram pressure stripping", ocasionadas por el medio intercúmulo. Bica y Giovanelli (1987) dicen que la emisión del lejano infrarrojo en este tipo de cúmulos tiene distintas componentes:

1) Polvo muy frío. Este polvo frío está asociado con nubes moleculares con una temperatura de color $T_c \approx 15-20$ K y con su pico de emisión a longitudes de onda mayores a 100μ .

2) Polvo frío. Este polvo está asociado con el hidrógeno atómico. Tiene una temperatura de color $T_c \approx 20-30$ K y tiene su pico de emisión a 100μ .

3) Polvo tibio. Este polvo está asociado con gas ionizado en regiones HI1 de baja densidad y con gas molecular en cáscaras densas que rodean a estrellas B. Este gas tiene una temperatura de color $T_c \approx 35-50$ K y su pico de emisión está entre $50-100\mu$.

4) Polvo caliente. Este polvo está asociado con estrellas OH/IR y con pequeños granos de polvo calentados a muy altas temperaturas. Este polvo tiene una temperatura de color $T_c \approx 500 \text{ K}$ y su pico de emisión a 10μ .

Bicay y Giovanelli (1987) concluyen que el polvo caliente no es una componente importante en la emisión del lejano infrarrojo, por lo que las componentes que influyen en esta emisión son las originadas por el gas frío o el gas tibio o por ambos. Existen distintos mecanismos que surten de calor a estas componentes. El polvo tibio es probablemente el indicio de la existencia de una población estelar joven, dado que las fuentes de calor para el polvo asociado con regiones HII son muy probablemente estrellas O; y estrellas B para el polvo asociado con nubes circumestelares moleculares. El campo de radiación interestelar, compuesto por radiación óptica, más los fotones ultravioletas de estrellas jóvenes provee de calor al gas frío.

Al igual que en los cúmulos anteriores, las correcciones por enrojecimiento o correcciones K (K -corrections) se obtuvieron de acuerdo a las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) de la sección II.2. tomando una velocidad promedio $\langle V_o \rangle = 10,800 \text{ Km seg}^{-1}$ ($\langle z \rangle = 0.036$) para aquellas galaxias que no tienen medida individual V_o y se tomó como constante de Hubble $H_o = 50 \text{ Km seg}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, por lo que la distancia media al cúmulo es $d = \frac{\langle V_o \rangle}{H_o} = 216 \text{ Mpc}$.

Las correcciones por extinción interestelar se obtuvieron de acuerdo a las ecuaciones (5), (6), (7) y (8) de la sección II.2. y se adoptó $A_B = 0.12$ usando el procedimiento explicado en la misma sección. Las correcciones obtenidas fueron:

$$A_J = 0.030$$

$$A_H = 0.02:$$

$$A_K = 0.010$$

Como el cúmulo de Hércules se encuentra lejos del plano galáctico es posible comparar los coeficientes de extinción A_J , A_H y A_K obtenidos previamente, con los errores instrumentales asociados a las magnitudes J , H y K (Tabla II.5.1.), y se observa que estos son del mismo orden: 0.01-0.07, por lo que la extinción interestelar debida al medio intergaláctico es despreciable.

Por lo tanto, la única corrección importante que se tomó en cuenta para los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y para la magnitud K_c en este cúmulo, es la corrección por enrojecimiento debido a la velocidad de recesión.

A continuación se presenta la fotometría JHK para 47 galaxias, y otros datos obtenidos de la literatura, en el cúmulo Abell 2151 (Hércules) en las que se incluyen 5 galaxias E, 16 galaxias SO y 26 galaxias S.

En las columnas (1), (2), (3) y (4) se presenta el número de secuencia, el nombre de la galaxias de acuerdo con el catálogo de Dressler (1980), el NGC-IC de acuerdo con el catálogo RC2 y su tipo morfológico, respectivamente. La identificación de las galaxias de acuerdo con su NGC-IC, en el catálogo RC2, se hizo

usando las coordenadas galácticas de 1950 del catálogo de Dressler (1980). Debido a que, como ya se mencionó antes, las coordenadas del centro galáctico en el catálogo RC2 son coordenadas corregidas y también a que este cúmulo se encuentra en una área bastante poblada (Corwin Jr., 1971), las coordenadas de las galaxias son poco precisas y por consiguiente la identificación resultó ser demasiado complicada por lo que pueden existir errores en los correspondientes NGC-IC para cada galaxia. En las columnas (5), (6), (7), (8), (9), (10) y (11) se presentan la fecha de observación y las medidas de las magnitudes J , H y K con su respectivo error instrumental. En las columnas (12), (13), (14) y (15) se presentan los colores $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ y la magnitud K_c corregidas sólo por corrimiento al rojo, ya que, como se explicó anteriormente, cualquier otro tipo de enrojecimiento es despreciable. En las columnas (16), (17), (18) y (19) se presentan los valores $\log D_{25}$, $(B-V)_T$, B_T y V_{gal} de acuerdo con RC2.

Tabla II.5.1. Fotometria *JHK* de galaxias en Abell 2151 (Hércules).

No	Nom	NGC-IC	T.M.	Fecha	J	σ_J
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	7	N6034	E	9-4-86	12.11	0.03
2	9		SO	7-8-86	13.05	0.04
3	10		S	21-3-86	12.98	0.04
4	11		SO	15-8-86	13.60	0.08
5	12		S	9-8-86	13.62	0.06
6	15		E	15-8-86	12.77	0.03
7	19	I1186	S	8-8-86	13.19	0.04
8	24	I1173	S	4-8-86	13.36	0.04
9	30		S	20-3-86	13.76	0.07
10	39	I1181	S	7-8-86	13.02	0.13
11	40	I1178	E	9-4-86	12.22	0.03
12	44		S	6-8-86	13.57	0.09
13	56		SO	13-8-86	12.49	0.03
14	59	I1185	S	17-8-86	11.93	0.02
15	62		SO	15-8-86	12.45	0.03
16	63	N6042	E	13-4-86	12.84	0.04
17	64	N6043	SO	16-8-86	12.35	0.02
18	67	N6040B	S	4-8-86	13.10	0.03
19	68	N6047	S	7-8-86	12.74	0.09
20	72	I119A	SO	5-8-86	12.30	0.03
21	74		S	5-8-86	13.11	0.03
22	77	I1183	SO	16-8-86	12.52	0.03
23	78	I1182	SO	13-4-86	12.73	0.05
24	80	N6050	S	6-8-86	13.56	0.16
25	82	N6045	S	6-8-86	12.50	0.03

Tabla II.5.1. (Continuación).

No	Nom	NGC-IC	T.M.	Fecha	J	σ_J
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
26	83	N6043	E	9-4-86	12.64	0.03
27	85		SO	14-8-86	13.18	0.03
28	91		S	14-8-86	13.53	0.07
29	93	N6044	SO	5-8-86	12.82	0.03
30	94		S	14-8-86	13.81	0.06
31	95		S	6-8-86	13.48	0.04
32	98		S	14-8-86	13.39	0.06
33	99		SO	14-8-86	13.75	0.03
34	101	I1176	S	17-8-86	12.43	0.01
35	107		S	6-8-86	13.96	0.04
36	109		S	9-8-86	13.64	0.07
37	114		S	13-8-86	12.77	0.04
38	115		S	13-8-86	13.68	0.06
39	118		S	13-8-86	14.02	0.10
40	119		SO	13-8-86	14.57	0.05
41	120		SO	6-8-86	12.88	0.05
42	121	N6055	S	6-8-86	12.23	0.01
43	124		SO	14-8-86	13.05	0.03
44	127		S	8-8-86	13.76	0.05
45	128		S	21-3-86	12.96	0.03
46	134	N6061	SO	13-4-86	12.18	0.02
47	137		SO	9-8-86	13.05	0.05

Tabla II.5.1. (Continuación).

No	H	σ_H	K	σ_K	(J-H) _c	(H-K) _c
(1)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	11.40	0.03	11.14	0.03	0.68	0.14
2	12.33	0.03	12.11	0.04	0.70	0.09
3	12.37	0.03	12.07	0.05	0.59	0.17
4	12.76	0.04	12.44	0.11	0.81	0.19
5	12.92	0.03	12.47	0.05	0.67	0.32
6	12.01	0.02	11.78	0.02	0.75	0.09
7	12.49	0.04	12.19	0.04	0.67	0.16
8	12.56	0.03	12.28	0.05	0.77	0.14
9	12.77	0.06	12.60	0.04	0.96	0.04
10	12.35	0.02	11.92	0.05	0.65	0.29
11	11.52	0.03	11.23	0.03	0.68	0.16
12	13.00	0.05	12.55	0.06	0.55	0.32
13	11.69	0.02	11.33	0.01	0.78	0.23
14	11.23	0.01	10.92	0.03	0.68	0.18
15	11.75	0.03	11.46	0.01	0.69	0.16
16	12.07	0.02	11.68	0.02	0.75	0.26
17	11.61	0.02	11.33	0.02	0.72	0.16
18	12.32	0.04	12.07	0.02	0.76	0.09
19	11.83	0.01	11.59	0.02	0.89	0.12
20	11.50	0.03	11.32	0.05	0.77	0.04
21	12.19	0.04	11.71	0.04	0.90	0.35
22	11.78	0.02	11.48	0.02	0.72	0.18
23	11.92	0.04	11.68	0.04	0.78	0.12
24	12.94	0.07	12.59	0.08	0.60	0.21
25	11.80	0.01	11.32	0.03	0.68	0.36

Tabla II.5.1. (Continuación).

No	H	σ_H	K	σ_K	(J-H) _c	(H-K) _c
(1)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
26	11.81	0.02	11.62	0.03	0.80	0.07
27	12.40	0.02	12.19	0.03	0.76	0.08
28	12.77	0.05	12.39	0.05	0.73	0.25
29	12.03	0.03	11.93	0.04	0.76	-0.02
30	13.03	0.03	12.62	0.08	0.76	0.28
31	12.74	0.03	12.35	0.07	0.72	0.26
32	12.71	0.04	12.32	0.04	0.65	0.26
33	13.03	0.03	12.64	0.07	0.70	0.26
34	11.73	0.01	11.39	0.03	0.68	0.21
35	13.08	0.05	12.99	0.05	0.85	-0.03
36	12.89	0.05	12.53	0.05	0.73	0.22
37	12.04	0.01	11.67	0.03	0.71	0.23
38	12.75	0.05	12.64	0.04	0.91	-0.01
39	13.59	0.05	13.06	0.05	0.41	0.40
40	13.99	0.08	13.25	0.09	0.56	0.61
41	12.19	0.03	11.95	0.03	0.67	0.11
42	11.50	0.01	11.22	0.02	0.70	0.15
43	12.30	0.04	12.14	0.05	0.72	0.03
44	12.89	0.05	12.36	0.09	0.84	0.40
45	12.22	0.04	11.94	0.05	0.72	0.14
46	11.52	0.02	11.17	0.03	0.63	0.21
47	12.40	0.03	11.95	0.04	0.62	0.33

Tabla II.5.1. (Continuación).

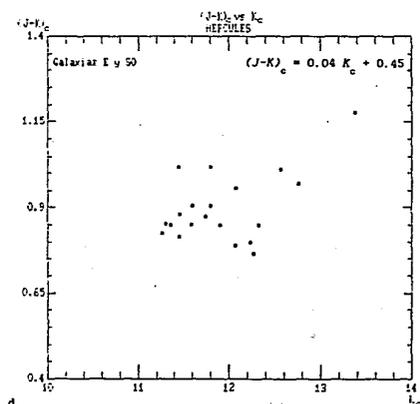
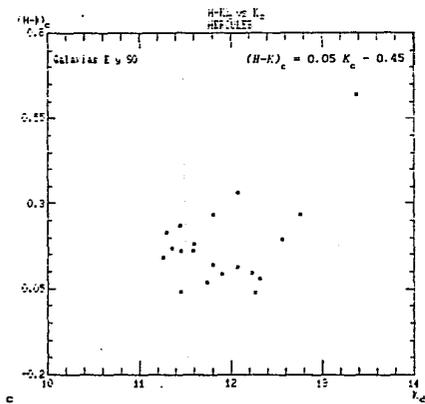
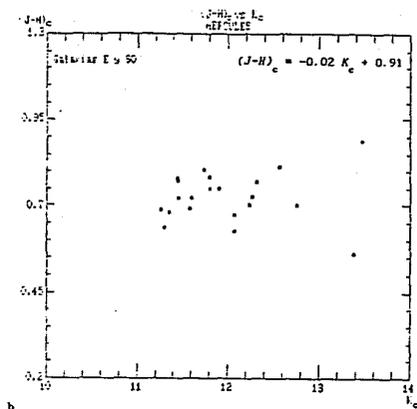
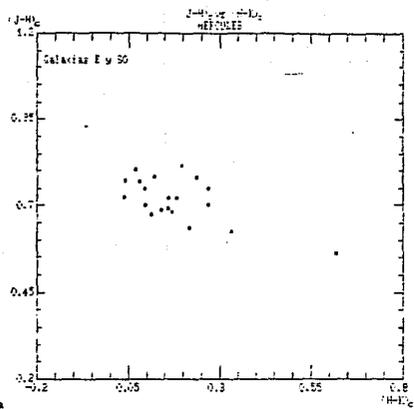
No (1)	(J-K) _c (14)	K _c (15)	log D ₂₅ (16)	(B-V) _T (17)	B _T (18)	V _{gal} (19)
1	0.82	11.25				
2	0.79	12.22				
3	0.76	12.19				
4	1.01	12.56				
5	1.00	12.59				
6	0.84	11.90				
7	0.84	12.31	0.91 ^R			11172
8	0.92	12.40	1.10 ^R			10999
9	1.01	12.72				
10	0.95	12.04	1.05 ^R			10850
11	0.85	11.35	1.14 ^R			10564
12	0.87	12.67				
13	1.01	11.44				
14	0.86	11.04	0.89 ^R	0.89 ^R	14.75 ^R	10564
15	0.85	11.58				
16	1.01	11.80				
17	0.88	11.45				
18	0.85	12.21	1.20 ^R			12729
19	1.01	11.70	1.10 ^R	1.10 ^R	14.65 ^R	10024
20	0.81	11.45	0.75 ^R	0.98 ^R	15.25 ^R	11755
21	1.26	11.82				
22	0.90	11.59	0.96 ^R	1.07 ^R	15.35 ^R	10150
23	0.90	11.80	0.80 ^R		15.70 ^R	10342
24	0.81	12.71				11217
25	1.04	11.43		0.95 ^R	15.10 ^R	10024

R: Tomado del Catalogo RC2.

Tabla II.5.1. (Continuación).

No	(J-K) _c	K _c	log D ₂₅	(B-V) _T	B _T	V _{gal}
(1)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
26	0.87	11.73				
27	0.84	12.31				
28	0.99	12.51				
29	0.74	12.04			15.60 ^R	10048
30	1.05	12.73				
31	0.99	12.46				
32	0.92	12.44				
33	0.96	12.75				
34	0.90	11.51				
35	0.82	13.10				
36	0.96	12.65				
37	0.95	11.79				
38	0.90	12.71				
39	0.81	13.18				
40	1.17	13.36				
41	0.78	12.06				
42	0.85	11.34	1.18 ^R			11481
43	0.76	12.26				
44	1.25	12.48				
45	0.86	12.06				
46	0.85	11.30	1.15 ^R			11332
47	0.95	12.06				

R: Tomado del Catalogo RC2.



Figs. (II.5. 1a, 1b, 1c y 1d.). a. Gráficas color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ construida a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo de la Tabla II.5.1. b, c y d. Gráficas color-magnitud: $(J-H)_c$ vs. K_c , $(H-K)_c$ vs. K_c y $(J-K)_c$ vs. K_c construidas también a partir de los colores y magnitudes corregidas por corrimiento al rojo de la Tabla II.5.1.

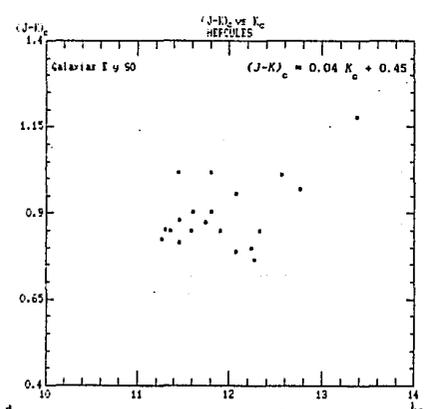
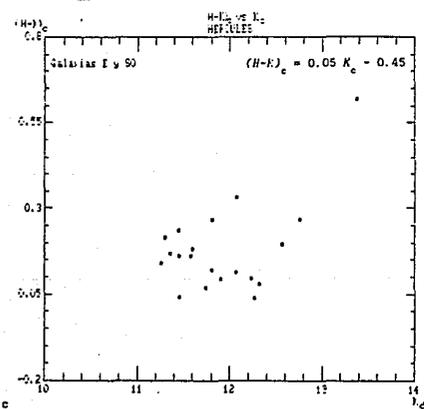
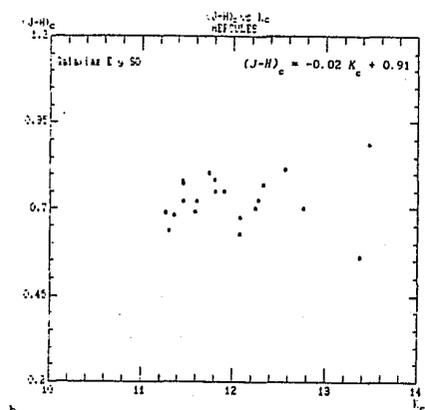
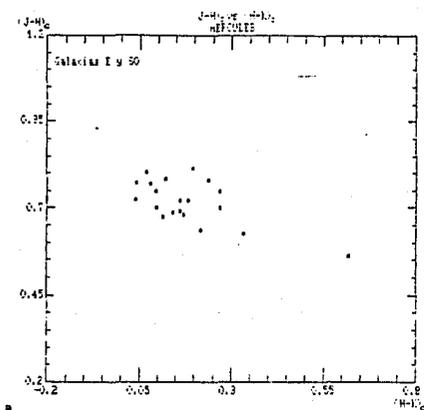


Fig. (II.5. 1a, 1b, 1c y 1d.). a. Gráfica color-color $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ construida a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo de la Tabla II.5.1. b, c y d. Gráficas color-magnitud: $(J-H)_c$ vs. K_c , $(H-K)_c$ vs. K_c y $(J-K)_c$ vs. K_c construidas también a partir de los colores y magnitudes corregidas por corrimiento al rojo de la Tabla II.5.1.

III.1 Introduccion.

En este capítulo se contruirán las curvas de crecimiento K para las muestras completas de los cúmulos de Abell 194, Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules) utilizando la siguiente Tabla de valores adoptados por Frogel et al. (1978).

Tabla III.1.1. Curva de crecimiento K adoptada.

Log A/D(0)	Δ Mag (K)	Log A/D(0)	Δ Mag (K)
-1.1	+1.57	-0.4	+0.16
-1.0	+1.34	-0.3	0.00
-0.9	+1.13	-0.2	-0.15
-0.8	+0.91	-0.1	-0.29
-0.7	+0.70	0.0	-0.42
-0.6	+0.50	+0.1	-0.55
-0.5	+0.33		

Tomada de Frogel et al. (1978).

Estos valores adoptados para galaxias elípticas y galaxias SO se usaron para la construcción de las curvas de crecimiento, considerando a las galaxias espirales contenidas en las observaciones realizadas en los cúmulos estudiados. Las leyes que describen las distribuciones de luminosidad resultan ser distintas para las galaxias elípticas como para las galaxias de disco. La ley que describe adecuadamente la distribución de luminosidad para la gran mayoría de las galaxias gigantes elípticas es la ley de de Vaucouleurs, conocida como la "Ley de $r^{1/4}$ ". Para las galaxias de disco, la ley que describe la distribución de luminosidad es una combinación de la "Ley de $r^{1/4}$ ", para la parte central de la

galaxia o bulbo y una ley exponencial para el disco (Mihalas y Binney, 1980).

La curva de crecimiento es un proceso con el cual uno puede calcular la magnitud integrada de una galaxia. Esto se hizo por que, como se menciona en II.1, la abertura del fotómetro instalado en el telescopio de 2.1 de San Pedro Mártir es de 14.8 seg. de arco, por lo que, para las galaxias espirales y para las galaxias elípticas, se observó sólo el bulbo galáctico debido a que son objetos muy extendidos. De acuerdo con lo anteriormente expuesto, fue posible utilizar los valores adoptados por Frogel et al. (1978) para la construcción de las curvas de crecimiento para posteriormente obtener la magnitud total K_T y construir las gráficas color-color: $(V-K)_T$ vs. $(J-K)_c$, $(B-K)_T$ vs. $(J-K)_c$ y color-magnitud: $(V-K)_T$ vs. K_T y $(B-K)_T$ vs. K_T para cada cúmulo.

Se presenta una Tabla para cada cúmulo en las que se listan los valores con los cuales se construyó la curva de crecimiento K , los valores de la magnitud total infrarroja K_T , los valores de los colores totales $(V-K)_T$ y $(B-K)_T$ obtenidos a través de la curva de crecimiento para cada cúmulo.

En la columna (1) se presenta el número de secuencia utilizado en las Tablas de las secciones II.3.1., II.4.1. y II.5.1., en la columna (2) se presentan los valores del $\log D_{25}$; que es el diámetro deproyectado de la galaxia a la isofota de magnitud 25; de acuerdo con el catálogo RC2 (R) y con Burstein et al. (1987) (B). En la columna (3) se presentan los valores del $\log A/D_{25}$. Este valor de $\log A/D_{25}$ no es más que un cociente de aperturas, que para nuestro caso A es la apertura que se usó en el

telescopio de 2.1 mts. de San Pedro Mártir y D(0) es el diámetro deproyectado de la galaxia a la isofota 25, que se encuentra listado en RC2. Para la construcción de la curva de crecimiento se utilizó la abertura $A = 14.8$ seg. de arco y el valor del $\log D_{25}$. Los valores obtenidos se evaluaron en la curva de crecimiento utilizada por Frogel et al. (1978) para encontrar los valores correspondientes a Δm_K ; que es el cambio de magnitud en K que hay que sumar o restar para obtener la magnitud total infrarroja K_T ; listados en la columna (4). Se presentan las curvas de crecimiento obtenidas para cada cúmulo de acuerdo con el procedimiento antes descrito. En la columna (5) y (6) se presentan los valores de la magnitud infrarroja K_c corregidos por extinción y/o por corrimiento al rojo para cada cúmulo, y el valor de la magnitud total infrarroja K_T obtenida sumando la columna (5) con la columna (4). En la columna (7) y (8) se presentan los valores de los colores totales $(V-K)_T$ y $(B-K)_T$. Estos valores se obtuvieron usando los valores de la magnitud total B_T y el color total $(B-V)_T$ que se encuentran listados en las Tablas de las secciones II.3.1, II.4.1. y II.5.1., y los valores de la magnitud infrarroja K_T listados en la columna (6) de la presente Tabla. Se estimó el valor correspondiente para la magnitud total V_T de la siguiente manera: $V_T = B_T - (B-V)_T$

III.2. Abell 194.

Tabla III.2.1. Curva K de crecimiento.

No	$\log D_{25}$	$\log A/D_{25}$	Δm_k	K_c	K_T	$(V-K)_T$	$(B-K)_T$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1.21 ^R	-0.82	-0.95	11.86	10.91:		
4	1.12 ^B	-0.73	-0.76	10.69	9.93	2.43	3.40
5	0.84 ^R	-0.45	-0.24	11.50	11.26		
6	1.16 ^B	-0.77	-0.84	10.70	9.86	2.62	3.59
9	0.91 ^B	-0.52	-0.36	11.26	10.90	2.46	3.46
11	1.13 ^R	-0.74	-0.78	11.24	10.46:		
12	1.28 ^B	-0.89	-1.20	10.77	9.57		
17	1.25 ^B	-0.86	-1.40	10.60	9.20	2.61	3.57
21	1.23 ^R	-0.54	-1.00	10.38	9.38	2.61	3.65
23	1.48 ^R	-1.09	-1.54	10.93	9.39	2.75	3.64
24	1.20 ^R	-0.81	-0.93	11.37	10.44		
25	0.84 ^R	-0.45	-0.24	11.25	11.01	2.33	3.39
27	0.93 ^B	-0.54	-0.40	11.71	11.31:	2.15	3.05

: Galaxias espirales.

B: Tomado de Burstein et al. (1987).

R: Tomado del Catalogo RC2.

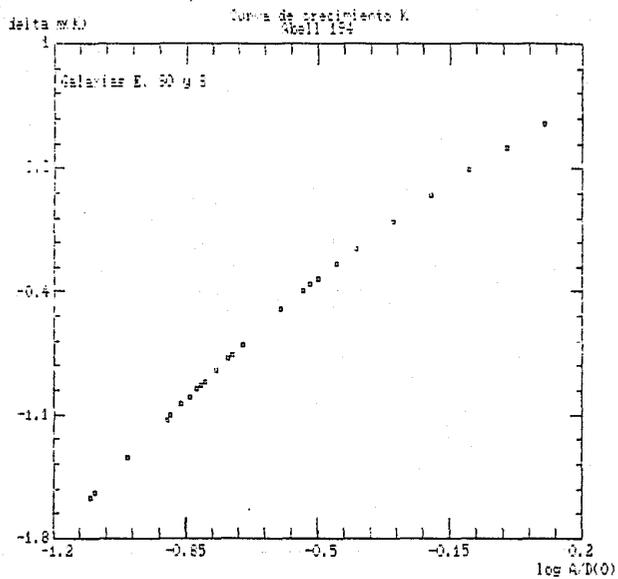
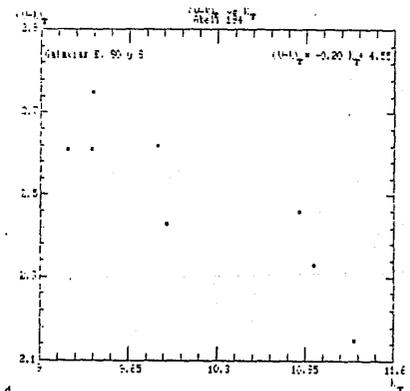
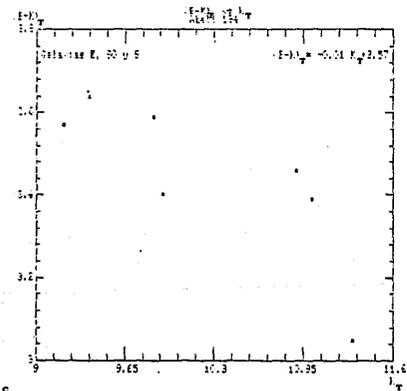
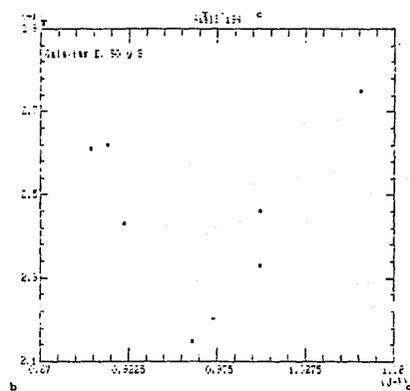
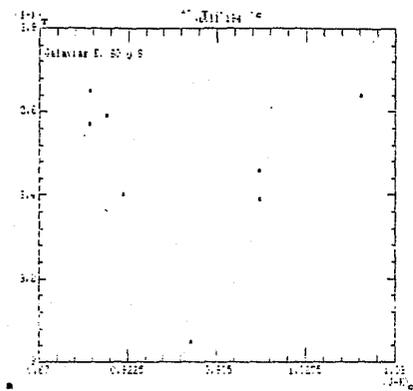


Fig. (III.2.1). Curva de crecimiento para el cúmulo de Abell 194
construida a partir de los valores de la Tabla III.2.1.



Figs. (III.2. 2a, 2b, 2c y 2d.). a y b. Gráficas color-color: $(B-K)_T$ vs. $(J-K)_c$ y $(V-K)_T$ vs. $(J-K)_c$ construidas a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo y totales de las Tablas II.3.1 y III.2.1. b y c. Gráficas color-magnitud $(B-K)_T$ vs. K_T y $(V-K)_T$ vs. K_T construidas a partir de los colores y magnitudes totales de la Tabla III.2.

III.3. Abell 426 (Perseo).

Tabla III.3.1. Curva K de crecimiento.

No	$\log D_{25}$	$\log A/D_{25}$	Δm_K	K_c	K_T	$(V-K)_T$	$(B-K)_T$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1.39 ^R	-1.00	-1.34	10.32	8.98	3.81	4.82
2	1.52 ^R	-1.13	-1.65	10.31	8.66:		
3	1.32 ^R	-0.93	-1.19	10.50	9.31:	3.88	4.69
4	1.43 ^R	-1.04	-1.44	10.50	9.06		
5	0.96 ^R	-0.57	-0.45	10.47	10.02		3.63
6	1.08 ^R	-0.69	-0.68	12.38	11.70:		
7	0.92 ^B	-0.53	-0.38	10.03	9.65	2.76	3.92
9	1.26 ^B	-0.87	-1.06	10.23	9.17	2.10	3.06
10	0.95 ^B	-0.56	-0.44	10.62	10.18	2.19	3.34
11	0.75 ^R	-0.40	-0.16	10.85	10.69		3.69
12	1.41 ^R	-1.02	-1.38	10.25	8.87	2.72	3.48
13	1.12 ^B	-0.73	-0.76	10.46	9.70	2.06	3.13
14	1.00 ^B	-0.61	-0.52	10.52	10.00	2.51	3.36
15	0.92 ^B	-0.53	-0.38	10.75	10.37	2.46	3.38
16	0.98 ^B	-0.59	-0.49	10.79	10.30	2.22	3.11
17	1.25 ^R	-0.86	-1.04	10.57	9.53	3.58	4.67
18	1.08 ^B	-0.69	-0.68	10.24	9.56	2.59	3.56
19	0.60 ^B	-0.21	+0.14	11.81	11.95		3.53
20	1.60 ^R	-1.21	-1.84	10.89	9.05:		
21	0.93 ^B	-0.54	-0.40	11.25	10.85		2.90
22	0.84 ^B	-0.45	-0.24	11.66	11.42		2.78
23	0.92 ^B	-0.53	-0.38	10.96	10.58	2.23	3.21

: Galaxias Espirales.

B: Tomado de Burstein et al. (1987).

R: Tomado del Catalogo RC2.

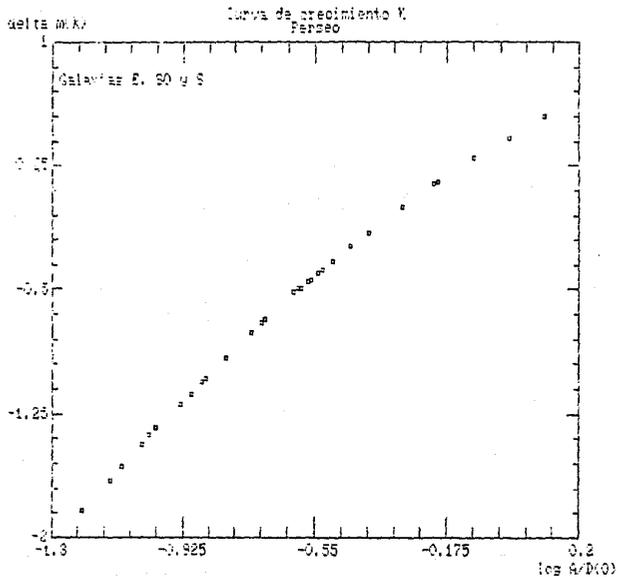


Fig. (III.2.1). Curva de crecimiento para el cúmulo de Abell 426 (Perseo) construida a partir de los valores de la Tabla III.3.1.

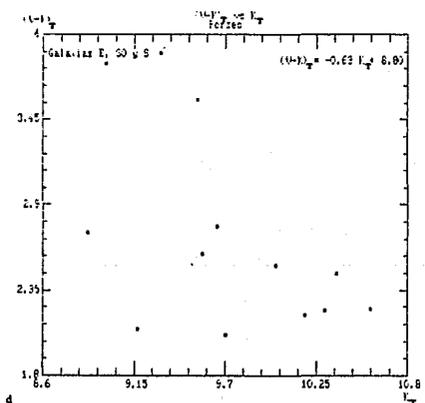
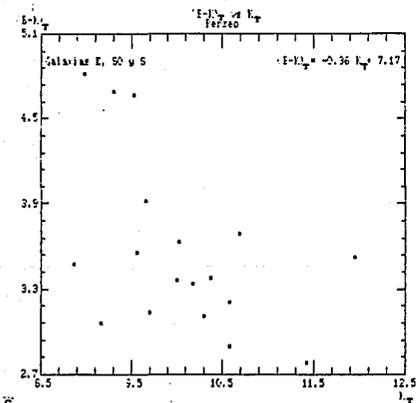
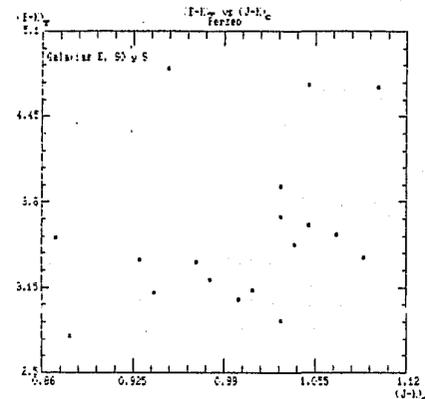
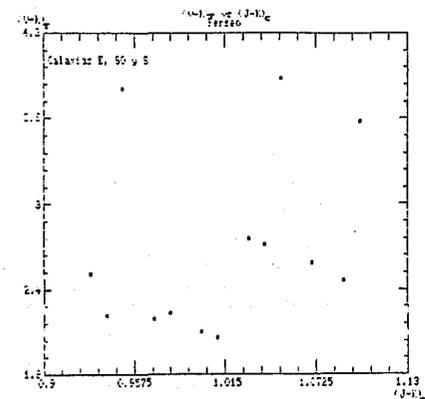


Fig. (III.3. 2a, 2b, 2c y 2d.). a y b. Gráficas color-color: $(B-K)_T$ vs. $(J-K)_T$ y $(V-K)_T$ vs. $(J-K)_T$ construidas a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo y por extinción interestelar y totales de las Tablas II.4.1 y III.3.1. b y c. Gráficas color-magnitud: $(B-K)_T$ vs. K_T y $(V-K)_T$ vs. K_T construidas a partir de los colores y magnitudes totales de la Tabla III.3.1.

III.4. Abell 2151 (Hercules).

Tabla III.4.1. Curva K de crecimiento.

No	$\log D_{25}$	$\log A/D_{25}$	Δm_K	K_c	K_T	$(V-K)_T$	$(B-K)_T$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
7	0.91 ^R	-0.52	-0.38	12.31	11.93:		
8	1.10 ^R	-0.71	-0.72	12.40	11.68:		
10	1.05 ^R	-0.66	-0.62	12.04	11.42:		
11	1.14 ^R	-0.75	-0.80	11.35	10.55		
14	0.89 ^R	-0.50	-1.12	11.04	9.92:	1.93	4.83
18	1.20 ^R	-0.81	-0.94	12.21	11.27:		
19	1.10 ^R	-0.71	-0.72	11.70	10.98:	2.57	3.67
20	0.75 ^R	-0.36	-0.10	11.45	11.35	2.92	3.90
22	0.96 ^R	-0.57	-0.46	11.59	11.13	3.15	4.22
23	0.80 ^R	-0.41	-0.18	11.80	11.62		4.08
25	1.12 ^R	-0.73	-0.76	11.43	10.67	3.48	4.43
29	0.73 ^R	-0.34	-0.06	12.73	12.04		3.56
42	1.18 ^R	-0.79	-0.88	11.34	10.46		

: Galaxias espirales.

B: Tomado de Burstein et al. (1987).

R: Tomado del Catalogo RC2.

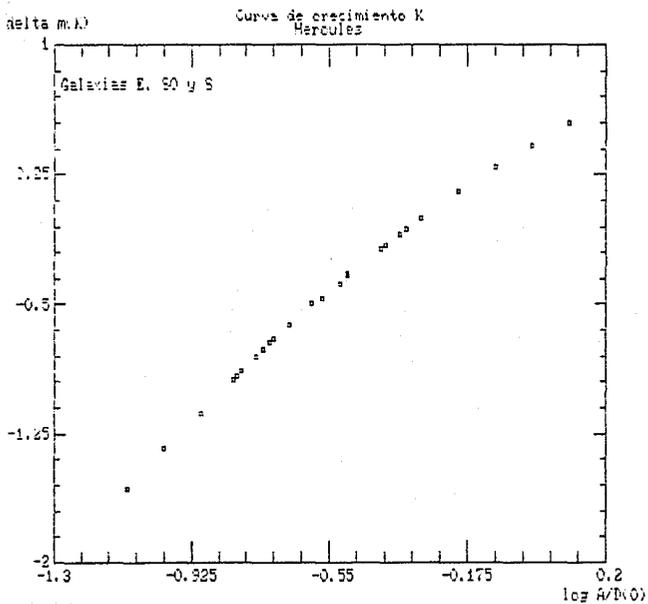


Fig. (III.2.1). Curva de crecimiento para el cúmulo de Abell 2151 (Hércules) construida a partir de los valores de la Tabla III.4.1.

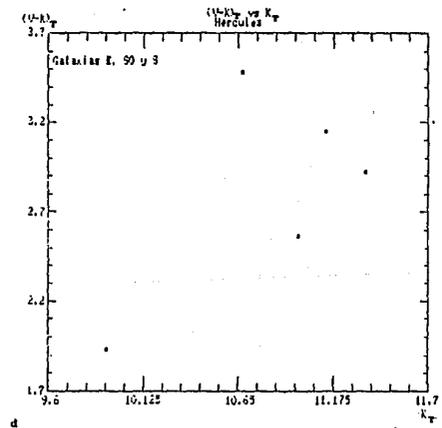
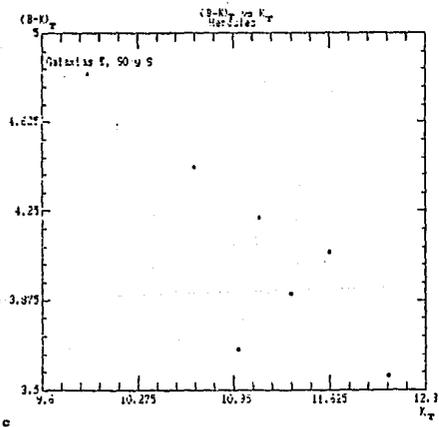
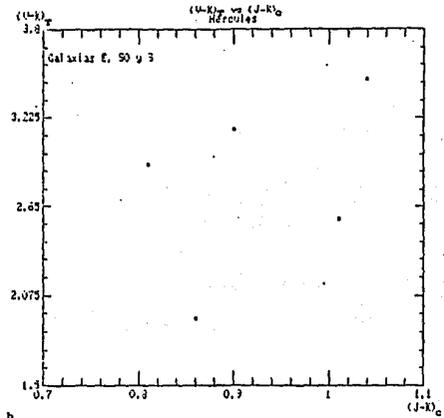
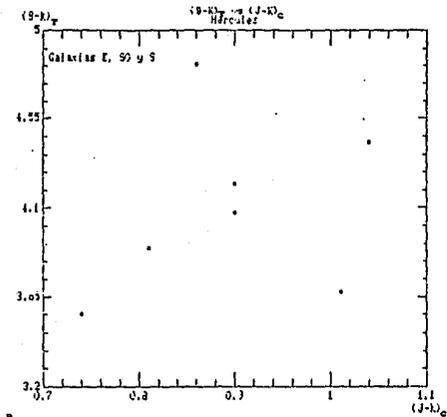


Fig. (III.4. 2a, 2b, 2c y 2d.). a y b. Gráficas color-color: $(B-K)_T$ vs. $(J-K)_C$ y $(U-K)_T$ vs. $(J-K)_C$ construidas a partir de los colores corregidos por corrimiento al rojo y totales de las Tablas II.5.1 y III.4.1. b y c. Gráficas color-magnitud: $(B-K)_T$ vs. K_T y $(U-K)_T$ vs. K_T construidas a partir de los colores totales de las Tablas II.5.1 y III.4.1.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con la fotometría *JHK* de los 3 cúmulos de galaxias: Abell 194, Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules).

Los colores promedio corregidos por corrimiento al rojo y por extinción interestelar (c) y los colores totales promedios (τ) (Tabla IV.1.).

Se obtuvieron las relaciones color-magnitud por medio de una regresión simple y las correlaciones para cada color en cada cúmulo estudiado (Tabla IV.2.).

* * *

Los colores promedio de los tres cúmulos estudiados (Tabla IV.1.) corresponden a estrellas gigantes del bulbo galáctico del tipo K y M (Tabla IV.3., Frogel *et al.* 1978), y son estrellas K y M en la secuencia principal. (Tabla IV.4., Johnson, 1966).

En el capítulo II se mencionó que estos cúmulos están clasificados de acuerdo con su población galáctica. Se había mencionado que Abell 194 es un cúmulo rico en galaxias S0 y pobre en galaxias espirales, mientras que el cúmulo de Abell 426 (Perseo) es un cúmulo pobre en galaxias espirales (Strom y Strom, 1978a) y contienen galaxias esféricas con un núcleo brillante (Strom y Strom, 1978b) y el cúmulo de Abell 2151 (Hércules) lo clasifica Strom y Strom (1978), como un cúmulo rico en galaxias espirales y de baja densidad.

Los colores promedio obtenidos para cada cúmulo corresponden a los colores promedios de galaxias elípticas y espirales (Tabla

IV.5., Johnson, 1966), indicando que las poblaciones galácticas de los tres cúmulos son distintas.

En la gráfica $(J-H)_c$ vs. $(H-K)_c$ de Abell 194 se observa que existe una mayor dispersión en el color $(H-K)_c$, comparado con su color similar en los cúmulos de Abell 426 (Perseo) y Abell 2151 (Hércules), lo cual puede ser indicativo de que existe una fracción de población estelar diferente.

En las gráficas color-magnitud $(J-H)_c$, $(H-K)_c$ y $(J-K)_c$ vs. K_c se observa que no hay una correlación entre los colores de las galaxias de tipo temprano y la magnitud infrarroja K_c de cada uno de los cúmulos estudiados (Tabla IV.2.). Como se puede observar en estas gráficas, la dispersión de colores es distinta para cada cúmulo, sugiriendo que las poblaciones de estos cúmulos son diferentes.

Se observa en las gráficas color-magnitud $(B-K)_T$ vs. K_T y $(V-K)_T$ vs. K_T que existe una correlación (Tabla IV.2) en el sentido de que las galaxias más brillantes son las más rojas. Este efecto se observa particularmente claro en el cúmulo de Abell 194. En el cúmulo de Abell 426 (Perseo) se observa que también existe un efecto color-magnitud en el sentido en que las galaxias más brillantes son las galaxias más rojas, aunque el efecto no es tan claro como en Abell 194. El efecto color-magnitud observado en Abell 194 no se observa en Abell 2151 (Hércules) debido a la falta de datos en los catálogos por lo que no se pudieron construir adecuadamente las gráficas de color-magnitud y color-color, y por lo tanto los resultados obtenidos de este cúmulo no son los esperados.

Por todo lo anteriormente dicho se podría concluir, en efecto, que las poblaciones de los tres cúmulos son distintas. Sin embargo, los colores promedios para cada cúmulo (Tabla IV.1.) indican que la población galáctica de estos cúmulos es similar.

IV.1. TABLAS.

Tabla IV.1. Resultados (Promedios).

Promedio	Abell 194	Perseo	Hercules
$\langle (J-H)_c \rangle$	0.69 ± 0.07	0.67 ± 0.04	0.71 ± 0.06
$\langle (H-K)_c \rangle$	0.18 ± 0.06	0.19 ± 0.05	0.16 ± 0.13
$\langle (J-K)_c \rangle$	0.88 ± 0.08	0.99 ± 0.06	0.88 ± 0.10
$\langle (V-K)_T \rangle$	2.50 ± 0.18	2.70 ± 0.62	2.81 ± 0.53
$\langle (B-K)_T \rangle$	3.47 ± 0.18	3.57 ± 0.59	4.10 ± 0.41

Tabla IV.2. Resultados (Relaciones Color-Magnitud).

	Abell 194	Perseo	Hercules
$(J-H)_c$	$-0.06 K_c + 1.40$ $r^2 = -0.46$	$-0.02 K_c + 0.85$ $r^2 = -0.14$	$-0.02 K_c + 0.91$ $r^2 = -0.09$
$(H-K)_c$	$0.00 K_c + 0.15$ $r^2 = 0.03$	$-0.04 K_c + 0.58$ $r^2 = -0.31$	$0.05 K_c - 0.45$ $r^2 = 0.23$
$(J-K)_c$	$-0.06 K_c + 1.57$ $r^2 = -0.38$	$-0.06 K_c + 1.56$ $r^2 = -0.23$	$-0.04 K_c + 0.45$ $r^2 = 0.18$
$(V-K)_T$	$-0.20 K_T + 4.55$ $r^2 = -0.88$	$-0.63 K_T + 8.80$ $r^2 = -0.53$	$0.66 K_T - 4.34$ $r^2 = -0.62$
$(B-K)_T$	$-0.01 K_T + 3.57$ $r^2 = -0.82$	$-0.36 K_T + 7.17$ $r^2 = -0.49$	$-0.54 K_T + 7.17$ $r^2 = -0.84$

Tabla IV.3. Colores promedio adoptados.

T.E.	Estrellas gigantes				Estrellas enanas			
	(V-K)	(J-H)	(H-K)	(J-K)†	(V-K)	(J-H)	(H-K)	(J-K)†
G5	2.08	0.47	0.05	0.52	1.25	0.26	0.04	0.30
G8	2.16	0.49	0.06	0.55	1.50	0.32	0.05	0.37
K0	2.35	0.51	0.08	0.59	1.75	0.37	0.06	0.43
K1	2.48	0.54	0.09	0.63	2.00	0.42	0.07	0.49
K2	2.59	0.56	0.10	0.66	2.25	0.47	0.08	0.55
K3	2.92	0.62	0.12	0.74	2.50	0.52	0.09	0.61
K4	3.24	0.68	0.13	0.81	2.75	0.56	0.10	0.66
K5	3.67	0.73	0.15	0.88	3.00	0.59	0.11	0.70
M0	3.74	0.74	0.16	0.90	3.25	0.63	0.13	0.76
M1	3.90	0.76	0.17	0.93	3.50	0.65	0.14	0.79
M2	4.16	0.76	0.18	0.95	3.75	0.65	0.14	0.79
M3	4.63	0.79	0.20	0.99	4.00	0.63	0.21	0.84
M4	5.34	0.81	0.23	1.04	4.25	0.60	0.22	0.82
M5	6.20	0.86	0.26	1.12	4.50	0.57	0.24	0.81
M6	7.20	0.89	0.30	1.19	4.75	0.54	0.25	0.29
M7		0.91:	0.33:	1.24	5.00	0.53	0.26	0.79
M8		0.89:	0.37:	1.26	5.25	0.52	0.28	0.80

Tomada de Frogel et al. 1978.

† Estimado $(J-K) = (J-H) + (H-K)$

Tabla IV.4. Colores de estrellas en la secuencia principal.

T. E.	(U-B)	(B-V)	(V-R)	(V-I)	(V-J)
BO	-1.38	-0.30	-0.13	-0.41	-0.70
AOV	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02
FOV	0.37	0.33	0.31	0.48	0.57
GOV	0.72	0.60	0.51	0.84	1.02
KOIII	1.83	1.01	0.73	1.25	1.63
MOIII	3.49	1.57	1.23	2.23	2.85
M8III		1.93	4.95	8.51	10.25
M10III					15.62

Tomada de Johnson, 1966.

Tabla IV.4. (Continuación).

T. E.	(V-K)	(V-L)	(J-K):	(B-K)†
BO	-0.93	-0.95	-0.23	-1.23
AOV	0.00	0.00	0.02	0.00
FOV	0.78	0.84	0.21	1.11
GOV	1.40	1.52	0.38	2.00
KOIII	2.24	2.34	0.61	3.25
MOIII	3.85	4.01	1.00	5.42
M8III	11.92	12.60	1.67	13.85
M10III	19.79	22.05	4.17	

Tomada de Johnson, 1966.

: Estimada $(J-K)=(V-K)-(V-J)$

† Estimada $(B-K)=(B-V)+(V-K)$

Tabla IV.5. Colores promedio de galaxias elípticas y espirales.

Tipo	(U-B)	(B-V)	(V-R)	(V-I)	(V-J)
Elípticas	1.56	1.02	0.92	1.67	2.23
Espirales	1.51	0.96	0.91	1.70	2.28
Promedio	1.54	0.99	0.91	1.68	2.26

Tomada de Johnson, 1966.

Tabla IV.4. (Continuación).

Tipo	(V-K)	(V-L)	(J-K):	(B-K)†
Elípticas	3.04	3.48	0.81	4.06
Espirales	3.31	3.50	1.03	4.27
Promedio	3.18	3.49	0.92	4.17

Tomada de Johnson, 1966.

: Estimada $(J-K) = (V-K) - (V-J)$

† Estimada $(B-K) = (B-V) + (V-K)$

V. REFERENCIAS.

- Allen, D.A.: 1975, *Infrared: The New Astronomy*, John Wiley & Sons Co., pag 24.
- Abell, G.O.: 1958, *Astrophys. J. Suppl.*, 3, 211.
- Bicay, M.D., Giovanelli, R.: 1987, *Astrophys. J.*, 321, 645.
- Bothun, G.D., Gregg, M.D.: 1990, *Astrophys. J.*, 350, 73.
- Bautz, L.P., Morgan, W.W.: 1970, *Astrophys. J.*, 162, L149.
- Burstein, D., Davies, R.L., Dressler, A., Faber, S.M., Stone, R.P.S., Lynden-Bell, D., Terlevich, R.J., Wegner, G.,: 1987, *Astrophys. J. Suppl.*, 64, 601.
- Carrasco, L., Recillas-Cruz, E., García-Barreto, A., Cruz-González, I., Serrano P.G., A.: 1991, *P.A.S.P.*, (En prensa).
- Chincarini, G., Rood, H.J.: 1971, *Astrophys. J.*, 168, 321.
- Cooke, B.A., Maccacaro, T., Perola, G.C., Tarenghi, M., Valentijn, E.A.: 1977, *Astron. Astrophys.*, 58, L17.
- Corwing Jr., H.G.,: 1971, *P.A.S.P.*, 83, 320.
- Davies, R.L.: 1987, en Simp. No. 127, I.U.A., *Structure and dynamics of elliptical galaxies*, ed. T. de Zeeuw, Reidel, Dordrecht, pag. 63.
- Davies, R.L., Burstein, D., Dressler, A., Faber, S.M., Lynden-Bell, D., Terlevich, R.J., Wegner, G.: 1987, *Astrophys. J. Suppl.*, 64, 581.
- de Vaucouleurs, G.: 1959, *Handbuch der Physik System*, 53, 275.

- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A., Corwin, H.R.: 1976, *Second Reference Catalog of Bright Galaxies*, University of Texas Press, Austin (RC2).
- Dressler, A.: 1980, *Astrophys. J.*, 236, 351.
- . 1980, *Astrophys. J. Suppl.*, 42, 565.
- Elias, J.H., Frogel, J.A., Matthews, K., Neugebauer, G.: 1982, *Astron. J.*, 87, 1029.
- Frogel, J.A., Person, S.E., Aaronson, M., Matthews, K.: 1978, *Astrophys. J.*, 220, 75.
- Gear, W. K., Gee, G., Robson, E. I., Nolt, I. G.: 1985, *M.N.R.A.S.*, 217, 281.
- Giovanelli, R., Chincarini, G.L., Heynes, M.P.: 1981, *Astrophys. J.*, 247, 383.
- Gregg, M.D.: 1989, *Astrophys. J.*, 337, 45.
- Johnson, H.L.: 1966, *Astrophys. J.*, 143, 187.
- Johnson, H.L., Morgan, W.W.: 1953, *Astrophys. J.*, 117, 313.
- Jura, M.: 1986, *Astrophys. J.*, 306, 483.
- Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K.J. (Editores): 1987, *Fundamental Astronomy*, ed. Springer-Verlag, pag. 93.
- Kent, S.M., Sargent, W.L.W.: 1979, *Astrophys. J.*, 230, 667.
- Knapp, G.: 1987, en Simp. No. 127, I.U.A., *Structure and dynamics of elliptical galaxies*, ed. T. de Zeeuw, Reidel, Dordrecht, pag. 145.

- Larson, R.B., Tinsley, B.M., Caldwell, C.N.: 1980, *Astrophys. J.*,
237, 692.
- Matthews, W.G., Baker, J.C.: 1971, *Astrophys. J.*, 170, 241.
- Meaburn, J., Allan, P. M., Clayton, C. A., Marston, A. P.,
Whitehead, M. J., Pedlar, A.: 1989, *Astron. Astrophys.*; 208,
17.
- Mihalas, D., Binney, J.: 1981, *Galactic Astronomy: Structure and
Kinematics*, W.H. Freeman & Co., San Francisco, Ca.
- Neugebauer, G., Habing, H.J., Van Duinen, R., Aumann, H.H., Baud,
B., Beichman, C.A., Beintema, D.A., Bogges, N., Clegg, P.E.,
De Jong, F., Emerson, J.P., Gautier, T.N., Gillett, F.C.,
Harris, S., Hauser, M.G., Houck, J.R., Jennings, R.E., Low,
F.J., Marsden, P.L., Miley, G., Olton, F.M., Pottasch, S.R.,
Raimond, E., Rowan-Robinson, M., Solfer, B.T., Walker, R.G.,
Wesselius, P.R., Young, E.: 1984, *Astrophys. J.*, 278, L1.
- O'Dea, C.P., Dent, W.A., Bolonek, T.J.: 1984, *Astrophys. J.*, 278,
89.
- Pimentel, P.: 1989, T. de L., Fac. Ciencias, U.N.A.M.
- Recillas-Cruz, E.: 1988, T. de D., Fac. Ciencias, U.N.A.M.
- Recillas-Cruz, E., Carrasco, L., Serrano P.G, A., Cruz-González,
I.: 1990, *Astron. Astrophys.* 229, 64.
- Rood, H.J., Sastry, G.M.: 1971, *P.A.S.P.*, 83, 313.

- Roth, M., Iriarte, A., Tapia, M., Resendiz, G.: 1984, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 9, 25.
- Sadler, E.M.: 1987, en Simp. No. 127, I.U.A., *Structure and dynamics of elliptical galaxies*, ed. T. de Zeeuw, Reidel, Dordrecht, pag. 125.
- Sage, L.J., Wrobel, J.M.: 1989, *Astrophys. J.*, 344, 204.
- Sandage, A., Visvanathan, N.: 1978, *Astrophys. J.*, 225, 742.
- Savage, B.D., Mathis, J.S.: 1979, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 17, 73.
- Schweizer, F.: 1987, en Simp. No. 127, I.U.A., *Structure and dynamics of elliptical galaxies*, ed. T. de Zeeuw, Reidel, Dordrecht, pag 109.
- Soyfer, B. T., Houck, J. R., Neugebauer, G.: 1987, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 25.
- Spitzer Jr., L., Baade, W.: 1951, *Astrophys. J.*, 113, 413.
- Strom, K.M., Strom, S.E.: 1978, *Astron. J.*, 83, 1293.
- Strom, S.E., Strom, K.M.: 1978a, *Astron. J.*, 83, 732.
- . 1978b, *Astrophys. J.*, 225, L93.
- Tanaka, K.I.: 1985, *P.A.S. Japan*, 37, 481.
- Tapia, M., Neri, L., Roth, M.: 1986, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 13, 115.
- Thronson, H.A., Tacconi, L., Kenney, J., Greenhouse, M.A., Margulis, M., Tacconi-Garman, L., Young, J.S.: 1989, *Astrophys. J.*, 344, 747.

Ulmer, M.P., Cruddace, R.G., Fenimore, E., Snyder, W.A.: 1987a, en
Simp. No. 124, I.U.A., *Observational Cosmology*, ed. A.
Hewitt, Reidel, Dordrecht, pag. 523.

Ulmer, M.P., Cruddace, R.G., Fenimore, E.E., Fritz, G.G., Snyder,
W.A.: 1987b, *Astrophys. J.*, 319, 118.

Young, E., Soifer, B.T., Low, F.J., Neugebauer, M.,
Rowan-Robinson, M., Miley, G., Clegg, P.E., De Jong, T.,
Gautier, T.N.: 1984, *Astrophys. J.*, 278, L75.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**