



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Galaxias Aisladas en el Universo Local.
Propiedades Fotométricas Estructurales
de Galaxias Elípticas.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

F Í S I C A

P R E S E N T A:

JULIETA RUT SALAZAR CONTRERAS.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Héctor Manuel Hernández Toledo.



México D.F. Abril de 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Hoja de datos del jurado

Datos de la alumna

Salazar

Contreras

Julieta Rut

Teléfono: 568 39 952

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Física

Datos del tutor.

Doctor

Héctor Manuel

Hernández

Toledo

Datos del sinodal 1.

Doctora

Deborah

Dultzin

Kessler

Datos del sinodal 2.

Doctor

Juan Adrián

Reyes

Cervantes

Datos del sinodal 3.

Doctor

Vladimir Anton

Ávila

Reese

Datos del sinodal 4.

Doctora

Irene

Cruz-González

Espinosa.

Datos del trabajo escrito

“Galaxias Aisladas en el Universo Local. Propiedades Fotométricas Estructurales de Galaxias Elípticas.”

Sin Subtítulo.

44 páginas

2006.

A mi Madre, mi mejor ejemplo, por creer en mí.

A mi padre por cada momento que estuvimos juntos.

Todo mi agradecimiento

A mi director de tesis Dr. Héctor Toledo por la oportunidad brindada, sus consejos, su tiempo, su confianza y sus conocimientos que fueron inestimables para poder llevar a término este trabajo.

A Claude porque la oportunidad de colaborar con ella ha sido una enseñanza de calidad humana y profesional.

A los sinodales, por el apoyo, la asesoría y el tiempo dedicado a revisar esta tesis Dra. Deborah Dultzin Kessler, Dr. Juan Adrián Reyes Cervantes, Dr. Vladimir Antón Avila Reese y Dra. Irene Cruz-González Espinosa.

A mi madre y a mi padre por ser mis amigos, por su apoyo, cariño, consejos, confianza, ejemplo, tiempo, amor,...

A Armando por ser un apoyo en cada faceta de mi vida, por sus consejos y desde luego, por ser el mejor hermano.

A Fernando que ha soportado mi desaparición en presencia y por cada instante que me ha regalado sin medida.

A Olmo, el gran amigo que se volvió parte de mi familia, por su apoyo incondicional.

A los amigos de verdad Hugo, María, Giovanni y Eva.

A quienes han dado un maravilloso sabor a la Facultad de Ciencias: Enrique, Chucho, Julio, Carlos, Quique, Libertad, Jorge, Leo, Miguel, a los dos Omares y a Sergio.

Al proyecto con referencia 42810 de CONACyT, por haberme otorgado una beca para la realización de esta tesis.

Al instituto de Astronomía de la UNAM por el uso de sus instalaciones y el apoyo otorgado para llevar a cabo observaciones en el Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir B.C.

A la Facultad de Ciencias y a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Y, finalmente, gracias a aquellos que olvidé en este recuerdo pero también fueron y están...

Índice

1. Introducción	2
2. Características generales de las galaxias y clasificación morfológica. ...	3
2.1. Sistema Yerkes.	4
2.2. Características generales de las galaxias elípticas.	5
3. Fotometría.	7
3.1 Magnitud aparente.	7
3.2 Magnitud absoluta.	7
3.3 Color.	7
3.4 Sistemas fotométricos.	8
3.5 Sistemas de banda ancha.	8
3.6 Enrojecimiento.	9
3.7 Luz integrada de las Galaxias	10
3.8 Colores de galaxias en banda ancha.	10
4. Galaxias Elípticas Aisladas: Observaciones.	12
4.1 Criterio de selección.	12
5. Reducción de imágenes CCD.	13
5.1 Detectores CCD.	13
5.2 IRAF.	14
5.3 Preparación de imágenes de Bias.	14
5.4 Preparación de las imágenes de Flats.	14
5.5 Preparación de las imágenes de los Objetos Astronómicos.	15
6. Calibración fotométrica.	17
6.1 Calibración de estrellas estándares.	17
7. Aplicación de la calibración.	19
7.1 Magnitudes Totales Aparentes de las Galaxias Elípticas Aisladas.	19
8. Errores Asociados a las mediciones.	20
9. Resultados y Discusión.	22
9.1 Fotometría.	22
9.2 Morfología.	24
9.3 Clasificación Física: Parámetros CAS.	25
10. Conclusiones.	28
11. Anexos.	30
11.1 Anexo I. Figuras.	30
11.2 Anexo II. Tablas.	34
11.3. Magnitud Total Aparente en las primeras dos aperturas para cada filtro.	40
12. Glosario.	41
13. Bibliografía.	43

1. Introducción.

El problema de definir una galaxia aislada no es fácil de resolver, aún así, es factible localizar galaxias que se encuentran relativamente aisladas respecto al número mucho mayor de las que son parte de cúmulos, grupos y asociaciones.

En este trabajo se presenta un estudio fotométrico, en las bandas B, V, R e I para un subconjunto de un catálogo nuevo de 38 galaxias elípticas aisladas seleccionadas con la base de datos HYPERLEDA utilizando un criterio operacional para identificar sistemas aislados.

Las imágenes CCD utilizadas en este estudio fueron adquiridas en el telescopio de 0.84m del Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir, Baja California (OAN-SPM).

El objetivo es determinar un conjunto de propiedades fotométricas y estructurales que serán utilizadas como referencia para inferir los efectos que el ambiente externo ocasiona en las características internas de una galaxia E y S0 en otros ambientes. A través de analizar las propiedades de las galaxias aisladas se podrá caracterizar los efectos de las interacciones gravitacionales.

Se presentan magnitudes totales, colores totales, concentración, asimetría y grumosidad, además de un análisis morfológico.

2. Características generales de las galaxias y clasificación morfológica.

Las galaxias son acumulaciones enormes de estrellas, polvo y gas interaccionando gravitacionalmente y orbitando alrededor de un centro común. Además de cúmulos de estrellas contienen hidrógeno atómico, hidrógeno molecular, moléculas complejas, compuestas de hidrógeno, nitrógeno, carbono y silicio -entre otros elementos-, así como rayos cósmicos y campos magnéticos, todos constituyentes del medio interestelar de una galaxia.

Existe un enorme número de galaxias en el Universo observable, sin embargo, Hubble encontró que la variedad de sus formas geométricas se puede describir con un número pequeño de parámetros.

La gran mayoría de las galaxias tienen formas geométricas regulares cuando se ven en proyección en el plano del cielo; Hubble las llamó galaxias regulares y se dividen en dos tipos básicos: las de apariencia redonda, llamadas elípticas (*E0 a E7*) y las aplanadas conocidas como de disco (*S*). Estas últimas se subdividen en dos tipos, espirales ordinales (*SA*) y las espirales barradas (*SB*).

Las diferencias más importantes entre galaxias espirales y elípticas son las siguientes:

1. El cociente de las velocidades aleatorias respecto al de las velocidades rotacionales es mucho mayor en las galaxias elípticas que en el de las espirales. Este hecho explica en muy buena medida las diferencias en forma entre las elípticas redondas y las espirales aplanadas.
2. Hay muy poco gas frío (-263 °C [21]) en la mayoría de las galaxias elípticas, el polvo también parece estar ausente en gran medida. Esto es contrario a lo que sucede en la mayoría de las galaxias espirales e irregulares.
3. Hay poca evidencia de estrellas jóvenes en la mayoría de las elípticas, debido probablemente a la ausencia de gas y polvo del que se forman las estrellas jóvenes.
4. La estructura espiral casi siempre se encuentran en los discos de las galaxias grandes: sin embargo algunos tipos de transición entre las galaxias espirales y elípticas (lenticulares *S0*) también carecen de estructura espiral.

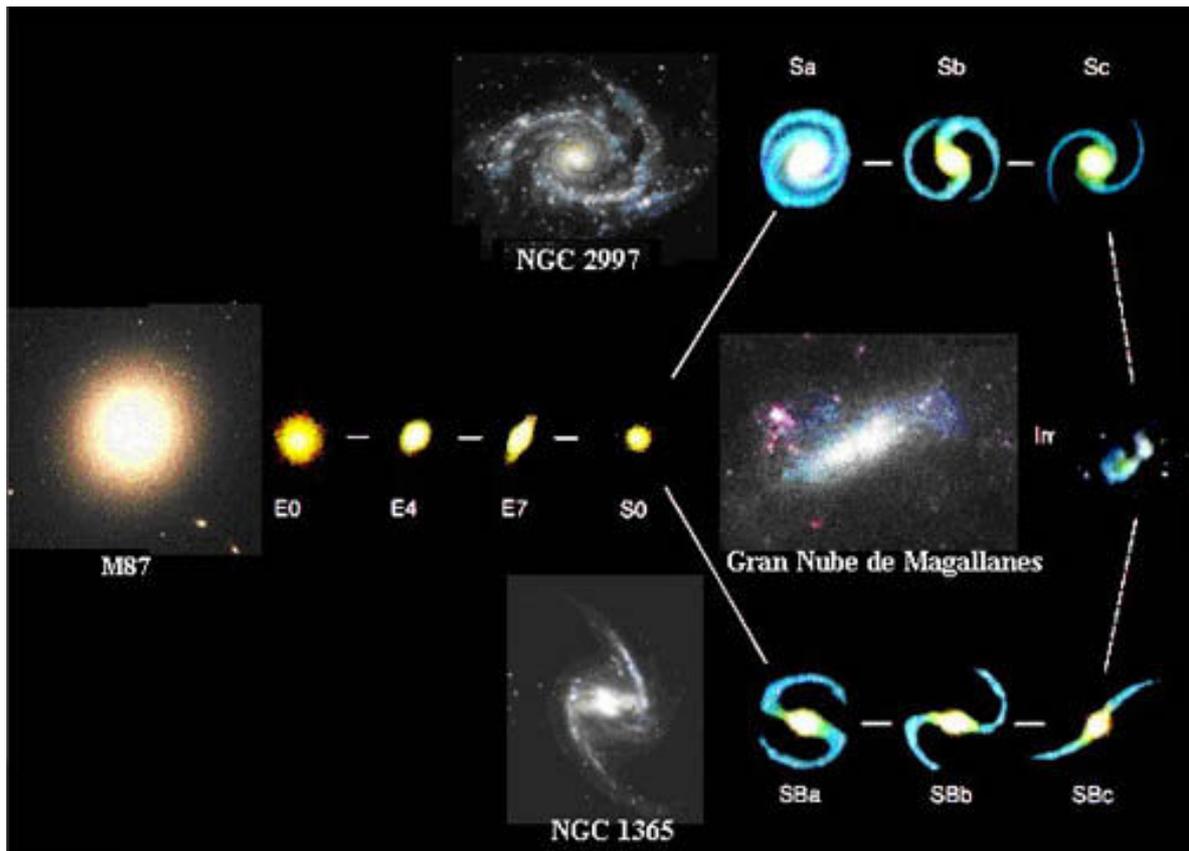


Figura 1. Clasificación Morfológica de las Galaxias, según Hubble.¹

La secuencia morfológica *E - S0 - S - I* refleja variación de propiedades importantes como son: el contenido de gas y polvo, la velocidad de rotación galáctica, movimientos internos, la proporción de estrellas jóvenes que aumenta al pasar de las elípticas a las irregulares y por esta razón habrá una variación en su concentración de luz. Pero esta progresión no parece estar relacionada con el grado de evolución, sino con los procesos que determinaron la formación de las distintas clases de galaxias.

La morfología, puede ser aún más complicada, pues las transiciones entre los distintos tipos de galaxias a veces no son claras y siempre podemos encontrar galaxias con formas intermedias. Así pues, la clasificación de Hubble [8] es insuficiente y tiene el problema de sólo incluir galaxias masivas, dejando fuera a las de menor masa.

2.1 Sistema Yerkes

Existen otros sistemas de clasificación alternativos, como el Sistema Yerkes que está basado en la luz integrada de un objeto y originalmente fue propuesto por W. W. Morgan en el observatorio de Yerkes [16]. Está basado en un solo parámetro relacionado con el grado de concentración de luz y establece una estrecha relación entre la concentración central de luz y el tipo espectral integrado de esa región. Esto es, el tipo de estrellas en una galaxia está relacionado con la concentración de su distribución de luz.

¹Imagen tomada de <http://astronomia.net/cosmologia/galaxias.htm>

Las galaxias se clasificaron a partir de la letra *a*, significando bulbos centrales pequeños y distribuciones de luz difusas, hasta las letras *f*, *g* y *k* donde *k* indica que el tipo espectral integrado de la galaxia es parecido al de una estrella del tipo *K*. Adicionalmente el sistema Yerkes propone un parámetro de forma para describir la forma global de la galaxia con *S* espiral, *B* barrada, *E* elíptica, *I* irregular, *R* simétricas rotacionales y *D* difusas en la parte externa.

Durante las últimas cuatro décadas de estudios de astronomía extragaláctica se ha llegado a la conclusión de que las interacciones gravitacionales modifican propiedades físicas y morfológicas de las galaxias y existe evidencia de que el ambiente en el que se forma una galaxia, determina su estructura [23].

Ante esta evidencia es importante estudiar galaxias suficientemente aisladas para estudiar sus propiedades como forma, tamaño, contenido estelar, cinemática, luminosidad y velocidad entre otros parámetros que constituyen el punto de partida para referir propiedades similares de galaxias que se encuentran interactuando en grupos o en ambientes más densos. Un análisis comparativo permitiría la identificación de los efectos de las interacciones gravitacionales.

Con esta misma filosofía, en este trabajo obtendremos parámetros físicos tales como magnitudes totales, colores totales, luminosidades y parámetros morfológicos estructurales (concentración, asimetría y grumosis) que nos permitirán caracterizar a un conjunto de galaxias elípticas aisladas.

2.2 Características generales de las galaxias elípticas.

Las galaxias elípticas son llamadas así por su forma aparente que recuerda una elipse. Actualmente se sabe que tienen estructura tridimensional, aunque vistas en el plano del cielo pareciera que son óvalos bidimensionales con una concentración central y varios grados de inclinación aparente, expresadas por medio de su elipticidad (ϵ)

$$\epsilon = 1 - \frac{b}{a}. \quad \text{Ec. 1}$$

En donde *a* es el eje mayor y *b* es el eje menor de la elipse que mejor representa la forma global. Hubble denotó a las galaxias elípticas con la letra *E*, seguido por un número *n*, que va desde 0 a 7, y que describe la elipticidad como un número entero

$$n = 10 \left(1 - \frac{b}{a} \right) = 10\epsilon. \quad \text{Ec. 2}$$

Así, con esta notación una galaxia *E0* es redonda y una *E5* es la que tiene su eje mayor del doble que su eje menor.

Esta clasificación describe sólo la elipticidad aparente de la galaxia.

Las galaxias elípticas han dejado de ser esos objetos simples sin estructura que se creía en el pasado. En la actualidad estas galaxias se pueden clasificar de acuerdo a la forma de su estructura interna según modelos que representan su distribución de luz con familias de elipses. Hay dos tipos de galaxias elípticas, de caja y de disco. Las de caja tienen una distribución rectangular de luz en sus centros mientras que las de disco, una pequeña caída de intensidad en las partes externas.

Algunas elípticas tienen una débil estructura en forma de arco en sus regiones externas que suele interpretarse como un remanente de una fusión con otra galaxia.

Las estrellas en las galaxias elípticas se mueven alrededor de su centro uniformemente, en todas direcciones. Las elípticas, tienen brillos que varían suavemente disminuyendo gradual y constantemente, del centro hacia fuera y son también, casi todas, del mismo color: algo más rojas que el Sol. Su color, así como también otras observaciones más detalladas, nos dicen algo importante sobre su historia ya que el color rojo de las galaxias viene de las estrellas más viejas y frías, por lo que su color sugiere que muchas elípticas se formaron hace mucho tiempo y el hecho de que su color sea más o menos el mismo, indica que la mayoría de esas estrellas se formaron en la misma época. La mayoría de las galaxias elípticas, en el Universo, se encuentran cerca de otras similares, en cúmulos de galaxias, donde cerca del 75% son galaxias de éste tipo.

Las galaxias más grandes en el Universo son las galaxias elípticas gigantes, que pueden contener un billón de estrellas o más, y alcanzar un tamaño de unos dos millones de años luz. Una fracción importante de todas ellas contienen agujeros negros supermasivos en sus regiones centrales. Estas galaxias elípticas gigantes residen a su vez en las regiones centrales de los cúmulos de galaxias.

3. Fotometría

La fotometría es una técnica fundamental para la astronomía contemporánea, pues permite conocer información física de objetos lejanos al estudiar la radiación proveniente de ellos, es decir, la cantidad de flujo que emiten y que nos llega en ciertas longitudes de onda o bandas de observación.

3.1 Magnitud Aparente

La escala de magnitudes aparentes de las estrellas fue establecida por Hiparco [21], quien ideó una escala de medida del brillo de las estrellas, clasificándolas visualmente en seis clases [21]. Las más brillantes eran de primera magnitud, las que le seguían inmediatamente (un poco menos brillantes) fueron de segunda magnitud y así sucesivamente, hasta englobar a las estrellas más débiles, apenas distinguibles a simple vista (sexta magnitud). Nótese que las estrellas más tenues en brillo son las que tienen un valor numérico mayor en su magnitud. El principio de esta clasificación ha sido extendido y actualizado a estrellas más débiles.

Este concepto fue generalizado para el flujo de una estrella. El flujo es la cantidad de energía que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo y se relaciona con la magnitud aparente en términos generales con la siguiente expresión:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left(\frac{F_1}{F_2} \right). \quad \text{Ec. 3}$$

Donde m_1 y m_2 son las magnitudes aparentes de las estrellas 1 y 2 y F_1 y F_2 sus flujos.

La magnitud aparente no sólo depende de la energía radiada por las estrellas, sino también de la distancia a la que se encuentran las estrellas, y si se encuentran a diferentes distancias, puede pasar que una sea intrínsecamente menos brillante pero muy cercana o viceversa.

3.2 Magnitud Absoluta

La magnitud absoluta es una medida de la luminosidad que tendría para nosotros una estrella si esta estuviera a una distancia de 10 pc

Para conocer la magnitud absoluta (M), se debe conocer la magnitud aparente (m), así como la distancia (d) a la que se encuentra con respecto a nosotros medida en parsec (pc). Así

$$M = m + 5 - 5 \log d. \quad \text{Ec. 4.}$$

3.3 Color

El color de una estrella depende de la temperatura de su superficie. En astronomía, habitualmente, el color se mide como la diferencia en magnitudes

de dos longitudes de onda y se comparan las medidas para determinar la temperatura. En los años 50 se estableció el sistema de medida del color con tres bandas UBV [10]: ultravioleta (U) a 360 nm, azul (B) a 420 nm y visual (V) a 540 nm. Se llama índice de color a la diferencia en magnitudes entre dos de estas bandas. Por ejemplo el índice ($U-B$) es la comparación entre el ultravioleta y el azul y el ($B-V$) la comparación entre el azul y visible. Comparando estos índices de color se puede saber, por ejemplo, cuanta luz ha sido absorbida por polvo interestelar (enrojecimiento interestelar).

3.4 Sistemas fotométricos

Un sistema fotométrico se define a partir de un conjunto de estrellas (denominadas estándares) cuya magnitud es conocida. Se caracteriza por un conjunto de filtros y el detector utilizado; pero también intervienen factores como la calidad de la óptica del telescopio y el sitio de observación.

Uno de los aspectos más importante de un sistema fotométrico es que se pueden encontrar relaciones entre las magnitudes e índices de color del sistema con propiedades físicas intrínsecas de las estrellas. Dependiendo del sistema fotométrico en particular, estas propiedades pueden ser: temperatura, luminosidad, composición química, edad, absorción, etc.

Los sistemas fotométricos se clasifican de acuerdo al ancho de banda $\Delta\lambda$ de los filtros utilizados como: de banda ancha ($400 < \Delta\lambda < 1500 \text{ \AA}$), banda intermedia ($90 \text{ \AA} < \Delta\lambda < 200 \text{ \AA}$) y banda angosta ($\Delta\lambda < 90 \text{ \AA}$). Los sistemas de banda ancha estudian características generales del espectro, como el cambio de la pendiente con la temperatura, o cómo el límite de Balmer depende de la temperatura, etc.

3.5 Sistemas de banda ancha

Sistema UBVRI

Definido por Johnson y Morgan en 1951 [11], se originó a partir del sistema fotovisual de magnitudes donde éstas se obtenían a partir de mediciones en placas fotográficas en la región visual y en el azul.

Johnson dividió la magnitud azul de las placas fotográficas en B y U, para separar el límite de Balmer. De esta manera, dicha discontinuidad está presente sólo en U.

Posteriormente, este sistema fue extendido a regiones más rojas del espectro electromagnético que incluían las bandas fotométricas R, I, J, K, N, etc.

Cada banda se representa por una cantidad llamada longitud de onda equivalente (λ_e) y por un ancho de banda promedio característico ($\Delta\lambda$) del filtro utilizado.

El sistema fotométrico UBVRI del Observatorio Astronómico Nacional, en San Pedro Mártir, Baja California (OAN-SPM) tiene las características mostradas en la siguiente tabla:

Banda	$\lambda_e(\text{Å})$	$\Delta\lambda_e(\text{Å})$	$\lambda(\text{Å})$	$\Delta\lambda(\text{Å})$	TM (%)
U	3540	600	3582	500	45
B	4330	950	4300	1000	49
V	5750	1400	5400	900	66
R	6340	400	6400	1300	72
I	8040	1660	8900	3400	89

Tabla 1. El Sistema Fotométrico UBVRI del OAN-SPM.²

Donde: λ_e es la longitud de onda efectiva definida en el sistema.
 $\Delta\lambda_e$ es el ancho total efectivo a media altura definida en el sistema.
 λ es la longitud de onda central.
 $\Delta\lambda$ es el ancho total a media altura.
 TM: es la transmitancia porcentual en el máximo.

En este sistema fotométrico los índices de color se definen como:

$$(B-V) = (U-B) = (B-R) = (B-I) = 0 \text{ para estrellas de tipo espectral } A0V. \quad \text{Ec. 5.}$$

3.6 Enrojecimiento.

Una complicación provocada por el polvo, es que la absorción es selectiva, es decir, absorbe o dispersa más fuertemente longitudes de onda pequeñas, esto obedeciendo a la ley de extinción [2] que es proporcional a $\frac{1}{\lambda}$.

La diferencia en la absorción de dos filtros es conocido como el enrojecimiento, también llamado el exceso de color $E[(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]$, Donde $(m_1)_\lambda$ y $(m_2)_\lambda$ son las magnitudes observadas en dos filtros 1 y 2 y el exceso de color es igual a la diferencia entre el índice de color observado y el índice de color intrínseco; es decir:

$$E[(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda] = [(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda] - [(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]_0. \quad \text{Ec. 6.}$$

La absorción interestelar A_λ se obtiene a partir de la ley de extinción promedio, en donde se mide la absorción en diferentes direcciones de la galaxia, obteniendo un valor promedio del cociente de extinción total en el visual respecto a la extinción selectiva denotado por R_V , dado por:

$$R_V = \frac{A_V}{E(B-V)} = 3.1. \quad \text{Ec. 7.}$$

Para el medio interestelar difuso.

La cantidad de absorción por el medio interestelar de nuestra Galaxia se corrige adoptando la ley de extinción promedio en nuestra Galaxia (Ec. 7) y tomando los valores de A_λ de las estimaciones de Schlegel y colaboradores [20].

² Tabla tomada de la página del OAN-SPM, <http://www.astrossp.unam.mx/indexspm.html>

En el desarrollo de este trabajo se utilizó el sistema de Johnson-Cousins (BVRI).

3.7 Luz integrada de las Galaxias

Una de las técnicas para medir la luz integrada de una galaxia u objeto extendido es la fotometría de apertura sobre una imagen CCD. Esta luz integrada es medida en función de diversos filtros.

Para poder determinar la verdadera luz integrada de una galaxia en diferentes filtros es necesario corregir la luz observada por varios efectos, como:

- la extinción de la luz provocada por el polvo en nuestra Galaxia y en los discos de otras galaxias (absorción interna),
- los efectos de la atmósfera,
- pérdida de intensidad por la óptica del telescopio,
- eficiencia del detector,
- sensibilidad de los filtros, así como
- por el corrimiento Doppler de la luz estelar, el cual es debido al movimiento de las galaxias, es decir, a su velocidad radial. Note que en este trabajo se omitirá esta corrección, debido a que las galaxias estudiadas tienen velocidades (menores o iguales) a 10 000 km/s (es decir, en el Universo local).

Estas correcciones se pueden expresar de manera general como

$$(m_0)_\lambda = (m)_\lambda - (A_{ng})_\lambda - (A_{go})_\lambda \quad \text{Ec. 8.}$$

Donde $(m_0)_\lambda$ es la magnitud total corregida, $(m)_\lambda$ es la magnitud observada, $(A_{ng})_\lambda$ es la extinción de nuestra propia galaxia a lo largo de la línea de observación, $(A_{go})_\lambda$ es la absorción interna para la galaxia observada.

Para el caso de las galaxias E/S0 no aplicaremos la corrección $(A_{go})_\lambda$.

3.8 Colores de Galaxias en banda ancha

Los colores de las galaxias, como los colores de las estrellas están definidos como la diferencia de la magnitud entre la luz integrada de dos diferentes filtros. La fotometría de banda ancha de muchas galaxias revela diferentes colores para diversos objetos dentro de la clasificación de Hubble.

Tipo Morfológico	UGC_(B - V) (mag)	LSC_(B - V) (mag)
E,SO	0.90	0.89
SOa, Sa	0.78	0.78
Sa, b, Sb	0.64	0.62
Sbc, Sc	0.55	0.52
Scd, Sd	0.48	0.48
Sm, Irr	0.42	0.42

Tabla 2. Colores para diferentes tipos de Hubble para dos muestras independientes del catálogo UGC (Uppsala General Catalog of Galaxies) y del Super Cúmulo Local (LSC) [19].

Las magnitudes más pequeñas corresponden a objetos más azules.
De la tabla, es evidente que los tipos tardíos son más azules y las tempranas son más rojas.

La siguiente gráfica muestra la posición de los diferentes tipos morfológicos de galaxias en un diagrama color-color. Las elípticas y las espirales tempranas son mucho más rojas que las espirales tardías e irregulares.

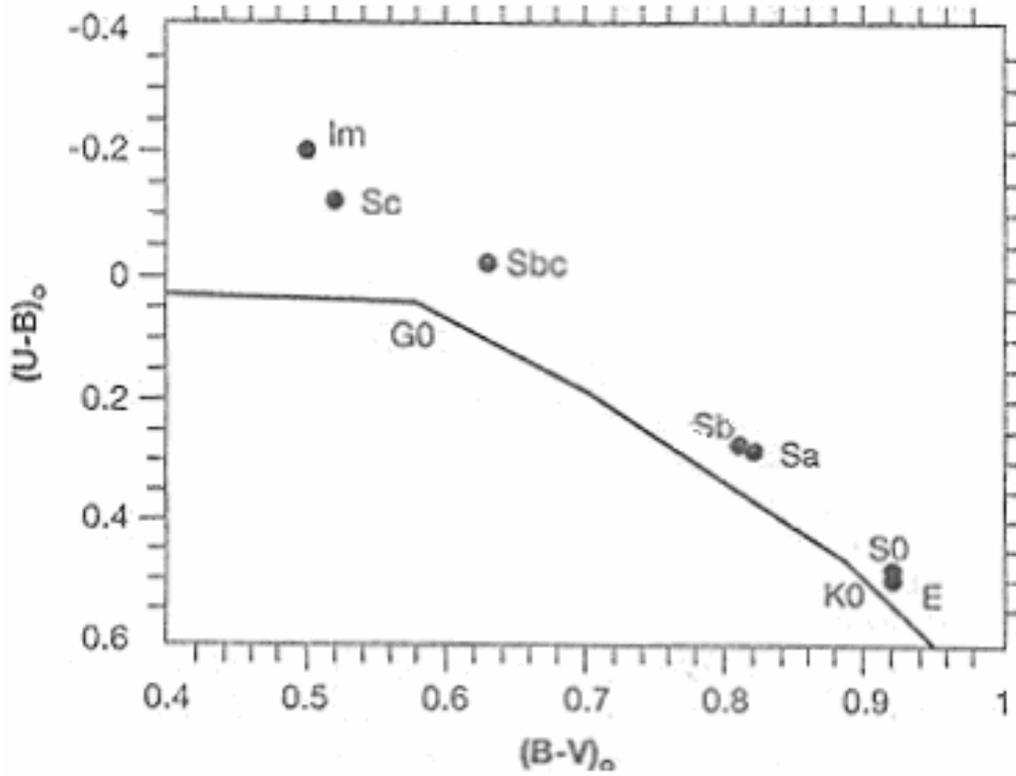


Figura 2. Diagrama Color-Color y la posición de diferentes tipos morfológicos de galaxias. Tomado de Elmegreen [2].

4. Galaxias Elípticas Aisladas: Observaciones.

Las observaciones utilizadas en este trabajo forman parte de una temporada de observación dedicada a galaxias elípticas aisladas en el Universo local. Se utilizó el telescopio óptico de 0.84 m de diámetro del OAN-SPM con un detector CCD Site1 sensible al intervalo óptico (0.3 a 0.9 μm , del espectro electromagnético) con 1024 x 1024 píxeles de tamaño 0.43'', leídos en formato 2x2 dando un campo total de 7.27'. Las condiciones de seeing típicas fueron de 2.0'' para los filtros BVRI.

4.1 Criterio de selección.

Este trabajo estudia un conjunto de 38 galaxias elípticas, seleccionadas con un criterio de aislamiento que las hace a primera aproximación libres de interacciones gravitacionales y que están lo suficientemente cercanas para considerarlas dentro de nuestro Universo Local.

Esta cercanía permite llevar a cabo un estudio detallado de su morfología y de sus propiedades estructurales. El aislamiento de estas galaxias nos garantiza que las propiedades que observemos se puedan considerar como intrínsecas a las galaxias y no debidas a interacciones gravitacionales con otras galaxias, permitiendo establecer una referencia para llevar a cabo estudios similares de galaxias en otros ambientes.

Las galaxias elípticas de este estudio fueron seleccionadas en un intervalo de velocidad radial entre 5,000 y 10,000 km/s evitando así la influencia de grandes movimientos peculiares debidos a otros cúmulos cercanos y de tal manera que la distancia pueda ser estimada directamente a partir de la velocidad radial con suficiente precisión. El criterio de aislamiento garantiza que no haya galaxias de tamaño comparable en un radio proyectado de 0.5 Mpc, centrado en cada galaxia elíptica y con una diferencia relativa en velocidad radial menor que 600 km/s.

Además se seleccionaron con la condición de que la latitud galáctica $b > 40^\circ$ para evitar problemas de corrección por extinción galáctica y se impuso la condición de que tuvieron una declinación $\delta > -2.5^\circ$.

5. Reducción de Imágenes CCD.

5.1 Detectores CCD

Los detectores CCD del inglés (Charge-Coupled Device), o dispositivos de carga acoplada, son mecanismos electrónicos fotosensibles (semiconductor), con estructura de células sensibles a la luz, en forma de mosaico. Cada una de estas células, se denomina pixel, y cada pixel es una estructura “detectora” capaz de almacenar electrones. Los pixeles tienen una dimensión del orden de 1×10^{-5} m, y almacenan electrones en forma de carga eléctrica, transfiriéndolos a un pixel adyacente.

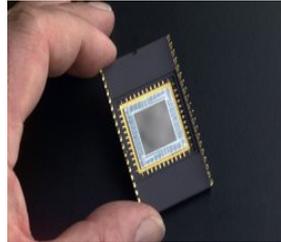


Figura 3. CCD³.

El funcionamiento de los detectores CCD, se basan en el efecto fotoeléctrico, esto es, absorbe la energía de un fotón incidente sobre un semiconductor y libera electrones generando una corriente eléctrica, donde la energía de los electrones dependerá de la del fotón y el número de electrones dependerá de la intensidad de la iluminación. El número de electrones producidos es proporcional a la cantidad de luz recibida

El detector CCD es expuesto a la luz durante un tiempo (tiempo de integración), en el que los electrones se van almacenando en cada pixel y son transferidos de forma ordenada a un amplificador capaz de convertir la carga que posee cada pixel a un pulso eléctrico.

Debido a que el CCD es un dispositivo semiconductor, el ruido electrónico depende de la temperatura, ya que, a temperatura ambiente hay desprendimiento de electrones que provoca la detección de señales aún con el obturador cerrado, por lo que se debe mantener a una temperatura muy baja.

La fotometría CCD sustituyó a la fotometría fotográfica convencional, pues los detectores CCD registran en la actualidad mas de un 70% de los fotones, mientras que la placa fotográfica detecta, cuando más un 5%. Otro punto a favor del CCD es, la linealidad, es decir, las emulsiones fotográficas tienen un comportamiento denominado reciprocidad, que consiste en que al hacer una exposición de larga duración, la película presenta mayor sensibilidad durante los primeros instantes; sin embargo, comienza a decaer progresivamente, lo que cambia la sensibilidad durante el período de exposición. Con los CCD hay un intervalo más amplio de linealidad, ya que tiene la misma sensibilidad durante el período de exposición, en iluminaciones mínimas o iluminaciones muy intensas.

³ Imagen tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:CCD_sensor_photo.jpg

Por último, con las imágenes CCD se puede generar una imagen digital que puede ser procesada por una computadora que permite a su vez corregir la imagen de los defectos introducidos por la óptica del telescopio, la electrónica y las condiciones ambientales.

5.2 IRAF

Para procesar las imágenes CCD se utiliza una paquetería llamada IRAF del inglés Image Reduction and Analysis Facility, que contiene programas de cómputo, que proporcionan un amplio conjunto de herramientas para el análisis y procesamiento de imágenes astronómicas.

En la primera parte del desarrollo de este trabajo, el uso de IRAF fue esencial en la reducción de imágenes y en la fotometría realizada a las imágenes procesadas.

5.3 Preparación de las imágenes de bias.

Al tener cerrado el obturador del telescopio, se lee el detector para estimar el nivel de señal presente en una imagen CCD de bias por noche.

Se tomaron 10 imágenes de bias por noche, se utiliza un algoritmo que reconoce eventos muy energéticos (“cosmicrays” en IRAF) que contaminan la imagen y que tienen que ser eliminados.

La imagen tiene una sección “extra” que se llama overscan, con la que se hace una estadística representativa de la señal en estas imágenes y puede ser eliminada para definir el tamaño que tendrán las imágenes.

Se combinan todas las imágenes bias por noche, teniendo como resultado una imagen de bias representativa de cada noche de observación. A continuación se ilustra una imagen de bias antes y después de ser procesada

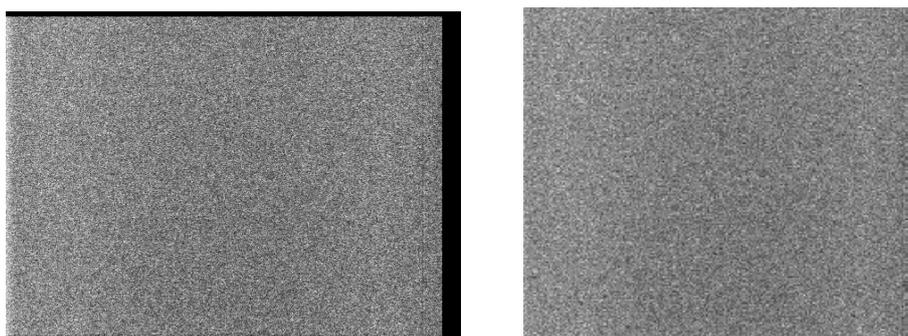


Figura 4. Imágenes de bias. La imagen de la izquierda presenta overscan (franja negra), mientras que la de la derecha ya fue cortada y corregida por rayos cósmicos

5.4 Preparación de las imágenes de flat.

En un CCD no todos los pixeles responden de igual forma a la radiación recibida; esto produce un patrón característico que todas las imágenes tendrán y por el cual se debe corregir, puede haber polvo u otras partículas entre el objetivo del telescopio y el obturador del CCD. Un flat contendrá todas las características anteriores y es una imagen de la iluminación del detector.

Por cada noche de observación se procesaron 5 imágenes de flat obtenidas a partir de exponer el detector a una región del cielo en condiciones de iluminación homogénea al atardecer, en las diferentes bandas fotométricas (BVRI). Se elimina de cada una la sección de "overscan", la presencia de rayos cósmicos y se corrige por el bias contenido en estas imágenes. Una vez que las imágenes han sido corregidas por estos efectos, se procede a combinarlas para formar una imagen representativa de flat por cada banda fotométrica de observación y por cada noche. A continuación se ilustra una imagen de flat antes y después de ser procesada:

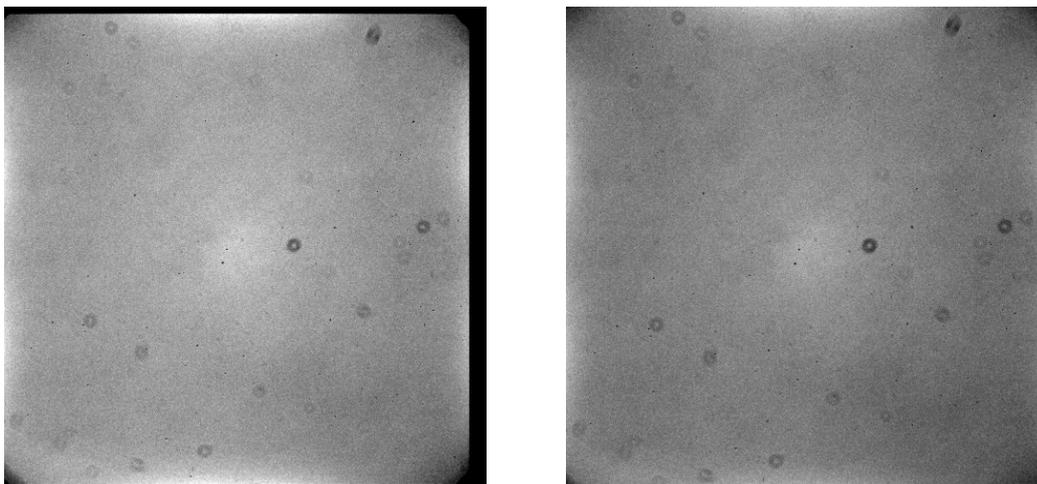


Figura 5. Imágenes de flats. A la izquierda tenemos el flat aún sin corregir por bias, rayos cósmicos y overscan, y a la derecha tenemos la imagen corregida. Las manchas que se observan son imágenes provocadas por el polvo y están presentes en las imágenes de los objetos astronómicos.

5.5 Preparación de las imágenes de los objetos astronómicos.

Estas imágenes de objetos astronómicos se obtienen al exponer el detector en una cierta dirección del cielo definida por las coordenadas del objeto y con tiempos de exposición determinados por el brillo intrínseco de los objetos, la sensibilidad de cada banda fotométrica y la distancia del objeto.

Al hablar de Objetos Astronómicos, nos referimos tanto a las imágenes de las estrellas estándares como a las galaxias elípticas aisladas.

A continuación se ilustra una imagen de estrellas estándares en el filtro R antes y después de ser procesada,

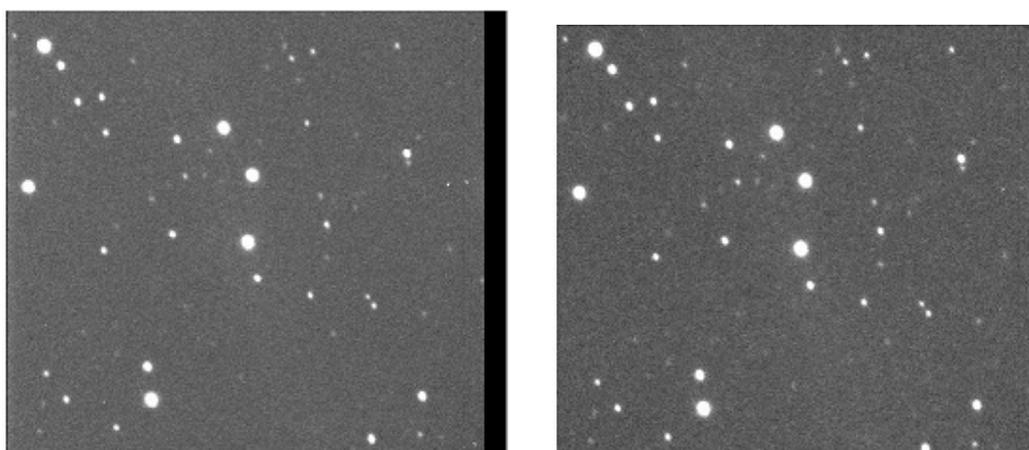


Figura 6. Imágenes del campo de estrellas estándares PGC1633+0.99 del catálogo de Landolt (1992) en el filtro R. A la izquierda tenemos la imagen sin corregir por bias, flat, rayos cósmicos y overscan y a la derecha tenemos la imagen corregida.

A continuación se ilustra una imagen de una galaxia antes y después de ser procesada:

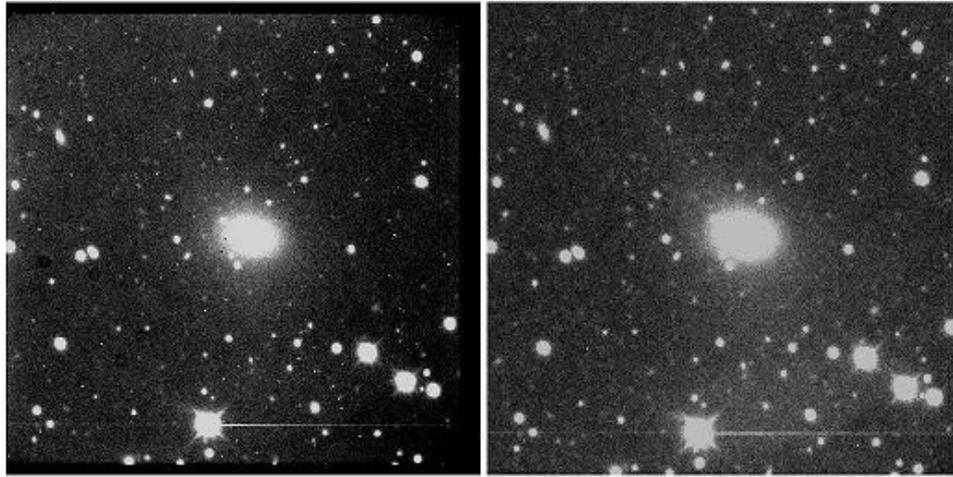


Figura 7. Imágenes de la galaxia elíptica aislada ngc6092 tomada en el filtro R. A la izquierda tenemos la imagen sin corregir por bias, flat, rayos cósmicos y overscan y a la derecha tenemos la imagen corregida.

En cada noche de observación se procesaron diferentes series de imágenes de estrellas estándares en cada filtro (BVRI) y en diferentes posiciones del cielo.

Las galaxias de estudio, se procesaron eliminando los rayos cósmicos, corrigiendo por las imágenes de bias, cortando al mismo tamaño físico que los bias y corrigiendo por las imágenes de flats correspondientes a cada filtro.

En el caso de existir más de una exposición por filtro en la misma noche, se procedió a combinar las imágenes con el fin de obtener una con mayor señal que fuese representativa de ese filtro.

Hecho esto se colocan las imágenes de un objeto en un mismo sistema de referencia de coordenadas, utilizando rutinas de transformaciones geométricas “geomap” y “geotran” dentro del paquete IRAF sobre la imagen.

6. Calibración Fotométrica

Para llevar a cabo la fotometría de una galaxia, se deben considerar factores como los efectos de atmósfera terrestre, la materia interestelar, la óptica del telescopio, los filtros utilizados y la eficiencia del detector.

Los valores obtenidos deben de ser comparables con otros tomados en cualquier parte del mundo, sin embargo, dado el sistema instrumental y las condiciones atmosféricas el valor obtenido es en general distinto. Sin embargo al transformar nuestras observaciones a un sistema de magnitudes estándares es posible tomar en cuenta todos estos efectos.

6.1 Calibración de estrellas estándares

El proceso consiste en observar a diferentes alturas sobre el horizonte un campo de estrellas estándares con magnitudes y colores conocidos para posteriormente compararlas con nuestras estimaciones. Las estrellas estándares observadas en este trabajo corresponden al campo de PGC1633+099 del catálogo de Landolt [13].

Para determinar sus magnitudes instrumentales se estima el flujo a una apertura dada. A cada una de las estrellas estándares se le asignó un radio de apertura correspondiente a tres veces el ancho a potencia media asegurando que la mayoría del flujo emitido por la estrella será captado con esta apertura.

Las magnitudes obtenidas se corrigen por efectos de absorción de la atmósfera de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(m_{\lambda})_o = m_{\lambda} - K_{\lambda}X. \quad \text{Ec. 9.}$$

Donde m_{λ} es la magnitud instrumental, K_{λ} es el coeficiente de extinción X representa la masa de aire que se define como:

$$X = \sec z. \quad \text{Ec. 10.}$$

Donde

$$z = 90^{\circ} - (\text{altura de la estrella}). \quad \text{Ec. 11.}$$

Y la *altura de la estrella* está definida por el ángulo subtendido desde el plano del horizonte del observador a la estrella.

El coeficiente de extinción K_{λ} se calcula a partir de tener observaciones de estrellas estándares en diferentes filtros y a diferentes masas de aire X .

Se presentan en la siguiente tabla los valores obtenidos para los coeficientes de extinción en cada uno de los filtros ópticos utilizados en la temporada de observación analizada.

Filtro	Coefficiente de extinción K (mag/X)
B	0.23 ± 0.02
V	0.14 ± 0.01
R	0.09 ± 0.01
I	0.05 ± 0.02

Tabla 3. Coeficientes de extinción estimados en diferentes filtros ópticos para la temporada de observación

El siguiente paso es corregir, por otros efectos instrumentales, para hacer comparables las estimaciones de este trabajo con las de la literatura lo que se logra con una transformación entre nuestras magnitudes instrumentales estimadas y las magnitudes en un sistema estándar como el de Landolt [13], reportadas en la literatura.

La transformación para cada filtro esta dada por:

$$M_{\lambda} = \beta_{\lambda} [(m_1)_{\lambda} - (m_2)_{\lambda}] + \alpha_{\lambda} + m_{\lambda}. \quad \text{Ec. 12.}$$

Donde M_{λ} es la magnitud de Landolt, m_{λ} , $(m_1)_{\lambda}$ y $(m_2)_{\lambda}$ son las magnitudes instrumentales corregidas por efectos de la atmósfera, $[(m_1)_{\lambda} - (m_2)_{\lambda}]$ es el color, β_{λ} es el término de color y α_{λ} es la ordenada al origen ó punto cero de la transformación.

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos de α y β para las observaciones en los filtros BVRI correspondientes a la primera noche de observación analizada en este trabajo

Filtro	α	β
B	-2.43 ± 0.02	0.04 ± 0.01
V	-2.09 ± 0.02	-0.06 ± 0.02
R	-2.17 ± 0.01	-0.09 ± 0.02
I	-2.38 ± 0.03	0.02 ± 0.04

Tabla 4. Valores obtenidos de α y β para las observaciones

Nótese que en esta tabla se reportan valores de los coeficientes de transformación para un conjunto de 4 filtros observados en una misma noche. Sin embargo, éste no fue el único esquema de observación y hay variantes que contemplan la observación en los filtros BVI, BR o R solamente. La transformación en estos casos se hace de manera análoga.

7. Aplicación de la Calibración

7.1 Magnitudes Totales Aparentes de las Galaxias Elípticas Aisladas.

El primer paso para obtener las magnitudes totales de las galaxias elípticas es eliminar las estrellas de campo de las imágenes que pudieran contribuir con alguna señal espuria.

Por el criterio de selección aplicado a estas galaxias, no existen compañeras cercanas de tamaño comparable en un radio de 0.5 Mpc alrededor de cada galaxia de interés lo que permite utilizar aperturas circulares de diferentes tamaños para estimar la magnitud total.

Con las rutinas de IRAF se integra el flujo emitido por las galaxias en diferentes aperturas permitiendo hacer una estimación del cielo adyacente que será sustraído.

La magnitud instrumental de las galaxias en cada filtro se calcula a partir de la ecuación:

$$\text{mag} = z_{\text{mag}} - 2.5 \log_{10} (F) + 2.5 \log_{10} (t_{\text{int}}). \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde mag es la magnitud instrumental, z_{mag} es un punto cero para referir la fotometría, t_{int} es el tiempo de exposición y F es el flujo que está dado por:

$$F = \text{sum} - \text{Área} \cdot m_{\text{cielo}}. \quad \text{Ec. 14}$$

Donde sum es el número de cuentas medidas incluyendo al cielo en la apertura elegida, Área es el área de la apertura en pixeles y m_{cielo} es la contribución del cielo.

El error asociado a la magnitud está dado por:

$$\text{Error} = \left(\frac{F}{\text{epadu}} + \text{área} \times (\text{stdev})^2 + A^2 \times 2 \times \text{stdev}^2 / \text{nc} \right)^{1/2}. \quad \text{Ec. 15.}$$

Donde epadu es el número de electrones por unidad analógica digital, stdev es la desviación estándar y nc es el número de pixeles en la estimación del cielo.

Una vez obtenidas las magnitudes totales de las galaxias, se corrigen por efectos de la atmósfera y se aplica la transformación obtenida a partir de la calibración de estrellas estándares. Esto se hace para cada filtro. Las magnitudes así obtenidas están referidas a un sistema estándar.

Por último se corrige la magnitud total aparente de las galaxias por los efectos del medio interestelar.

8. Errores Asociados a las mediciones

Los errores asociados a nuestras magnitudes totales tienen una contribución proveniente de diferentes etapas de la calibración fotométrica. Se considerará fundamentalmente los errores en el cálculo de magnitudes instrumentales, la corrección por los efectos de la atmósfera, los errores propagados en nuestra transformación de magnitudes instrumentales a un sistema estándar así como por la contribución del cielo en la apertura seleccionada para estimar la magnitud total de las galaxias.

En el cálculo de las magnitudes instrumentales se deben considerar los errores intrínsecos que nos arrojan las rutinas de IRAF. Estos errores son muy pequeños del orden 0.005 de magnitud.

Así pues, el primer caso importante en nuestro análisis de errores es el referido a aquellos errores asociados a la corrección por la atmósfera. Se debe considerar la contribución de los errores asociados a los coeficientes de extinción y a la masa de aire.

Los errores relativos para el coeficiente de extinción por filtro son:

$$\delta K_B = \pm 0.02$$

$$\delta K_V = \pm 0.01$$

$$\delta K_R = \pm 0.01$$

$$\delta K_I = \pm 0.02$$

El error típico de la masa de aire en las rutinas de IRAF es de 0.01.

Así, el error total asociado a la corrección por atmósfera está dado por:

$$\delta(m_o)_\lambda = \delta m_\lambda + \delta K_\lambda \cdot X + \delta X \cdot K_\lambda . \quad \text{Ec. 16.}$$

Donde $\delta(m_o)_\lambda$ es el error asociado a la magnitud corregida por efectos de la atmósfera, $\delta(m)_\lambda$ es el error de la magnitud instrumental, K_λ es el coeficiente de extinción, δK_λ es el error en la estimación del coeficiente de extinción, X es la masa de aire y δX es el error típico en la estimación de la masa de aire.

El siguiente punto importante en el análisis de errores, es cuando se aplica la transformación que permite pasar de un sistema instrumental a uno estándar. En este caso se consideran aquellos errores asociados a los coeficientes α y β de la transformación. Para un conjunto de filtros BVRI utilizados en una noche de observación, los errores típicos asociados a α son 0.02, 0.02, 0.01 y 0.03 y para β son 0.01, 0.02, 0.02, y 0.04 respectivamente.

La expresión que proporciona el error propagado por los factores anteriores está dada por:

$$\delta M_\lambda = \delta \beta \cdot [(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]_0 + \beta \cdot \delta [(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]_0 + \delta \alpha + \delta(m_o)_\lambda \quad \text{Ec. 17.}$$

Donde δM_λ es el error total asociado a la magnitud en un sistema estándar, $[(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]_0$ es el color observado corregido por efectos atmosféricos, $\delta\beta$ es el error asociado al término de color, $\delta[(m_1)_\lambda - (m_2)_\lambda]_0$ es el error asociado al color observado y $\delta\alpha$ es el error asociado al punto cero de la transformación.

La propagación de estos errores nos permite estimar un error típico por filtro de:

$$\begin{aligned}\delta B &= 0.07 \\ \delta V &= 0.04 \\ \delta R &= 0.04 \\ \delta I &= 0.08.\end{aligned}$$

Finalmente para encontrar el error total asociado a las magnitudes se tiene que considerar aquéllos asociados a la contribución del cielo en la apertura utilizada. Estos errores se estimaron a partir de considerar dos conjuntos de mediciones independientes del cielo en diferentes regiones de la imagen, para una misma apertura dada y posteriormente comparando las distintas magnitudes obtenidas.

Los errores típicos asociados a esta contribución son 0.25, 0.25, 0.26 y 0.28 para los filtros BVRI respectivamente.

Así se tiene que el error total asociado a las magnitudes totales de las galaxias a una apertura dada es:

$$(\delta M_T)_\lambda = [(\delta M_\lambda)^2 + (\delta_{\text{cielo}})^2]^{1/2}. \quad \text{Ec. 18.}$$

Los errores totales típicos asociadas a nuestras magnitudes por filtro están dados por:

$$\begin{aligned}\delta B &= 0.26 \\ \delta V &= 0.25 \\ \delta R &= 0.25 \\ \delta I &= 0.29.\end{aligned}$$

9. Resultados y Discusión.

9.1 Fotometría

A continuación se describen las tablas y gráficas resultantes de este estudio presentes en el Anexo I y II.

En la Figura 8 presentada en el Anexo I, se muestra la magnitud aparente por filtro estimada contra la correspondiente obtenida de la literatura para las estrellas estándares *PGC1633+099* del catálogo de Landolt [13].

Esta figura nos indica que los valores obtenidos son comparables con una dispersión *rms* menor o igual que 0.02 magnitudes en los filtros B, V, R e I. Las barras de error son comparables con los símbolos de la figura.

En la Tabla 5 del Anexo II, se presentan las características generales de las galaxias en este estudio tomadas de la base de datos *Lyon Extragalactic Data Base (HYPERLEDA)*⁴ y de *NASA Extragalactic Database (NED)*⁵: El nombre alternativo con el que se conoce a la galaxia, tipo morfológico en la base de datos HYPERLEDA y NED respectivamente, velocidad radial corregida por el movimiento hacia el cúmulo de Virgo y el grado de aislamiento que nos dice el número de objetos con diámetros menores (típicamente de $\frac{1}{10}$ o menores que la galaxia aislada) con velocidad relativa ≤ 600 km/s, utilizando un radio de búsqueda de 20 veces el diámetro de ella. Finalmente se reportan las magnitudes aparentes en el filtro B según HYPERLEDA y NED. La información presentada en esta tabla será utilizada para comparar las magnitudes y calcular las distancias de las galaxias estudiadas.

En la Tabla 6 del Anexo II, se presenta la magnitud total aparente *B, V, R e I* que encontramos en cada una de las galaxias estudiadas para la apertura mayor, así como los colores *(B-V)*, *(B-R)* y *(B-I)*. Donde *Ap₃* es el radio de la tercera apertura designada y está dado en pixeles.

El radio es *Ap₃* por lo que el diámetro *d* está dado por:

$$d = 2 \cdot (Ap_3). \quad \text{Ec. 19.}$$

Este diámetro está en pixeles y es necesario transformarlo a minutos de arco.

Después se calcula el logaritmo para el diámetro en unidades de 0.1 minutos de arco. Y obtenemos el valor que se presenta para cada galaxia elíptica aislada de este estudio de $\log Ap_3$.

⁴ Página de LYON Extragalactic Database HYPERLEDA: <http://leda.univ-lyon1.fr/>

⁵ Página de NASA Extragalactic Database (NED) <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>

En la Figura 9 presentada en el Anexo I, se muestra una comparación entre la magnitud total aparente que encontramos para las galaxias en el filtro B contra la magnitud en el mismo filtro reportada en la base de datos NED.

Se presenta una línea a 45°, que permite relacionar estas dos magnitudes uno a uno, así se obtiene que la magnitud aparente calculada es sistemáticamente más brillante que la reportada en la base de datos NED. Una contribución a este efecto se debe a que NED reporta magnitudes totales de diferente naturaleza como son la fotometría fotoeléctrica, fotográfica y muy probablemente a diferencias en las aperturas utilizadas. Sin embargo a partir de nuestro análisis de errores notamos que hay una contribución importante del cielo en la estimación de las magnitudes totales que también contribuye a las diferencias encontradas. La razón de esto es que las imágenes tienen una contribución aleatoria de luz dispersa introducida por las componentes ópticas y mecánicas del telescopio [4] y [5].

Para corregir las magnitudes totales se buscaron estimaciones independientes en la literatura. 25 de nuestras galaxias fueron observadas por el proyecto SLOAN, que es el *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS)⁶ en las bandas fotométricas ugriz⁷.

Trabajos como los de Lupton [16] y Jester y colaboradores [9] presentan ecuaciones que permiten transformar del sistema fotométrico de SLOAN (ugriz) al sistema de Johnson-Cousins (BVRI), que es el utilizado en este trabajo.

Los valores que presenta SLOAN para las 25 galaxias elípticas aisladas de este estudio son transformados al sistema de Johnson-Cousins utilizando las ecuaciones presentadas por Jester y colaboradores [9]. Con estos valores se encuentra posteriormente una transformación que permite obtener las magnitudes en el sistema Johnson-Cousins [10] para todas las galaxias contaminadas con luz dispersa.

En la tabla 7 (Anexo II), se muestran los valores de las magnitudes totales corregidas B , V , R e I de acuerdo con la transformación presentada por Jester y colaboradores [9]. Se presentan también los colores $(B-V)$, $(B-R)$ y $(B-I)$ encontrados para estas magnitudes.

En la Tabla 8 (Anexo II), se presentan las magnitudes de la Tabla 7, corregidas por la absorción del medio interestelar (B_{abs} , V_{abs} , R_{abs} e I_{abs}) utilizando los valores de la absorción reportados por Schlegel y colaboradores [20]. También se

⁶SLOAN Página de The Sloan Digital Sky Survey (SDSS)
<http://astro.uchicago.edu/home/web/sdss/www/>

⁷

Filtro	u	g	r	i	Z
λ	3551Å	4686Å	6165Å	7481Å	8931Å

presenta la distancia d a cada galaxia estimada a partir de la velocidad radial V_{vir} (corregida por el movimiento hacia el cúmulo de Virgo), adoptando una constante de Hubble $H_0 = 70$ km/s/Mpc [7]. Finalmente se reportan las magnitudes absolutas M_B , M_V , M_R y M_I para cada una de las galaxias elípticas aisladas en los filtros BVRI .

La Figura 10 (Anexo I) muestra la distribución de magnitudes absolutas encontradas en todas las bandas. Los valores promedio de estas magnitudes son: $\langle M_B \rangle = -20.42$, $\langle M_V \rangle = -21.24$, $\langle M_R \rangle = -22.01$ y $\langle M_I \rangle = -22.52$ magnitudes, las cuales son consistentes con valores reportados para galaxias elípticas gigantes en otras muestras independientes como las de Roberts & Haynes [21].

A partir de la distribución de magnitudes en la banda B se nota la ausencia de galaxias elípticas con magnitudes absolutas menores que -17.5 magnitudes, lo cual sugiere que en esta muestra no hay galaxias elípticas enanas. Esto obedece a que el criterio de selección es visual y elimina de principio a este tipo de galaxias.

9. 2 Morfología

En la Tabla 9 (Anexo II), se presenta la *Elipticidad Aparente* ($\epsilon = 1 - \frac{b}{a}$; Ec. 1, Sec. 2.2) estimada para las galaxias elípticas en base a un ajuste de la distribución de luz externa utilizando elipses, así como una estimación del ángulo de posición (PA), medido a partir del norte astronómico y sus respectivos errores ($Err PA$). Finalmente y con fines de comparación, se presentan los valores del ángulo de posición reportados por HYPERLEDA ($PA_{HYPERLEDA}$).

La forma estimada (b/a) de las elipses representativas nos permite asignar una clasificación de la forma aparente de estas galaxias de acuerdo con la Ec. 2 en la Sec. 2.2. Note sin embargo que esta clasificación no permite distinguir una galaxia elíptica de una lenticular. Para esto se requiere de un análisis fotométrico más profundo que está fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, aplicando la técnica de procesamiento de imágenes conocida como “*Unsharp Masking*”, utilizada por Malin [17], es posible sugerir la posible presencia de estructura interna en las galaxias elípticas como son grumos, arcos o discos. En la última columna de la Tabla 9 se presenta una descripción de la estructura interna encontrada con esta técnica, al hacer esto, se encontró que 3 de las galaxias presentan estructura espiral. En Figura 11 (Anexo I), se ilustran algunos ejemplos representativos.

Los ángulos de posición estimados en su mayoría son comparables con los reportados en LEDA.

En 20 casos de 38 se confirma la clasificación reportada en HYPERLEDA sin embargo, de estos 20 en 17 se contribuye con una clasificación más detallada sobre la estructura interna de la galaxia.

En 9 de 38 casos la clasificación que se sugiere es diferente cambiando de:

S0 a E 3 veces,

E a S0 4 veces y en 6 de estos 9 casos se reporta información adicional sobre la estructura interna de cada galaxia elíptica. Finalmente, en 3 casos se encuentra estructura espiral.

En la clasificación de HYPERLEDA se reportan 9 casos de transición, es decir E/S0 y en este trabajo se sugiere una clasificación definida, incluyendo en 7 casos información más detallada sobre su estructura interna.

En resumen se sugiere una clasificación alternativa en 18/38 casos, es decir, un 47% de la muestra total, encontrando en 42% de las galaxias estudiadas estructura interna.

9. 3 Clasificación Física: Parámetros CAS.

En años recientes las imágenes profundas, por ejemplo del Telescopio Espacial Hubble (HST), han permitido ver la apariencia de galaxias distantes, encontrándose con que una fracción muy alta de éstas tienen una morfología peculiar no susceptible de ser clasificada con el esquema de Hubble. Esto ha permitido proponer sistemas de clasificación alternativos basados en propiedades físicas importantes de las galaxias. Un primer ejemplo de este tipo de clasificación se debe a Morgan [18] quien intentó correlacionar la forma de las galaxias con su contenido estelar estimado a partir de los espectros.

Con una visión semejante, Conselice [1] propuso un esquema de clasificación basado en tres parámetros físicos: la concentración de la luz estelar (C), la distribución asimétrica de la luz integrada (A) y una medida de su grumosidad (S), demostrando que las galaxias podían distinguirse morfológicamente en un espacio tridimensional ocupado por estos tres parámetros (CAS). Un sistema de clasificación como éste es susceptible de automatizarse y aplicarse a galaxias a diferentes distancias. Este esquema se calibró originalmente utilizando imágenes CCD ópticas de galaxias cercanas de todos tipos, inhomogéneamente seleccionadas. Es importante mencionar que en el presente trabajo, se estiman estos parámetros para un conjunto de galaxias elípticas que sí fueron seleccionadas con un criterio homogéneo, en un ambiente específico, lo que permitirá utilizar nuestros valores CAS como representativas de las galaxias aisladas. A continuación haremos una breve descripción de como se estiman los parámetros CAS.

El índice de Concentración de la luz estelar, C ; es un criterio utilizado frecuentemente en la clasificación de galaxias. Por ejemplo, se sabe que las elípticas son sistemas con una mayor concentración y disminuye para sistemas tardíos (lenticulares, espirales, etc.). Este índice se define como la razón entre la luz contenida en un 80% de la galaxia ($r_{80\%}$) entre la contenida en un 20% ($r_{20\%}$). Es decir C está dado por la siguiente expresión:

$$C = 5 \log \left(\frac{r_{80\%}}{r_{20\%}} \right) \quad \text{Ec. 20.}$$

El índice de la Distribución Asimétrica de luz de una galaxia (A) se define como el valor absoluto de la resta la distribución de su luz total (I) con la obtenida después de rotarla 180° (R)⁸.

$$A = \frac{|I - R|}{I} \quad \text{Ec. 21.}$$

Es utilizado para detectar interacciones entre galaxias, efectos de proyección, como estructuras de polvo así como formación estelar dentro de las galaxias.

El índice de Grumosidad, (S), permite cuantificar la cantidad de estructuras grumosas visibles como componentes de alta frecuencia espacial en una imagen. El procedimiento consiste en filtrar espacialmente la componente de baja frecuencia (B) y restarla a la imagen original (I) para dejar sólo la componente de alta frecuencia espacial. En el caso de las espirales, estos grumos se pueden interpretar como regiones de formación estelar. En el caso de las galaxias elípticas, debido al escaso contenido de gas frío, que es la materia prima para formar estrellas, la grumosidad se espera que sea despreciable.

$$S = \frac{I - B}{I} \quad \text{Ec. 22.}$$

La Tabla 11 (Anexo II) presenta las estimaciones de los índices CAS con sus respectivos errores en el filtro R .

Los valores promedio obtenidos para cada uno de estos parámetros son los siguientes: $\langle C \rangle = 4.06$, $\langle A \rangle = 0.08$ y $\langle S \rangle = 0.13$.

En la Figura 12 (Anexo I), se comparan los valores encontrados de los parámetros CAS vs. los reportados por Conselice [1] para una muestra de galaxias E, S0 y dE (Elípticas enanas) inhomogéneamente seleccionada en grupos dispersos y en los bordes de cúmulos. Note que ninguna de las galaxias estudiadas ocupa la posición esperada para galaxias elípticas enanas (dE) según lo reportado por Conselice [1]. Esto confirma lo encontrado a partir de la distribución de magnitudes absolutas (Sec. 9.1).

Nuestro criterio de selección garantiza que los parámetros estimados son intrínsecos a nuestras galaxias aisladas y por lo tanto pueden ser adoptados más confiablemente para estudios comparativos con galaxias en otros ambientes.

En la Figura 12 (Anexo I), se muestran tres diferentes gráficas con los parámetros CAS.

En el panel superior izquierdo se grafica Asimetría contra Concentración, en el panel superior derecho Asimetría contra Grumosidad y por último en el panel inferior izquierdo Concentración con Grumosidad. Las barras de error (líneas

⁸ Nota: No confundir los símbolos I , R y B con las bandas de color

sólidas) en cada panel representan los valores promedio y su desviación estándar encontrados por Conselice [1] para galaxias E, S0 mientras que las barras de error en líneas punteadas son las correspondientes para galaxias enanas dE. Los círculos azules representan los valores obtenidos en este trabajo (Tabla 10). Los diagramas *C-A* y *C-S* permiten detectar un subconjunto pequeño de galaxias elípticas con concentraciones bajas y con asimetrías y grumosidades ligeramente altas. Los símbolos de asterisco (en rojo) representan las posiciones para las galaxias con estructura interna en forma de brazos y galaxias lenticulares con disco muy prominente.

La concentración correlaciona con propiedades físicas como la concentración de masa y por lo tanto con la historia de su ensamblaje. El intervalo de valores en *C* sugiere, de acuerdo con el Sistema de Yerkes, que se trata de galaxias con una población estelar típica vieja, consistente con los colores obtenidos.

El intervalo de valores encontrados para los parámetros *A* y *S* sugieren que las galaxias elípticas aisladas de este trabajo son sistemas pobres en gas frío y polvo y por lo tanto carecen de formación estelar.

10. Conclusiones

Se ha realizado un estudio fotométrico en las bandas B, V, R e I para un conjunto de 38 galaxias elípticas aisladas en el Universo local de un catálogo nuevo, que será reportado por Hernández Toledo y Salazar Contreras [6] en una próxima publicación.

Este trabajo aporta fotometría CCD de apertura nueva para toda la muestra estudiada.

A través del proceso de reducción de las imágenes obtenidas en el telescopio de 0.84 m del OAN-SPM, se comprobó que las imágenes presentaban una contribución aleatoria de luz dispersa proveniente de la óptica del telescopio. Esta contribución provoca que las magnitudes en todos los filtros sean sistemáticamente más brillantes que lo esperado.

Esta contribución de luz dispersa se pudo eliminar de las mediciones a partir de las transformaciones que presentan Jester y colaboradores [9].

Las magnitudes absolutas para las galaxias elípticas tienen valores promedio para los filtros B, V, R e I de $\langle M_B \rangle = -20.83$, $\langle M_V \rangle = -21.42$, $\langle M_R \rangle = -22.01$ y $\langle M_I \rangle = -22.52$ magnitudes consistentes con los valores esperados para otras muestras de galaxias elípticas como la que presentan Roberts & Haynes [19]. Los intervalos de colores totales son de (B-V): 0.5 a 1.2 mag, (B-R): 0.7 a 1.8 mag y (B-I): 1.5 a 2.5 mag.

Los ángulos de posición estimados son comparables con los reportados en la base de datos HYPERLEDA.

Se presenta una clasificación morfológica nueva.

La base de datos HYPERLEDA contiene información morfológica para las 38 galaxias. En 74% de las galaxias se confirma la clasificación reportada por HYPERLEDA, sin embargo, en 24% del total la clasificación que se sugiere es diferente, cambiando de S0 a E, de E a S0 y se encuentra estructura espiral en tres casos. LEDA reporta casos de transición E/S0 en un 24% de la muestra total y en este trabajo se sugiere una clasificación definida para todos ellos.

Se encontró estructura interna en un 42% del total de las galaxias estudiadas.

Los valores promedio obtenidos para cada uno de los parámetros CAS son los siguientes: $\langle C \rangle = 4.06$, $\langle A \rangle = 0.08$ y $\langle S \rangle = 0.13$.

A partir de nuestro análisis en el diagrama CAS, se encuentra que la mayoría de las galaxias estudiadas son elípticas gigantes, probablemente con poco contenido de gas con el que se forman las estrellas, es decir poca formación estelar.

Debido al criterio de selección se garantiza que los parámetros estimados son intrínsecos a nuestras galaxias elípticas aisladas.

El trabajo aquí presentado servirá como base para estudios fotométricos y morfológicos de galaxias elípticas en diferentes ambientes.

11. 1. Anexo I. Figuras.

En la Figura 8 se muestran las magnitudes aparentes estimadas para cada una de las estrellas estándares por filtro (BVRI) contra las correspondientes magnitudes obtenidas de la literatura para las estrellas estándares *PGC1633+099* del catálogo de Landolt.

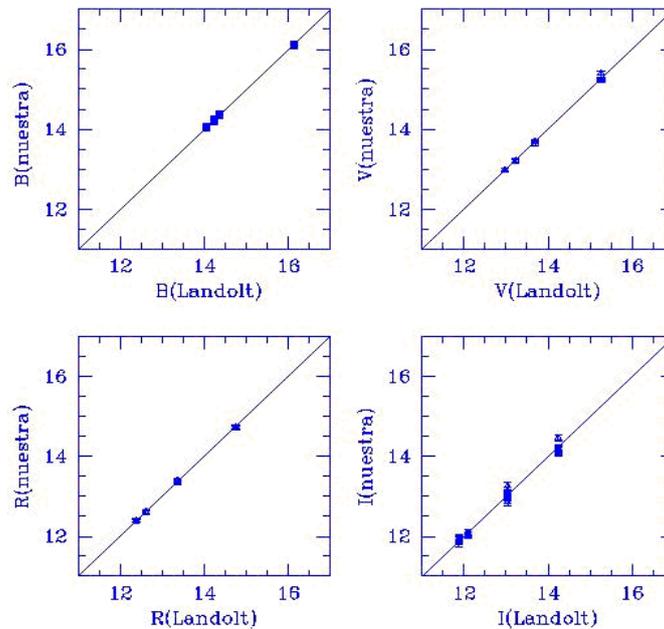


Figura 8. Magnitud aparente obtenida en los filtros B, V, R e I contra la magnitud correspondiente tomada de Landolt (1992) para *PGC1633+099*.

En la Figura 9 se presenta una comparación entre la magnitud total aparente que encontramos para las galaxias en el filtro B contra la magnitud en el mismo filtro reportada en la base de datos NED.

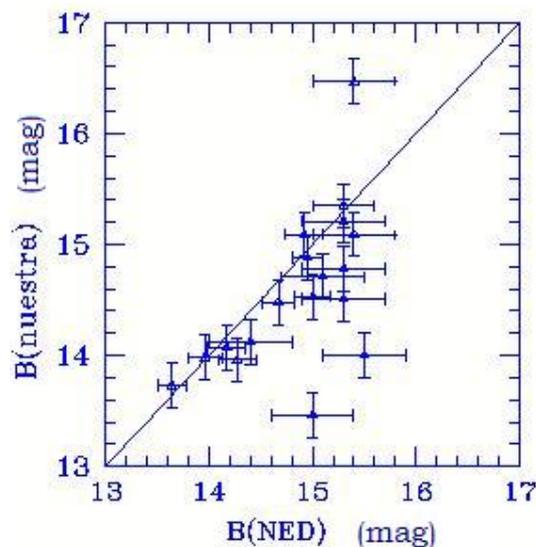


Figura 9. B total contra B de NED.

En la Figura 10 se presenta la distribución de magnitudes absolutas encontradas para cada una de las B, V, R e I.

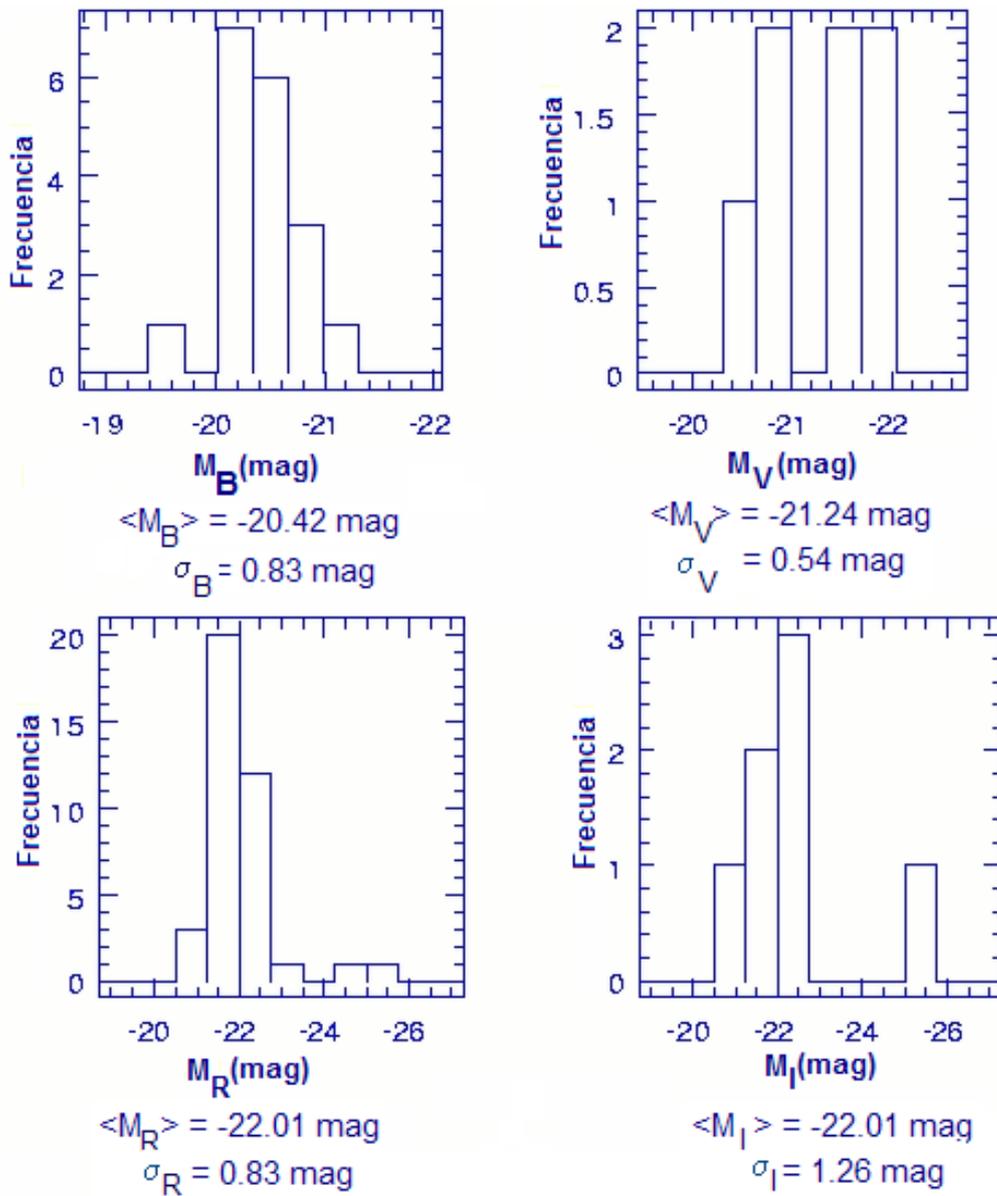


Figura 10. Histograma de la distribución de magnitudes absolutas en los filtros B y R.

En el eje x se grafican las magnitudes absolutas encontradas para cada una de las galaxias elípticas aisladas en cada uno de los Filtros B, V R e I, y en el eje y se grafica la frecuencia de estas magnitudes.

Se presentan también los valores promedio de las magnitudes por filtro, así como su error.

En la Figura 11 se muestran tres imágenes de las galaxias *PGC45790*, *PGC52687* y *PGC48565* en el filtro *R* (panel superior) y después de haber sido procesadas con la técnica conocida como *Unsharp Masking* (panel inferior). Note la estructura interna en cada uno de los ejemplos presentados.

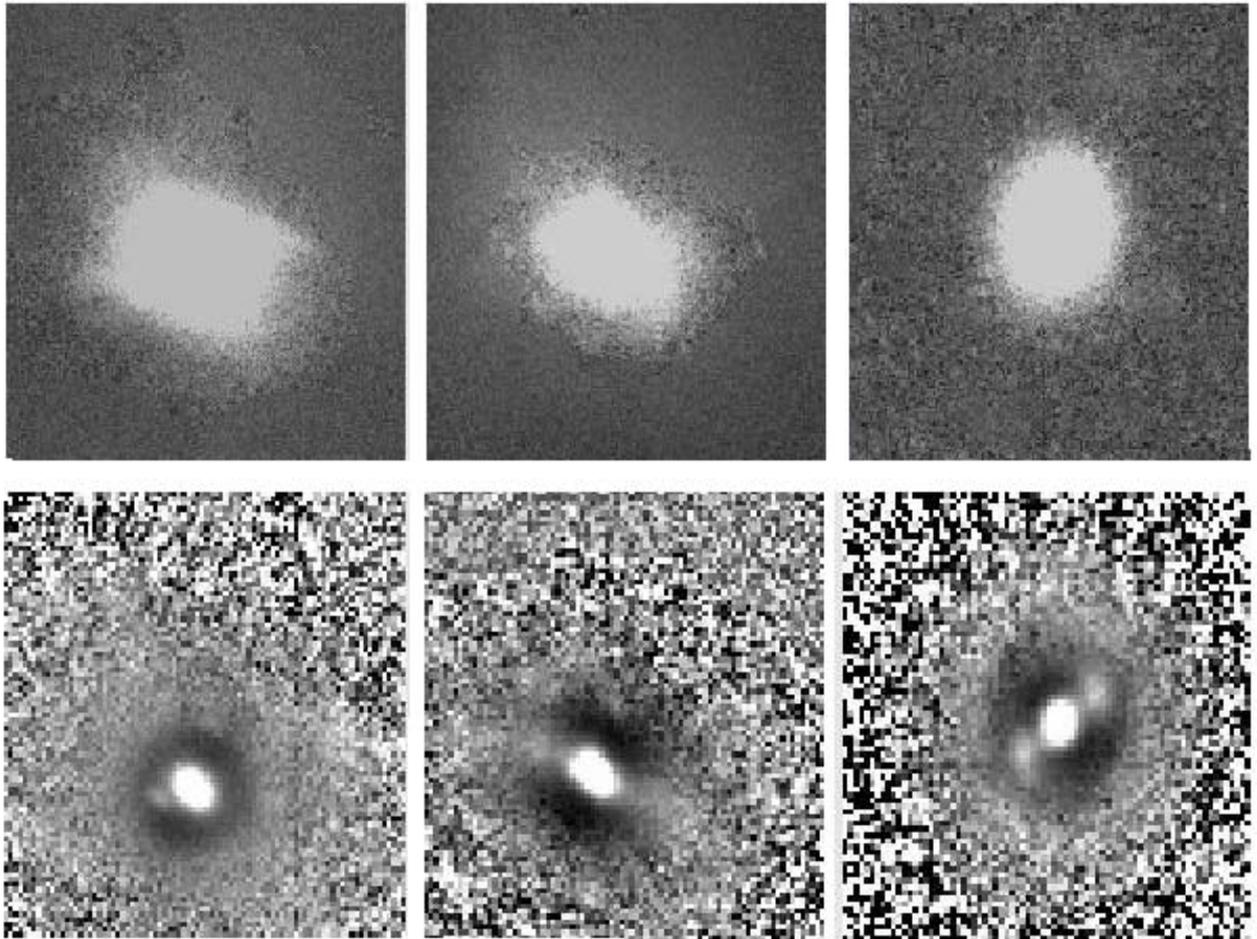


Figura 11. *Unsharp Masking* para tres galaxias elípticas. El panel superior presenta las imágenes de las galaxias *PGC45790*, *PGC52687* y *PGC48565* en el filtro *R*. El panel inferior presenta a las correspondientes imágenes procesadas por *Unsharp Masking*.

En la Figura 12 se comparan nuestros valores encontrados para los parámetros CAS vs. los reportados por Conselice [1] para los tipos morfológicos E, S0 y dE (Elípticas enanas) de una muestra inhomogéneamente seleccionada de galaxias pertenecientes a grupos dispersos y en los bordes de cúmulos⁹, presentándose en tres diferentes gráficas, en la primera se compara Asimetría contra Concentración, en la segunda Asimetría contra Grumosidad y por último Concentración con Grumosidad, las barras de error en cada uno de estos bloques representan los valores promedio encontrados por Conselice [1], así como su desviación estándar.

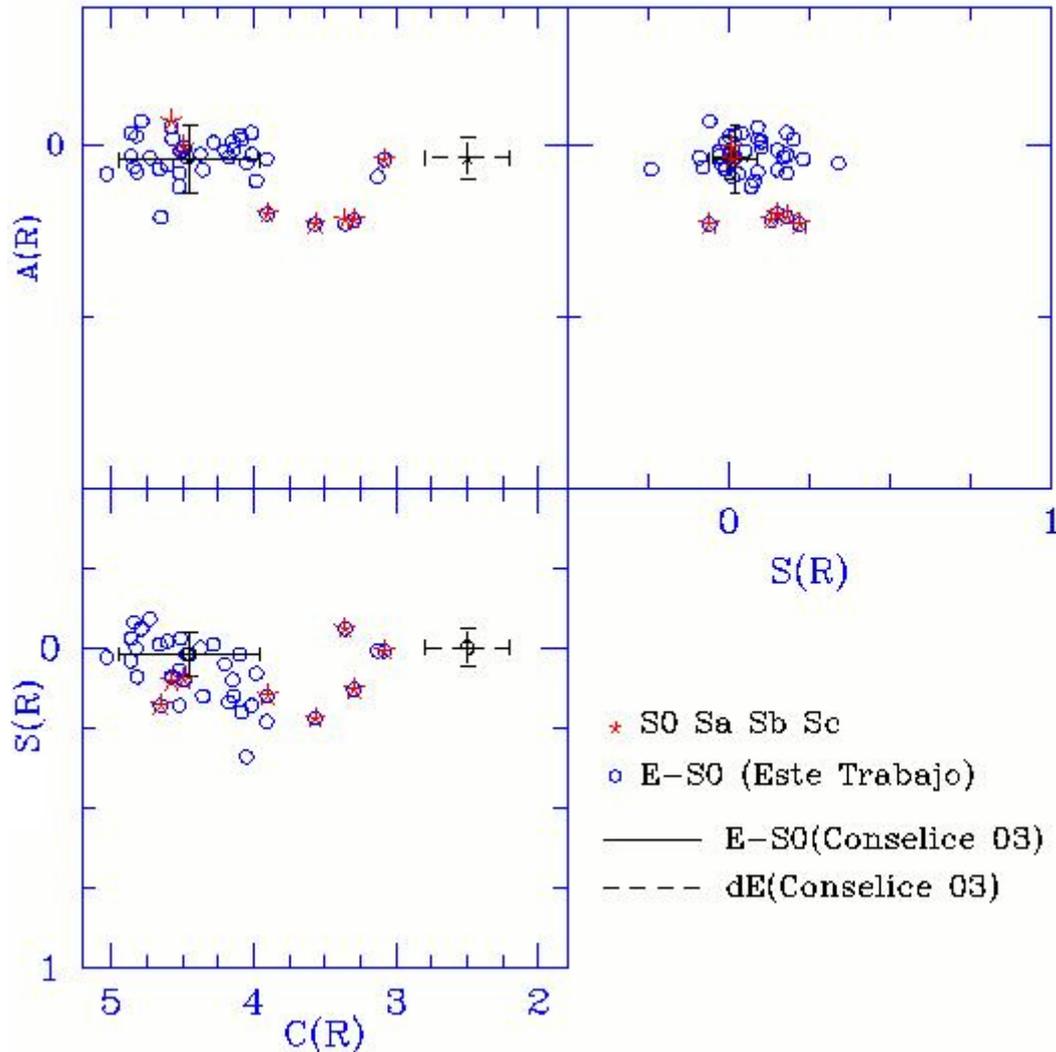


Figura 12. Parámetros CAS encontrados y comparación con la banda de error dados por Conselice (2003).

⁹ Para evitar saturación en la imagen se muestran sólo el promedio y la desviación estándar de la muestra de Conselice.

11. 2. Anexo II. Tablas.

En la tabla 5 se presentan los nombres alternativos, tipo morfológico presentado en LEDA o NED, velocidad radial corregida por el movimiento hacia el cúmulo de Virgo, grado de aislamiento y magnitud aparente reportada para el filtro B por LEDA o NED para cada una de las galaxias elípticas aisladas estudiadas en este trabajo.

Nombre	Nombre Alt	Tipo (LEDA)	Tipo (NED)	Vvir (km/s)	Grado de Aislamiento	B _T (LEDA) (mag)	B _T (NED) (mag)
NGC6092	NGC6092	E	-	9816.9	1	14.86	-
PGC37609	NGC3988	E	E	6710.1	0	14.78	14.27
PGC38018	NGC4044	E	E+	6155.7	1	14.45	13.97
PGC38043	PGC038043	S0	E	9776	0	15.63	15.5
PGC38465	PGC038465	S0	-	9040.4	0	15.21	15.2
PGC38603	UGC07132	E	E	6923	0	14.3	13.96
PGC38832	UGC07190	S0	SO?	8139.2	0	15.13	14.67
PGC42353	IC3623	E/SO	E0	7221	1	15.26	15.1
PGC43036	PGC043036	E/SO	Sa0-	14554.4	10	15.5	14.92
PGC43200	NGC4692	E	E+	8162.4	0	13.71	13.64
PGC45318	PGC045318	E	SO?	8136.5	0	15.17	14.95
PGC45682	PGC045682	E/SO	E	8073.2	0	14.89	15
PGC45790	PGC045790	E	S0	7164.8	0	14.59	14.17
PGC45841	PGC045841	S0	E0	6300.5	0	15.11	15
PGC46496	UGC08377	E/SO	E?	7198.8	0	15.17	14.62
PGC46501	PGC046501	S0	E0	9630.6	0	15.54	15.4
PGC48565	PGC048565	S0	-	7700.6	0	15.39	15.4
PGC49677	NGC5413	E	E	9879.2	6	14.39	14.4
PGC51530	IC4422	E	E?	9173.9	0	15.2	14.92
PGC51615	IC4435	E/SO	-	9827.3	0	15.16	15.3
PGC52330	PGC052330	E/SO	E	9055.2	1	15.1	15.1
PGC52472	PGC052472	E	-	9801.8	0	15.36	15.2
PGC52610	IC4496	S0	-	9061.4	0	14.88	15
PGC52667	IC4498	S0	SO?	9488	0	14.95	15.25
PGC52687	PGC052687	S0	S0	9077.6	0	15.13	15
PGC52750	IC4504	S0	-	10192.9	1	15.59	15.3
PGC53449	PGC053449	E/SO	-	9591.2	0	15.54	15.4
PGC53379	UGC09602	S0	S0	9704.9	NA	14.84	14.59
PGC53552	UGC09640	E	E	10154	1	14.1	14.02
PGC54023	PGC054023	E	-	9594.2	1	16.01	15.5
PGC54090	PGC054090	E	S0	9464.8	0	14.79	14.8
PGC54129	PGC054129	E	S?	9400.7	0	15	15.2
PGC56327	PGC056327	E	-	6237	0	15.42	14.92
PGC57056	PGC057056	S0	E	10124.8	2	15.73	15.3
PGC57944	PGC057944	S0	S0	10207.3	3	15.52	15.3
PGC58234	PGC058234	E	E	9595.2	4	15.06	15
PGC58651	PGC058651	E/SO	-	9538.5	2	15.6	15.4
KIG841	NGC6524	E/SO	S0-	5992.6	0	13.72	13.84

Tabla 5. Datos Generales de cada galaxia estudiada. Donde NA significa que la galaxia tiene una galaxia cercana de tamaño comparable dentro del intervalo en velocidad considerado y por tanto no está aislada.

Donde *Nombre Alt* es el nombre alternativo con el que se conoce a las galaxias, *Tipo (LEDA)* y *Tipo (NED)* es el tipo morfológico presentado en cada una de las bases de datos, respectivamente, *Vvir* es la velocidad radial corregida por el movimiento hacia el cúmulo de Virgo, el *Grado de Aislamiento* nos dice el número de objetos con diámetros típicos de 1/10 o menores que la galaxia aislada con velocidad relativa ≤ 500 km/s, utilizando un radio de búsqueda de 20 veces el diámetro de ella. B_T (LEDA) y B_T (NED) son las magnitudes aparentes en el filtro B según LEDA y NED.

En la Tabla 6 se presentan las Magnitudes Aparentes por filtro así como los colores obtenidos para cada una de las galaxias elípticas aisladas de este trabajo.

Nombre	Ap ₃ (pix)	log(A/0.1')	B (mag)	V (mag)	R (mag)	I (mag)	(B-V) (mag)	(B-R) (mag)	(B-I) (mag)
NGC6092	219	1.6	14.42	13.45	12.86	11.89	0.97	1.56	2.53
PGC37609	180	1.51	13.96	-	12.97	-	-	0.99	-
PGC38018	213	1.59	-	-	12.11	-	-	-	-
PGC38043	186	1.53	-	-	12.96	-	-	-	-
PGC38465	189	1.53	-	-	13.15	-	-	-	-
PGC38603	189	1.53	13.98	-	12.41	-	-	1.57	-
PGC38832	180	1.51	14.48	-	12.88	-	-	1.6	-
PGC42353	210	1.58	-	-	8.429	-	-	-	-
PGC43036	192	1.54	-	-	12.97	-	-	-	-
PGC43200	177	1.5	13.73	-	12.03	-	-	1.7	-
PGC45318	201	1.56	14.88	-	13.05	-	-	1.83	-
PGC45682	198	1.55	13.46	-	12.94	-	-	0.52	-
PGC45790	204	1.57	14.07	13.38	12.83	11.4	0.69	1.24	2.67
PGC45841	186	1.53	-	-	13.47	-	-	-	-
PGC46496	180	1.51	-	-	13.09	-	-	-	-
PGC46501	201	1.56	15.09	14.83	14.51	13.27	0.26	0.58	1.82
PGC48565	189	1.53	-	-	13.64	-	-	-	-
PGC49677	144	1.42	14.12	-	12.21	-	-	1.91	-
PGC51530	195	1.55	15.09	-	13.62	-	-	1.47	-
PGC51615	204	1.57	14.51	13.6	12.92	11.34	0.91	1.59	3.17
PGC52330	147	1.42	14.71	-	14.15	-	-	0.56	-
PGC52472	117	1.32	-	-	13.91	-	-	-	-
PGC52610	198	1.55	-	-	12.95	-	-	-	-
PGC52667	207	1.57	-	-	12.93	-	-	-	-
PGC52687	204	1.57	-	-	13.12	-	-	-	-
PGC52750	192	1.54	15.35	-	13.62	-	-	1.73	-
PGC53449	198	1.55	-	-	13.51	-	-	-	-
PGC53379	198	1.55	-	-	13.13	-	-	-	-
PGC53552	219	1.6	-	-	12.43	-	-	-	-
PGC54023	204	1.57	14	-	13.71	-	-	0.29	-
PGC54090	195	1.55	-	-	12.78	-	-	-	-
PGC54129	195	1.55	-	-	12.04	-	-	-	-
PGC56327	195	1.55	-	-	8.84	-	-	-	-
PGC57056	213	1.59	14.78	14.24	13.06	12.37	0.54	1.72	2.41
PGC57944	201	1.56	15.21	13.07	13.51	11.39	2.14	1.7	3.82
PGC58234	180	1.51	14.53	13.62	13.46	7.06	0.91	1.07	7.47
PGC58651	204	1.57	-	-	13.52	-	-	-	-
KIG841	189	1.53	-	-	12.17	-	-	-	-

Tabla 6. Magnitud Aparente por filtro y colores B-V, B-R y B-I

Donde Ap_3 representa la apertura mayor y está medida en pixeles.

B, V, R e I son las magnitudes aparentes obtenidas en esta apertura para las galaxias elípticas aisladas de este estudio.

(B-V), (B-R) y (B-I) son los colores correspondientes a las Magnitudes Aparentes para cada una de las galaxias elípticas aisladas estudiadas en este trabajo.

En la Tabla 7 se presentan las magnitudes aparentes corregidas por corrimiento sistemático así como los colores totales (B_C-V_C), (B_C-R_C) y (B_C-I_C).

Nombre	B_C (mag)	V_C (mag)	R_C (mag)	I_C (mag)	(B_C-V_C) (mag)	(B_C-R_C) (mag)	(B_C-I_C) (mag)
NGC6092	15.06	14.18	13.56	13.36	0.88	1.50	1.7
PGC37609	14.86	-	13.64	-	-	1.22	-
PGC38018	-	-	13.03	-	-	-	-
PGC38043	-	-	13.63	-	-	-	-
PGC38465	-	-	13.77	-	-	-	-
PGC38603	14.87	-	13.24	-	-	1.63	-
PGC38832	15.09	-	13.57	-	-	1.52	-
PGC42353	-	-	10.41	-	-	-	-
PGC43036	-	-	13.64	-	-	-	-
PGC43200	14.76	-	12.97	-	-	1.79	-
PGC45318	15.27	-	13.69	-	-	1.58	-
PGC45682	14.64	-	13.62	-	-	1.02	-
PGC45790	14.91	14.14	13.54	13.1	0.77	1.37	1.81
PGC45841	-	-	13.99	-	-	-	-
PGC46496	-	-	13.72	-	-	-	-
PGC46501	15.36	14.84	14.73	14.11	0.52	0.63	1.25
PGC48565	-	-	14.11	-	-	-	-
PGC49677	14.93	-	13.1	-	-	1.83	-
PGC51530	15.36	-	14.1	-	-	1.26	-
PGC51615	15.1	14.25	13.6	13.06	0.85	1.5	2.04
PGC52330	15.19	-	14.48	-	-	0.71	-
PGC52472	-	-	14.31	-	-	-	-
PGC52610	-	-	13.62	-	-	-	-
PGC52667	-	-	13.61	-	-	-	-
PGC52687	-	-	13.74	-	-	-	-
PGC52750	15.47	-	14.1	-	-	1.37	-
PGC53449	-	-	14.02	-	-	-	-
PGC53379	-	-	13.75	-	-	-	-
PGC53552	-	-	13.26	-	-	-	-
PGC54023	14.88	-	14.16	-	-	0.72	-
PGC54090	-	-	13.5	-	-	-	-
PGC54129	-	-	12.98	-	-	-	-
PGC56327	-	-	10.71	-	-	-	-
PGC57056	15.22	14.55	13.7	13.62	0.67	1.52	1.6
PGC57944	15.41	13.99	14.02	13.09	1.42	1.39	2.32
PGC58234	15.11	14.26	13.99	10.75	0.85	1.12	4.36
PGC58651	-	-	14.03	-	-	-	-
KIG841	-	-	13.07	-	-	-	-

Tabla 7. Magnitudes Aparentes corregidas debido al corrimiento sistemático y colores totales.

Donde B_C , V_C , R_C e I_C son las Magnitudes Aparentes corregidas debido al corrimiento sistemático y (B_C-V_C), (B_C-R_C) y (B_C-I_C) son los colores obtenidos con estas magnitudes.

En la Tabla 8 se muestran las Magnitudes corregidas por absorción interestelar y las correspondientes magnitudes absolutas por filtro.

Nombre	B_{abs} (mag)	V_{abs} (mag)	R_{abs} (mag)	I_{abs} (mag)	d (Mpc)	M_B (mag)	M_V (mag)	M_R (mag)	M_I (mag)
NGC6092	14.86	14.02	13.43	13.27	140.2	-20.87	-21.71	-22.30	-22.46
PGC37609	14.75	-	13.57	-	95.86	-20.16	-	-21.34	-
PGC38018	-	-	12.97	-	87.94	-	-	-21.75	-
PGC38043	-	-	13.57	-	139.7	-	-	-22.16	-
PGC38465	-	-	13.72	-	129.1	-	-	-21.83	-
PGC38603	14.79	-	13.19	-	98.9	-20.19	-	-21.79	-
PGC38832	15.00	-	13.51	-	116.3	-20.33	-	-21.82	-
PGC42353	-	-	10.37	-	103.2	-	-	-24.70	-
PGC43036	-	-	13.56	-	207.9	-	-	-23.03	-
PGC43200	14.71	-	12.94	-	116.6	-20.62	-	-22.39	-
PGC45318	15.23	-	13.66	-	116.2	-20.10	-	-21.67	-
PGC45682	14.59	-	13.59	-	115.3	-20.72	-	-21.72	-
PGC45790	14.85	14.10	13.50	13.07	102.4	-20.20	-20.95	-21.55	-21.98
PGC45841	-	-	13.95	-	90.01	-	-	-20.82	-
PGC46496	-	-	13.68	-	102.8	-	-	-21.38	-
PGC46501	15.30	14.79	14.69	14.08	137.6	-20.39	-20.90	-21.00	-21.61
PGC48565	-	-	14.07	-	137.6	-	-	-21.62	-
PGC49677	14.86	-	13.06	-	110	-20.35	-	-22.15	-
PGC51530	15.28	-	14.05	-	141.1	-20.47	-	-21.70	-
PGC51615	15.06	14.22	13.57	13.04	131.1	-20.53	-21.37	-22.02	-22.55
PGC52330	15.13	-	14.45	-	140.4	-20.61	-	-21.29	-
PGC52472	-	-	14.27	-	129.4	-	-	-21.29	-
PGC52610	-	-	13.59	-	140	-	-	-22.14	-
PGC52667	-	-	13.54	-	129.4	-	-	-22.02	-
PGC52687	-	-	13.70	-	135.5	-	-	-21.96	-
PGC52750	15.42	-	14.07	-	129.7	-20.14	-	-21.49	-
PGC53449	-	-	13.94	-	145.6	-	-	-21.88	-
PGC53379	-	-	13.66	-	137	-	-	-22.02	-
PGC53552	-	-	13.17	-	138.6	-	-	-22.54	-
PGC54023	14.76	-	14.08	-	145.1	-21.05	-	-21.73	-
PGC54090	-	-	13.37	-	137.1	-	-	-22.31	-
PGC54129	-	-	12.93	-	135.2	-	-	-22.72	-
PGC56327	-	-	10.62	-	134.3	-	-	-25.02	-
PGC57056	15.05	14.42	13.59	13.54	89.1	-19.70	-20.33	-21.16	-21.21
PGC57944	15.36	13.95	13.99	13.07	144.6	-20.44	-21.85	-21.81	-22.73
PGC58234	15.07	14.23	13.97	10.73	145.8	-20.75	-21.59	-21.85	-25.09
PGC58651	-	-	13.96	-	137.1	-	-	-21.72	-
KIG841	-	-	12.97	-	136.3	-	-	-22.70	-

Tabla 8. Magnitudes corregidas por absorción interestelar y las correspondientes magnitudes absolutas por filtro.

Donde B_{abs} , V_{abs} , R_{abs} e I_{abs} son las magnitudes aparentes corregidas por la absorción, d es la distancia a la que se encuentran las galaxias estudiadas con respecto a nosotros medida en pársecs (pc) y M_B , M_V , M_R y M_I son las magnitudes absolutas por filtro para cada una de las galaxias elípticas aisladas de este trabajo.

En la Tabla 9 se presenta la elipticidad aparente así como y la clasificación morfológica tentativa que se sugiere en este trabajo para cada una de las 38 galaxias elípticas aisladas en *Morfología (Este Trabajo)*, su respectivo ángulo de posición (*PA*) estimado para este trabajo con su correspondiente error (*Err PA*) y el ángulo de posición que presenta *LEDA*, *PA (LEDA)*. Se presenta también una sección con las estructuras internas que se encontraron para las galaxias, en el caso de haberlas encontrado.

Nombre	Morfología (Este trabajo)	PA (Este trabajo) (°)	Err PA (°)	Pa (LEDA) (°)	Estructura encontrada
NGC6092	E2	15	3	13	Grupos
PGC37609	E1	55	5	54	grupo, E(Posible disco central)
PGC38018	E1	20	3	23	grupo, E(Posible disco central)
PGC38043	S0	64	2	64	S0(Disco)
PGC38465	S0	170	5	167	S0 (Posible disco)
PGC38603	E1	59	3	65	Sin estructura
PGC38832	E2	25	5	5	Sin estructura
PGC42353	E2	65	5	60	E(posible Disco)
PGC43036	S0	60	3	59	S0(Disco)
PGC43200	E2	85	2	93	E(Posible disco central)
PGC45318	E0	25	5	26	E(Posible disco central)
PGC45682	S0	145	5	130	S0(Disco)
PGC45790	E3	21	3	19	Grupo, E(Posible disco central), forma externa de caja
PGC45841	S0	122	3	120	S0(Disco)
PGC46496	E2	80	3	85	E(Posible disco central)
PGC46501	Sa	40	5	145	Brazos espirales
PGC48565	Sb	132	5	130	Espiral Central
PGC49677	E1	35	3	0	Sin estructura
PGC51530	E1	95	3	115	Sin estructura
PGC51615	S0	60	5	55	Sin estructura
PGC52330	Sa	50	5	-	Brazos Espirales
PGC52472	E0	130	5	60	Sin estructura
PGC52610	S0	40	3	50	S0 (Posible disco), forma interna de caja.
PGC52667	S0	12	3	20	S0(Disco)
PGC52687	E1	20	3	19	E (Posible disco central)
PGC52750	S0	92.5	3	101	S0(Disco)
PGC53379	E2	145	3	148	Sin estructura
PGC53449	S0	136	3	129	SB0 (Disco y Barra)
PGC53552	S0	105	3	107	S0(Posible disco)
PGC54023	E2	120	5	130	Sin estructura
PGC54090	S0	75	-	95	S0 (Posible disco)
PGC54129	S0	100	3	170	S0(Disco)
PGC56327	S0	60	5	65	S0(Disco)
PGC57056	S0	145	3	145	S0(Posible disco)
PGC57944	E1	133	3	145	Sin estructura
PGC58234	E0	35	5	5	E(Posible disco central)
PGC58651	E2	147	3	150	Sin estructura
KIG841	S0	145	5	155	SB0 (Disco y Barra)

Tabla 9. Clasificación Morfológica de las galaxias y su ángulo de posición estimados para este trabajo y el ángulo de posición que presenta *LEDA*.

En la Tabla 10 se presentan los *Parámetros CAS* encontrados para la muestra de 38 galaxias elípticas aisladas en el filtro R.

Nombre	C	Err C	A	Err A	S	Err S
NGC6092	4.24	0.23	0.11	0.014	0.13	0.003
PGC37609	3.74	0.46	0.03	0.003	0.24	0.003
PGC38018	4.23	0.27	0.06	0.007	0.03	0.001
PGC38043	3.70	0.53	0.10	0.001	0.14	0.002
PGC38465	4.29	0.31	0.04	0.006	0.15	0.004
PGC38603	4.58	0.29	0.03	0.005	0.1	0.002
PGC38832	4.37	0.27	0.16	0.006	0.24	0.005
PGC42353	3.89	0.42	0.07	0.006	0.23	0.004
PGC43036	5.39	0.26	0.09	0.015	-0.18	0.005
PGC43200	3.81	0.28	0.04	0.004	0.08	0.002
PGC45318	3.63	0.40	0.07	0.006	0.29	0.004
PGC45682	4.33	0.31	0.08	0.006	0.04	0.002
PGC45790	4.21	0.36	0.05	0.004	0.16	0.003
PGC45841	3.73	0.49	0.06	0.002	0.24	0.003
PGC46496	4.24	0.39	0.09	0.006	0.24	0.004
PGC46501	2.80	0.43	0.07	0.005	0.07	0.003
PGC48565	4.29	0.45	0.02	0.005	0.15	0.003
PGC49677	4.51	0.25	0.02	0.007	0	0.001
PGC51530	3.92	0.40	0.06	0.005	0.11	0.003
PGC51615	4.58	0.47	0.07	0.003	0.03	0.001
PGC52330	3.02	0.63	0.16	0.002	0.19	0.003
PGC52472	3.80	0.61	0.04	0.002	0.26	0.003
PGC52610	4.19	0.30	0.07	0.007	0.08	0.003
PGC52667	4.09	0.38	0.06	0.008	0.06	0.002
PGC52687	3.86	0.39	0.06	0.005	0.21	0.004
PGC52750	3.87	0.42	0.05	0.007	0.16	0.004
PGC53449	3.62	0.57	0.15	0.002	0.21	0.003
PGC53379	4.75	0.34	0.09	0.004	0.09	0.002
PGC53552	4.54	0.27	0.04	0.007	0.06	0.002
PGC54023	3.77	0.67	0.08	0.002	0.4	0.005
PGC54090	4.38	0.36	0.09	0.004	0.05	0.002
PGC54129	4.00	0.44	0.05	0.003	0.05	0.001
PGC56327	3.29	0.71	0.17	0.001	0.28	0.003
PGC57056	3.08	0.77	0.17	-	-	-
PGC57944	4.08	0.62	0.09	0.002	0.21	0.002
PGC58234	4.54	0.49	0.09	0.003	0.15	0.002
PGC58651	4.56	0.41	0.08	0.007	-0.02	0.001
KIG841	4.45	0.26	0.07	0.003	-0.03	0.001

Tabla 10. *Parámetros CAS en el filtro R*

Donde *C* y *ErrC* son los valores obtenidos para la concentración, con sus respectivos errores.

Donde *A* y *ErrA* son los valores obtenidos para la asimetría, con sus respectivos errores.

Donde *S* y *ErrS* son los valores obtenidos para la grumosidad, con sus respectivos errores.

11.3 Anexo III. Magnitud Total Aparente en las primeras dos aperturas para cada filtro.

En la tabla 11 se presenta la magnitud total aparente que encontramos para las galaxias en las primeras dos aperturas en cada filtro.

Nombre	Ap ₁ (pix)	Log(Ap ₁ /1')	B ₁ (mag)	V ₁ (mag)	R ₁ (mag)	I ₁ (mag)	Ap ₂ (pix)	Log(Ap ₂ /0.1')	B ₂ (mag)	V ₂ (mag)	R ₂ (mag)	I ₂ (mag)
NGC6092	73	1.12	14.54	13.56	12.93	12.12	146	1.43	14.44	13.47	12.87	12.04
PGC37609	60	1.04	14.42	-	13.03	-	120	1.34	14.12	-	13.00	-
PGC38018	71	1.11	-	-	12.4	-	142	1.41	-	-	12.36	-
PGC38043	62	1.05	-	-	13.71	-	124	1.35	-	-	13.29	-
PGC38465	63	1.06	-	-	13.22	-	126	1.36	-	-	13.21	-
PGC38603	63	1.06	14.16	-	12.54	-	126	1.36	14.01	-	12.42	-
PGC38832	60	1.04	14.67	-	13.06	-	120	1.34	14.49	-	12.91	-
PGC42353	70	1.11	-	-	10.76	-	140	1.41	-	-	9.31	-
PGC43036	64	1.07	-	-	13.36	-	128	1.37	-	-	13.25	-
PGC43200	59	1.03	13.94	-	12.34	-	118	1.33	13.76	-	12.15	-
PGC45318	67	1.09	15.02	-	13.5	-	134	1.38	14.87	-	13.48	-
PGC45682	66	1.08	14.49	-	13.13	-	132	1.38	13.98	-	13.02	-
PGC45790	68	1.09	14.47	13.58	13.02	11.97	136	1.39	14.32	13.54	13.00	11.95
PGC45841	62	1.05	-	-	13.47	-	124	1.35	-	-	13.34	-
PGC46496	60	1.04	-	-	13.6	-	120	1.34	-	-	13.32	-
PGC46501	67	1.09	15.37	15.03	14.60	13.91	134	1.39	15.16	14.91	14.57	13.50
PGC48565	63	1.06	-	-	13.78	-	126	1.36	-	-	13.76	-
PGC49677	48	0.94	14.31	-	12.63	-	96	1.24	14.12	-	12.35	-
PGC51530	65	1.07	15.29	-	13.68	-	130	1.37	15.14	-	13.67	-
PGC51615	68	1.09	14.75	13.81	13.19	12.24	136	1.39	14.53	13.63	12.98	11.64
PGC52330	49	0.95	15.14	-	14.35	-	98	1.25	14.83	-	14.25	-
PGC52472	39	0.85	-	-	13.97	-	78	1.15	-	-	13.92	-
PGC52610	66	1.08	-	-	13.21	-	132	1.38	-	-	13.15	-
PGC52667	69	1.10	-	-	13.15	-	138	1.40	-	-	13.12	-
PGC52687	68	1.09	-	-	13.49	-	136	1.39	-	-	13.43	-
PGC52750	64	1.07	15.36	-	13.95	-	128	1.37	15.35	-	13.92	-
PGC53449	66	1.08	-	-	13.72	-	132	1.38	-	-	13.72	-
PGC53379	66	1.08	-	-	12.8	-	132	1.38	-	-	12.93	-
PGC53552	73	1.12	-	-	12.57	-	146	1.43	-	-	12.44	-
PGC54023	68	1.09	15.47	-	14.46	-	136	1.39	14.57	-	13.93	-
PGC54090	65	1.07	-	-	12.95	-	130	1.37	-	-	12.91	-
PGC54129	65	1.07	-	-	12.47	-	130	1.37	-	-	12.22	-
PGC56327	65	1.07	-	-	11.17	-	130	1.37	-	-	9.72	-
PGC57056	71	1.11	15.14	14.36	13.63	12.94	142	1.41	14.89	14.24	13.6	12.57
PGC57944	67	1.08	15.21	14.2	13.76	12.61	134	1.39	15.02	13.58	13.77	11.70
PGC58234	60	1.03	14.91	13.98	13.47	9.45	120	1.34	14.70	13.82	13.43	7.93
PGC58651	68	1.09	-	-	13.69	-	136	1.39	-	-	13.70	-
Kig841	63	1.06	-	-	12.26	-	126	1.36	-	-	12.17	-

Tabla 11. Magnitud total aparente para las galaxias en las primeras dos diferentes aperturas.

Donde Ap_1 y Ap_2 son los radios de la primera y segunda apertura, $\log Ap_3$ está dado de la misma manera que se explicó anteriormente con la ecuación 21, respectivamente designada y está dado en pixeles.

Para calcular $\log Ap_3$. B_1 , V_1 , R_1 e I_1 son las magnitudes totales aparentes para la apertura uno y de manera análoga B_2 , V_2 , R_2 e I_2 son para la apertura 2.

12. Glosario

Bias: Nivel de la precarga del detección del detector, este siempre tendrá una corriente de fondo. Se hace con el obturador cerrado. Ver sección 5.3.

CCD: del inglés Charge-Coupled Device, "dispositivo de cargas (eléctricas) interconectadas. Ver sección 5.1.

Declinación (δ), es una de las dos coordenadas del Sistema de coordenadas ecuatoriales, comparable a la latitud, se proyecta sobre la esfera celeste, y es medida en grados norte y sur desde ecuador celeste.

E: Abreviatura utilizada en la clasificación morfológica para una galaxia elíptica, es decir es un tipo de galaxia de la secuencia de Hubble. Ver sección 2 y 4.

Filtro B: Filtro que permite pasar longitudes de onda en un intervalo de 1000 Å centrado en $\lambda \approx 4300$ Å. Ver sección 3.3, 3.4 y 3.5

Filtro I: Filtro que permite pasar longitudes de onda en un intervalo de 900 Å centrado en $\lambda \approx 8900$ Å. Ver sección 3.3, 3.4 y 3.5

Filtro R: Filtro que permite pasar longitudes de onda en un intervalo de 1300 Å centrado en una $\lambda \approx 6400$ Å. Ver sección 3.3, 3.4 y 3.5

Filtro V: Filtro que permite pasar longitudes de onda en un intervalo de 3400 Å centrado en $\lambda \approx 5400$ Å. Ver sección 3.3, 3.4 y 3.5.

Flujo: Cantidad de energía que atraviesa una unidad de superficie en unidad de tiempo.

HYPERLEDA: LYON extragalactic database.

Isofotas: Lugar geométrico de los puntos que comparten la misma intensidad.

Latitud: Medida angular sobre un meridiano y el ecuador. Se mide en grados. Si el punto pertenece al hemisferio Norte es positiva y negativa para el hemisferio sur. Varía entre 0° y 90° norte y entre 0° y -90° sur.

Magnitud: Es la medida del brillo de una estrella o galaxia. Ver sección 3.1, 3.2 y 7.1.

NED NASA Extragalactic Database.

OAN-SPM: Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir, Baja California.

Overscan: El nivel de cero puede cambiar a lo largo de la noche, por lo que cada imagen suele tener una zona donde se almacena el nivel de cero propio, la llamada zona de "overscan". Esta zona está formada por unas columnas o

filas adicionales que suelen contener todas las imágenes. Estas filas o columnas son virtuales, no existen físicamente sobre el detector, siendo creadas artificialmente por la electrónica de lectura, y por tanto no están iluminadas. Sin embargo, este nivel no es representativo de todos los píxeles, sino únicamente de unas pocas columnas o filas. Por tanto se suele promediar y obtener solo un valor por imagen o en algunos casos un ajuste lineal a lo largo de las columnas o filas de "overscan". Ver sección 5.3, 5.4 y 5.5.

Pásec (pc): Es una unidad de distancia utilizada en astronomía. La separación básica que usan los astrónomos para determinar la paralaje de las estrellas es el radio de la órbita de la Tierra. La paralaje se mide en segundos de arco ("). Se basa en el método del paralaje trigonométrico.

Un parsec se define como la distancia a la que se encuentra una estrella si su paralaje es igual a 1 segundo de arco. Con estas unidades la relación entre distancia y paralaje se vuelve muy sencilla:

$$d = \frac{1}{p}$$

SB0: Abreviatura utilizada en la clasificación morfológica para una galaxia S0 (lenticular) barrada. Ver sección 2.

S0: Abreviatura utilizada en la clasificación morfológica para una galaxia lenticular. Este tipo de galaxias tienen forma de disco o lente, no tienen brazos espirales. Ver sección 2.

13. Bibliografía

1. CONSELICE, C. J.; The Relationship Between Stellar Light Distributions of Galaxies and Their Formation Histories. The Astrophysical Journal Supplement Series, 2003, 147, pp 1-28.
2. ELMEGREEN, D. Galaxies and Galactic Structure. Prentice Hall. 1998. pp 1-109.
3. GOLAY, M. Introduction to Astronomical Photometry. Dordrech: D.Reidel Publishing Company. 1974. pp.1-58, 81-101.
4. GRUNDAL F.; SORENSEN, A. N., Detection of scattered light in telescopes. Astronomy and Astrophysics Supplement. 1996, 116, pp. 367 - 371.
5. GUTIÉRREZ, L.; et al. Detection and Correction of Scattered Light in the 2.1-m San Pedro Mártir Telescope, Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 1996, 32, pp.63 – 67.
6. HERNÁNDEZ-TOLEDO, H.M.; SALAZAR-CONTRERAS, J.R.; en preparación, Astronomy & Astrophysics 2006.
7. HUBBLE E. A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae. The Early Universe: Reprints Edited by Edward W. Kolb and Michael S. Turner. Frontiers in Physics, Reading: Addison-Wesley, 1988, p.9
8. HUBBLE E. Extra-Galactic Nebulae. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington, 1926, 324, pp.1-49.
9. JESTER, S.; SCHNEIDER, D. P.; et al. The Sloan Digital Sky Survey View of the Palomar-Green Bright Quasar Survey, The Astronomical Journal, 2005, 130, Issue 3, pp. 873-895.
10. JOHNSON, H. L., The Color-Magnitude Array for the Galactic Cluster NGC 2362. Astrophysical Journal, 112, 1950, p. 240.
11. JOHNSON, H. L.; MORGAN, W. W. On the Color-Magnitude Diagram of the Pleiades. Astrophysical Journal, 114, 1951, p.522.
12. KITCHIN, C.R. Astrophysical Techniques. Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia 2004. pp.1-27.
13. LANDOLT, A. U. UBVRI Photometric Standards stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator. The Astronomical Journal 104. 1992 . pp. 340-371, 436-491.
14. LUPTON, R.; IVEZIC, Z. Experience with SDSS: the Promise and Perils of Large Surveys Astrometry in the Age of the Next Generation of Large Telescopes, ASP Conference Series, Vol. 338, Proceedings of a meeting held 18-20. Astronomical Society of the Pacific, 2005., p.151
15. MALIN, D. F.; Photographic amplification of faint astronomical images. Nature, vol. 276, Dec. 7, 1978, pp. 591-593

16. MORGAN, W. W. The Classification of Clusters of Galaxies The National Academy of Sciences of the United States of America, 1961, 47, pp. 905-906.
17. PAMELA M. M., AARS, C. E., FANELLI, M.N.; Early-Type Galaxies in Extremely Isolated Environments: Typical Ellipticals? The Astronomical Journal 2004, 127, 3213-3234.
18. REDA F. M. ; FORBES, D.A. ; et all. The photometric properties of isolated early-type galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2004, 354, pp. 851-869.
19. ROBERTS, M. S.; HAYNES, M.P. Physical Parameters along the Hubble Sequence. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 1994, 32, pp. 115-152.
20. SCHLEGEL, D.J.; FINKBEINER D.P.; DAVIS, M. Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. Astrophysical Journal, 1998, 500, p.525-532.
21. SHU, F. The Physical Universe. An introduction to Astronomy. University Science Book. Oxford. 1990. pp 109-331.
22. TAYLER, R.; Galaxies: Structure and Evolution. Great Britain, Cambridge, 1978. Cambridge University Press. pp. 1-203.
23. TOOMRE, A.; The Evolution of Galaxies and Stellar Populations, 1977 ed. B. Tinsley & R. Larson (New Haven: Yale Univ. Obs).
24. TOOMRE, A.; TOOMRE, J.; Galactic Bridges and Tails, Astrophysical Journal, 1972, 178, pp. 623-666.