

18
24

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

Estudio de velocidades de rotación y
de expansión en NGC4736

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

FÍSICO

PRESENTA

Fidel Cruz Peregrino

México, D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Índice

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Índice	iii
Introducción	1

Capítulo I:

ACTIVIDAD EN LOS NÚCLEOS GALÁCTICOS	3
1.1 Núcleos Activos de Galaxias	3
1.2 Núcleos Medio Activos de Galaxias	9
1.3 Galaxias con Espirales Centrales	11

Capítulo II:

OBSERVACIONES DE NGC4736	15
2.1 Algo de Historia	15
2.2 Clasificación y Descripción Óptica	16
2.3 Observaciones en el Óptico	19
2.4 Observaciones en el Radio	22
2.5 Observaciones en el Infrarrojo	26
2.6 Observaciones en el Ultravioleta	27
2.7 Resumen	36

Capítulo III:

UN MODELO PARA NGC4736	37
3.1 Planteamiento	37
3.2 El Modelo	37
3.3 Análisis	39
3.3.1 Velocidad Radial Conociendo la Velocidad de Rotación	46
3.3.2 Mínimos Cuadrados en Cada Región	55
3.4 Resultados Cinemáticos	56
3.4.1 Consideraciones Acerca de los Errores y Dispersiones	60

3.5 Resultados Sobre la Morfología	61
3.6 Resultados	65

Capítulo IV:

MODELOS PARA NGC4736	66
4.1 Espiral como una Manifestación Dinámica	66
4.2 Espiral Central como Producto de una Actividad Nuclear	68
4.3 Discusión	69

Conclusiones	73
------------------------	----

Apéndice A	74
----------------------	----

Apéndice B	78
----------------------	----

Apéndice C	88
----------------------	----

Referencias	91
-----------------------	----

Introducción

El estudio de las galaxias es, sin lugar a dudas, uno de los temas que más atraen a los astrónomos de hoy en día, en particular el estudio de aquellas que muestran algún tipo de actividad.

El estudio de los Núcleos Activos de Galaxias (AGN) es uno de los campos en los que la astronomía extragaláctica se ha desarrollado de manera reciente, debido al advenimiento de nuevas técnicas observacionales que permiten observar la increíble actividad que estos presentan, además del reciente desarrollo de teorías que empiezan a dar una explicación a tales eventos, volviéndose cada vez más importante el estudio de estos.

Pero las galaxias no sólo muestran actividad a niveles extraordinarios, sino que también es posible observar galaxias que de alguna u otra forma delatan cierto tipo de actividad nuclear, en una menor escala, siendo a estas las que Pişmiş (1984) propone llamarlas Núcleos Medioactivos de Galaxias (MAGN). Por lo general, éstas se encuentran relativamente cerca, lo cual facilita, en cierta medida, su estudio. Además, como presentan una menor actividad, es posible observar el núcleo y las regiones cercanas a este, lo que de alguna manera representa una ventaja sobre el estudio de los AGN.

Dentro de los MAGN, aquellos que muestran una espiral cercana al núcleo (1-2 kpc) han despertado gran interés, ya que en cierta medida es posible que tal estructura pueda implicar algún tipo de actividad nuclear.

En particular la galaxia NGC4736 muestra esta estructura espiral en su parte central, para la cual se tiene un gran número de observaciones en varios intervalos del espectro, así como varios modelos que intentan explicar las características observadas.

En el presente trabajo se hace un análisis cinemático y morfológico de la galaxia NGC4736, con el fin de aportar alguna evidencia que apoye el modelo propuesto por

Pişmiş y Moreno (1984), en el cual se pretende explicar la morfología y cinemática de esta región como resultado de algún tipo de actividad nuclear.

En el capítulo I se presenta un marco general de los AGN, con el fin de hacer una consecuencia natural la aparición de los MAGN, como la extrapolación de cierta actividad a niveles de energía menores, así como la importancia su estudio en la astronomía extragaláctica.

En el capítulo II se presentan las características observadas más sobresalientes de NGC4736, con el fin de dejar completamente clara la evidencia de cierto tipo de actividad, así como la necesidad de un modelo que explique las características observadas.

En el capítulo III se presenta el modelo propuesto (Pişmiş y Moreno, 1984), así como un estudio del campo de velocidades buscando la dependencia de los movimientos radiales con la distancia al núcleo, lo cual confirmaría la validez del modelo propuesto. Ahí mismo se muestran imágenes CCD, las cuales dan un mayor sustento a las características morfológicas sugeridas por el modelo que se presenta.

En el capítulo IV se discuten los modelos que han sugerido otros autores, así como la validez de estos en base a los resultados encontrados; también se hace una discusión en la cual se intenta llegar a una posible explicación de las características observadas en base a los modelos propuestos para los AGN, de donde se desprende la necesidad de hacer un mejor estudio de la parte central (espectroscopía de alta resolución, polarimetría en radio, etc), para dejar claro cual es el posible mecanismo que produce las características observadas.

Los resultados más sobresalientes de este trabajo se presentan en las conclusiones.

Capítulo I

ACTIVIDAD EN LOS NÚCLEOS GALÁCTICOS

1.1 NÚCLEOS ACTIVOS DE GALAXIAS.

El estudio de los Núcleos Activos de Galaxias (que llamaremos AGN, por sus siglas en inglés) comienza con la observaciones de Seyfert (1943) de algunas galaxias espirales con un núcleo muy prominente en el azul, además con un espectro que consta de anchas e intensas líneas de emisión, provenientes de ésta misma región.

Hoy en día, con el subsecuente desarrollo de las técnicas observacionales en una amplia gama del espectro electromagnético, podemos decir que la existencia de tal actividad es casi típica en algunas clases de galaxias (cerca del 10% del total de galaxias).

Dentro de los llamados AGN se encuentran los cuasares, los objetos BL Lacerta, las radiogalaxias y las galaxias Seyfert.

Todos los AGN's muestran las siguientes propiedades generales (Brecher 1977; Osterbrock 1990):

- A. Luminosidades muy altas (ver Tabla I.1).
- B. Presentan emisión no térmica¹, con excesos en radio, infrarrojo y ultravioleta, además de un gran flujo en rayos X².

¹ Cuando hablamos de emisión no térmica nos referimos a la radiación que es producida por electrones relativistas en un intenso campo magnético (radiación sincrotrón) o por Compton Inverso, en los cuales la emisión no se puede relacionar con un cuerpo negro.

² En este punto hay que mencionar que los excesos son con respecto a lo que se esperaría de un cuerpo negro a cierta

TABLA I.1

Luminosidades promedio de los diferentes AGN.

Tipo de Galaxia	Luminosidad (erg s^{-1})			
	Radio	Infrarrojo	Optico	Rayos-X
Cuasar	$10^{44} - 10^{46}$	$10^{47} (>10^{47})$	$10^{46} - 10^{47}$	$10^{46} - 10^{48}$
BL Lacerta	$10^{42} - 10^{46}$	$10^{47} (>10^{44})$	10^{45}	$10^{42} - 10^{46}$
Radiogalaxia	$10^{42} - 10^{45}$	$10^{42} (>10^{43})$	10^{44}	10^{41}
Seyfert	$10^{40} - 10^{45}$	$10^{46} (<10^{43})$	10^{43}	$10^{42} - 10^{44}$
Espiral ⁽¹⁾	10^{38}	$10^{42} (<10^{43})$	10^{43}	10^{39}

(1) En el caso de las espirales son aquellas que muestran una leve actividad.

- C. Presentan una rápida variabilidad en la densidad del flujo de energía.
- D. La energía viene de una región muy compacta (~ 1 pc).
- E. Presentan un núcleo óptico muy brillante en comparación con el resto de la galaxia, cuando se puede hablar de ésta.
- F. En algunas se observan chorros (jets) en el radio y en el óptico, esto sólo cuando se encuentran cerca de nosotros.
- G. Espectro no estelar (no térmico) con líneas anchas y angostas de emisión a excepción de los objetos BL Lacerta, donde no se observan líneas emisión.

En general las características observacionales de estos objetos varían de uno a otro, por lo que se hará mención a las más representativas para cada una de las clases.

Cuasares. Los cuasares tienen la apariencia óptica de una estrella, de ahí su nombre de objeto cuasiestelar. Sus líneas espectrales muestran grandes corrimientos hacia el rojo, lo que hace suponer que son objetos muy lejanos; de hecho, los más lejanos que podemos ver. Estos presentan una luminosidad equivalente a cientos de galaxias. Su espectro muestra líneas de emisión permitidas anchas, que ópticamente se parecen a las fuentes que presentan emisión en radio, así como líneas de emisión prohibidas menos anchas.

Dependiendo de su emisión en el radio se les divide en dos categorías:

- a. **Radio ruidosos, "radio loud".** Estos presentan una fuerte emisión en radio continuo. Aproximadamente el 10% de los cuasares están en esta categoría.

¹temperatura. En el radio los excesos se relacionan con la radiación sincrotrón; en el ultravioleta y rayos X con Compton inverso.

- b. **Radio callados, "radio quiet".** Que también presentan emisión en radio continuo, pero de mucho menor intensidad que los radio ruidosos. El 90% de los cuasares están dentro de esta categoría.

Las propiedades generales de los cuasares son las siguientes (Burbidge 1967; Osterbrock 1990):

- i. Se observa variabilidad en el óptico³, excepto en las líneas de emisión angostas.
- ii. Se observa un exceso de flujo en el ultravioleta y son fuente de emisión en rayos X.
- iii. Su espectro óptico muestra anchas líneas de emisión permitidas, así como angostas líneas prohibidas de alta excitación⁴.
- iv. Se observan líneas anchas de emisión, como resultado de las grandes velocidades con las que se mueve el material ($10,000-40,000 \text{ km s}^{-1}$), así como líneas angostas de absorción producidas por el material que se encuentra entre la fuente y nosotros.
- v. Las líneas del espectro muestran un gran corrimiento hacia el rojo, que si son interpretadas como resultado de la expansión del universo; de la ley de Hubble (efecto Doppler) se encuentran magnitudes absolutas (en el visible) de $-30 \leq M \leq -23$, que son significativamente más brillantes que los cúmulos de galaxias ($-24 \leq M \leq -22$ Hazard, 1979).

Casi todos los cuasares radio ruidosos, a primera vista (en su espectro), parecen galaxias Seyfert con una alta luminosidad (ésto debido a la similitud de sus espectros). De la misma manera los cuasares radio callados se pueden relacionar con radiogalaxias (Begelman et al., 1984; Osterbrock, 1990).

Dentro del grupo de los cuasares hay un conjunto que son altamente variables en el óptico, denominados cuasares violentamente variables en el óptico (OVV), y parecen estar relacionadas con los objetos BL Lacerta; estos además presentan una gran polarización de la radiación del continuo.

Objetos BL Lacerta. Estas fuentes presentan casi todas las propiedades de los cuasares (Schmidt, 1968) a excepción de las líneas de absorción y emisión espectrales. Sus propiedades generales son (Stein, O'Dell y Strittmatter, 1976; Weiler y Johnston, 1980; Stepper, 1984):

- i. Su espectro no presenta líneas de emisión.

³En la astronomía se refiere como óptico a la parte visible de espectro.

⁴Cuando se habla de líneas de alta excitación, se refiere a transiciones de electrones libres, o de algún nivel cercano al continuo, a sus estados base, en átomos que se encuentran más de tres veces ionizados.

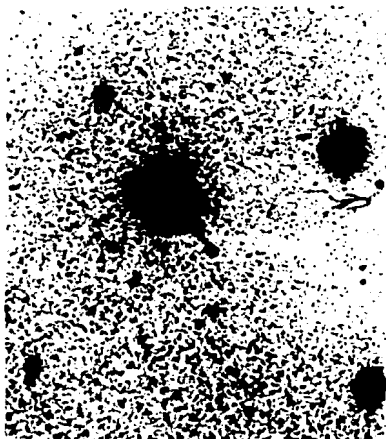


Fig. 1.1. Cuasar 3C 273. Aquí podemos observar su apariencia cuasiestelar.
(Foto: Observatorios de Hale).

- ii. Una rápida variabilidad del flujo en radio, infrarrojo y óptico.
- iii. Un continuo no térmico en el infrarrojo.
- iv. Se observa alta polarización en el óptico y una rápida variación de ésta, mostrando cambios significativos en la intensidad y dirección, cuando estas son conocidas.
- v. Se encuentra que algunos tienen una nebulosidad asociada (en su entorno), pero en general la no existencia de ésta es lo que los distingue de los cuasares; aunque puede ser sólo un efecto de la resolución con que se observa o de la orientación (Osterbrock 1990).
- vi. La energía emana de regiones compactas (~ 1 pc), coincidiendo con la parte central del objeto observado (esto se deduce a partir de los modelos).
- vii. En varios casos parecen encontrarse dentro de galaxias elípticas gigantes, pero los más brillantes y variables no parecen estar asociados con ninguna de ellas.
- viii. En algunos se observan líneas de absorción débiles.

Al igual que en los cuasares los objetos BL Lacerta también muestran la división de radio ruidosos y radio callados (Mc Ilwrath y Stannard, 1980). Por otro lado los objetos BL Lacerta comparten casi todas las propiedades de los cuasares OVV.

Radio Galaxias. Estas fuentes fueron a las primeras que se les llamó activas, pero a diferencia de los casos anteriores, en las cuales sólo se observa actividad en la parte central, éstas presentan una gran actividad en el radio, proveniente, generalmente, de dos regiones diametralmente opuestas, llamadas lóbulos, que se encuentran a gran distancia del núcleo (ver Figura 1.2).

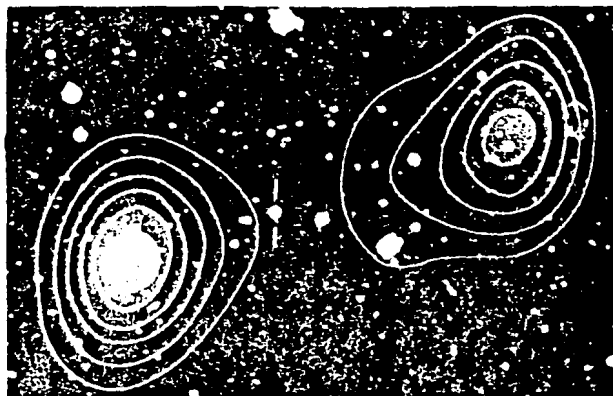


Fig. 1.2. Radiogalaxia Cygnus A. Los isocontornos de los lóbulos, en radio, se han dibujado sobre una fotografía en la que se ve la galaxia óptica al centro indicada con la flecha (Foto: Observatorios de Hale).

En general estos objetos se distinguen por (Brecher 1977; Osterbrock 1979, 1990):

- i. Los lóbulos generalmente se encuentran en galaxias elípticas.
- ii. Presentan continuo no térmico con líneas de emisión en el óptico, como las galaxias Seyfert.
- iii. Lóbulos bipolares con tamaños de 10 a 1000 kpc, en radio continuo. Generalmente se encuentran separados del centro por distancias que varían de kpc a Mpc.
- iv. El núcleo es una fuente compacta (esto se comentará más adelante) de radio.
- v. Líneas angostas, prohibidas y permitidas de alta excitación que no muestran variación.

Actualmente se habla de dos tipos de radio galaxias (Osterbrock, 1990):

- a. Radio galaxias con líneas anchas de emisión (BLRG); las cuales muestran anchas líneas de emisión prohibidas, con un ensanchamiento Doppler equivalente

a velocidades de 100 a 1,000 km s^{-1} ; y permitidas de HI, HeI y HeII (con velocidades de 5,000 a 30,000 km s^{-1}).

- b. Radio galaxias con líneas angostas de emisión (NLRG); muestran líneas angostas de emisión de alta y baja ionización con anchos equivalentes de 100 a 1,000 km s^{-1} .

Galaxias Seyfert. Estas fueron las primeras galaxias activas que se encontraron, (Seyfert, 1943).

Las propiedades generales de estas galaxias son (Osterbrock, 1979, 1990):

- i. Son galaxias espirales.
- ii. Tienen núcleos muy brillantes en comparación con el resto de la galaxia, abarcando éstos regiones muy compactas.
- iii. En el núcleo se observa una fuerte componente no estelar, azul o ultravioleta.
- iv. Muestran líneas de emisión anchas e intensas. En particular las del hidrógeno con anchos equivalentes de 500 a 4000 km s^{-1} .
- v. Muestran un exceso en el infrarrojo.
- vi. En algunos casos se observa variabilidad en la luminosidad, así como en el ancho de las líneas "anchas".
- vii. Líneas angostas, prohibidas y permitidas, de alta excitación.

El exceso ultravioleta de las galaxias Seyfert puede ser causado por estrellas jóvenes o algún mecanismo no térmico (Compton inverso). El infrarrojo puede ser debido a la emisión del polvo interestelar el cual está reemitiendo lo que absorbió del ultravioleta.

Dentro de las galaxias Seyfert existe una subdivisión que va de Seyfert 1 a Seyfert 2, basada, principalmente, en las intensidades relativas de las líneas de emisión observadas en su espectro, como de su emisión en el continuo.

Es posible que la línea que separa a cada tipo de objetos sea un tanto imprecisa, y de ahí la necesidad de hacer mejores observaciones para comprender el mecanismo que produce tales cantidades de energía y así tener un marco físico preciso, en el cual se pueda basar una mejor descripción de ellos.

Una forma alternativa de clasificar los AGN es con respecto al tamaño que presenta la fuente al ser observada en el radio; esto, evidentemente, depende de la resolución del instrumento utilizado, así como de la distancia al objeto observado. En esta clasificación se pueden distinguir dos clases de fuentes:

1. **Fuentes extendidas.** Tienen tamaños comparables o mayores a los que presentan las galaxias ópticas (varios segundos de arco). Las fuentes que se asocian a este tipo son; radio galaxias y galaxias Seyfert (Miley, 1980).
2. **Fuentes compactas.** Presentan tamaños angulares menores a un segundo de arco. Las fuentes que se asocian a este tipo son; los cuasares y los BL Lac, encontrándose también núcleos de algunas radio galaxias y galaxias Seyfert (Kellermann y Pauliny-Toth, 1981).

Es posible que la actividad en los núcleos de las galaxias no sólo se manifieste como en los AGN, si queremos pensar que tal actividad es un proceso continuo que, quizá, va en decremento según pasa el tiempo, entonces, es de esperar que existan indicios de tal actividad en los núcleos de las galaxias llamadas normales. Es posible que tal actividad también dependa de parámetros iniciales como la masa, el momento angular, la luminosidad, etc. Aunque es posible que la actividad disminuya con el tiempo, también quisiera hacer notar que algunos AGN rompen toda estructura a su alrededor, y aunque estos ya no esten del todo activos, los efectos de tal actividad debieron quedar claramente marcados en el medio circundante, claro que esto sólo ocurre en algunos casos (debido a la orientación u otro efecto).

1.2 NUCLEOS MEDIO ACTIVOS DE GALAXIAS.

En la década de los años 60, Walker hizo un estudio cinemático en el núcleo de las galaxias Seyfert, NGC1068 y NGC4151, usando espectros de alta dispersión, en los cuales encontró (Walker, 1968), que los perfiles de las líneas de emisión (los que muestran varios picos) pueden ser explicados por movimientos radiales de cuando menos 3 nubes ionizadas, que se acercan o alejan del núcleo con velocidades de 300 a 400 km s⁻¹. Años más tarde Ulrich (1973) encontró que la estructura de las líneas de emisión puede ser explicada por cuatro nubes que se están alejando del núcleo, dando de esta manera un mayor apoyo al modelo de nubes discretas en los núcleos de las galaxias Seyfert. Otro ejemplo de esto puede ser la galaxia Seyfert barrada NGC6764, que de observaciones espectroscópicas en varias posiciones sugiere que fuera del núcleo se mueven nubes discretas de gas ionizado con velocidades radiales y de rotación (Rubin *et al.*, 1975). Se han hecho varios trabajos en las regiones internas de las galaxias Seyfert y galaxias que muestran algún tipo de actividad, encontrándose la existencia de movimientos radiales, es decir, no circulares, que pueden ser hacia dentro o fuera del núcleo (ver Tabla I.II, tomada de Pişmiş, 1987).

Es en base a éste tipo de manifestaciones, de una actividad en los núcleos de galaxias que no están dentro del esquema de los AGN, que Pişmiş (1984, 1986) propone que a estas galaxias se les denomine como Núcleos Medioactivos de Galaxias (MAGN). Este grupo contendrá a todas las galaxias que manifiesten algún tipo de actividad menor que las del tipo Seyfert 2. Si consideramos que tanto las AGN como los MAGN son el resultado de la misma clase de fenómeno, y lo único que las diferencia es el grado de actividad con que se manifiesta, entonces, estudiando detalladamente las galaxias Seyfert (que dentro de los AGN son las que muestran una menor actividad) y de los MAGN (en las cuales es posible distinguir la cinemática, hasta cierto grado,

TABLA 1.11

Movimientos radiales en regiones nucleares.

Galaxia	Tipo	Dirección (Movimiento)	Referencia
M31	Sb	Afuera	1
NGC253	Sc	Afuera	2, 3
NGC1068	Sb (Seyfert)	Afuera	4
NGC4151	Sa (Seyfert)	Afuera	4, 5
NGC4736	Sb	Afuera	6
NGC2903	Sc	Adentro	7
NGC3351	SBb	Adentro	8
NGC3672	Sc	Adentro	9
NGC5383	SBb	Adentro	10
NGC6764	SBs3 (Seyfert)	Adentro	11

1. Rubin y Ford (1970); 2. Gottesman et al., (1976);

3. Ulrich (1978); 4. Walker (1968); 5. Ulrich (1973);

6. van de Kruit (1976); 7. Slinkin (1975);

8. Rubin et al., (1975b); 9. Rubin et al., (1977);

10. Duval (1977); 11. Rubin et al., (1975a).

y la morfología, lo cual es imposible en galaxias con una mayor actividad) tratar de tener una visión mas clara de los procesos que ocurren en los AGN. Es importante mencionar que las MAGN también son galaxias relativamente cercanas, lo cual hace posible el estudio detallado de su morfología y cinemática.

Dentro de los MAGN es posible, de alguna manera, tratar de hacer una división según el tipo de actividad observada. Quizá éste tipo de división sea con respecto a sus velocidades radiales y su morfología, o quizá en relación a la intensidad de sus campos magnéticos.

Existe también otro tipo de galaxias que de alguna u otra forma muestran cierta actividad en el núcleo o en las inmediaciones de éste. Estos tipos son; las galaxias Markarian (que muestran un exceso en la parte ultravioleta del continuo), galaxias que muestran intensos brotes estelares cerca del núcleo, y las llamadas LINER; que muestran emisión en líneas de baja ionización, las cuales se asocian a una actividad en el núcleo. Quizá exista una relación entre todas ellas, pero aún falta mucho por saber para entender tales fenómenos.

Es interesante mencionar que algunas de las galaxias Markarian son galaxias Seyfert, otras son Seyfert que muestran un intenso brote de formación estelar cerca del núcleo, o LINER, haciendo ver que la clasificación de las galaxias que muestran algún tipo de actividad sea poco precisa, dando como resultado una sobreclasificación que sólo lleva a una mayor confusión, en vez de un mejor entendimiento. Es también debido a esta sobreclasificación que Pizmiş (1986) propone el uso de MAGN para señalar que la actividad en los núcleos galácticos debe considerarse y estudiarse como una secuencia, desde las más activas hasta las de poca actividad (como nuestra Galaxia o la de Andrómeda) lo cual quizá facilite el entendimiento global del problema.

1.3 GALAXIAS CON ESPIRALES CENTRALES.

Dentro de los objetos de interés en los MAGN⁵ están las galaxias barradas del tipo SBa y SBb, como NGC 613, 1097, 1300, 4314, las cuales muestran un núcleo muy brillante que es el centro de una estrecha y débil barra, de la cual surge el patrón de los brazos espirales. Generalmente, es en este tipo de galaxias, donde aparece en la parte central una espiral pequeña de gran simetría, comenzando de regiones diametralmente opuestas del núcleo, extendiéndose a distancias de 1 a 2 kpc de este.

En general estas espirales o "anillos", como algunos autores las llaman, están delineadas por "nudos" sumamente brillantes (así son referidos en la literatura). Otros autores, Sersic, 1965, llaman a estas regiones "Hot Spots". Estos "nudos" o "Hot Spots" son en realidad regiones HII.

Otro ejemplo sobre este tipo de galaxias es NGC1512, clasificada como SB(r)a, en la cual, del estudio del campo de velocidades de la espiral central, se encuentra que existen velocidades tanto de rotación como de expansión (P.O.Lindblad y S.Jörsäter, 1981).

Es interesante mencionar los resultados obtenidos en observaciones en radio de alta resolución (Very Large Array; VLA), en emisión a 6 cm del continuo de las galaxias barradas NGC 613, 1300 y 4314 (García-Barreto y Pişmiş, 1985), en el que la espiral central muestra esencialmente, un continuo no térmico con un índice espectral de $\alpha = -0.9$ ($S_\nu \propto \nu^\alpha$)⁶, encontrándose que en NGC4314 la radiación no térmica está planamente polarizada. Es posible que la radiación no térmica esté relacionada con campos magnéticos, lo cual es consistente con el modelo propuesto por Pişmiş (1961, 1986), Pişmiş y Moreno (1984), sobre la colimación bipolar de flujos. En los capítulos III y IV se hará una discusión sobre este modelo.

Dentro del estudio de espirales centrales podemos decir que algunas muestran velocidades de expansión o contracción (ver Tabla I.II); de ahí se puede deducir la posible existencia de un cierto tipo de actividad en el núcleo, que en parte puede estar relacionada al tipo de actividad de las AGN, claro que a menor escala energética.

El estudio de las propiedades cinemáticas de las espirales centrales es reciente, debido al advenimiento de mejores técnicas observacionales, espectroscópicas e interferométricas, dando como resultado el mejor conocimiento de la actividad en tales regiones. Algunos resultados de la cinemática de espirales centrales, o "anillos" centrales, en galaxias son mencionados por Buta, (1986,1988). En el capítulo IV se hará referencia a estos resultados.

Quizá sea interesante mencionar que estas galaxias se usaron como un indicador

⁵ Quisiera hacer énfasis, que de acuerdo con Pişmiş, que no se pretende introducir una nueva clasificación, sólo las llamaremos así para distinguirlos de los AGN y de las "normales".

⁶ Recordemos que el índice espectral nos indica cual es la pendiente de la recta en el diagrama $\log S_\nu$ contra $\log \nu$, de donde es posible conocer la naturaleza de la radiación recibida. Se considera que la radiación tiene origen no térmico (para fuentes extragalácticas) cuando el índice $\alpha > 0.2 - 0.3$.

extragaláctico de la distancia (de Vaucouleurs 1956). Es importante mencionar que usando estos indicadores de distancia, Buta y de Vaucouleurs (1983b), calculan la constante de Hubble, obteniendo un valor cercano a 90. Esto es posible ya que estas espirales se forman dentro de la resonancia interna de Lindblad 1-2 Kpc (Schommer y Sullivan, 1976). Este modelo se discutirá en detalle en el capítulo IV.

Una de las galaxias que muestra claramente la espiral central, así como propiedades cinemáticas difíciles de explicar con los modelos convencionales (sólo rotación), además de una gran actividad en varias regiones del espectro es la galaxia Sb M 94 ó NGC4736, de la cual se han hecho observaciones en varias regiones del espectro, además de existir diferentes modelos que tratan de explicar las características observadas en ella. Esta galaxia es un ejemplo típico de las MAGN, ya que había sido clasificada como galaxia Seyfert, por su alta luminosidad, pero al clasificarla espectroscópicamente (cocientes de líneas) fue sacada de tal clasificación.

El siguiente capítulo se referirá a las observaciones hechas en NGC4736. Los capítulos III y IV se referirán al modelo propuesto y los anteriores.

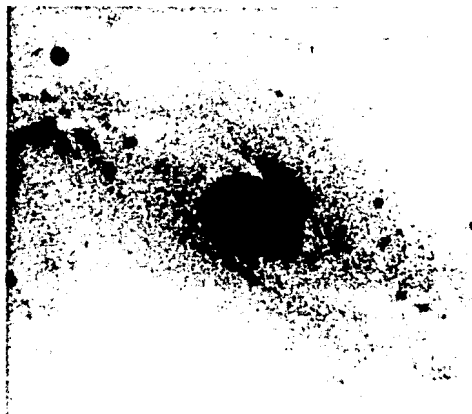


Fig. 1.3. Galaxia barrada NGC1097. Es en la parte central donde aparece la estructura espiral. Foto tomada de Lynds (1974).

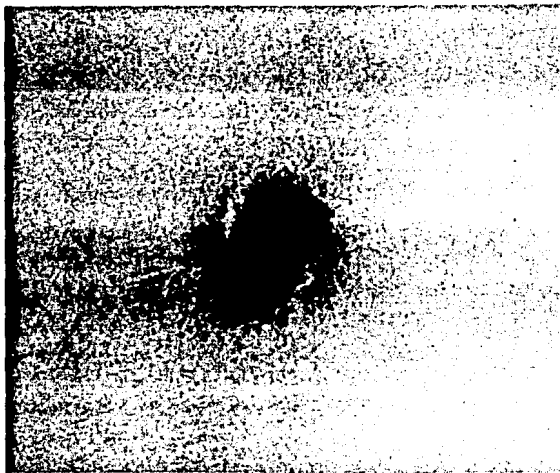


Fig. 1.4. Espiral central de la galaxia NGC4314, donde se puede apreciar la estructura espiral formada de "nudos". Foto tomada de Lynds (1974).

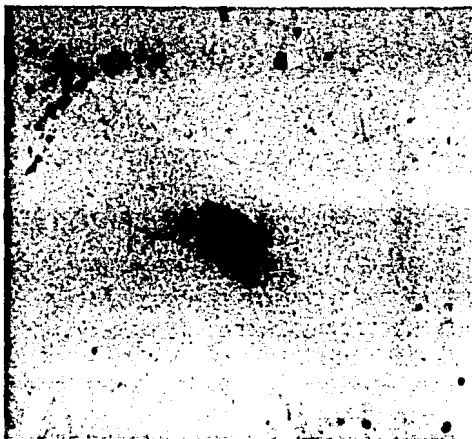


Fig. 1.5. Galaxia barrada NGC1512. En ella podemos apreciar la estructura de la espiral central, así como los nudos, que sin duda son regiones HII. También se distinguen partes de los brazos externos. Foto tomada de Lindblad, *et al.* (1982).

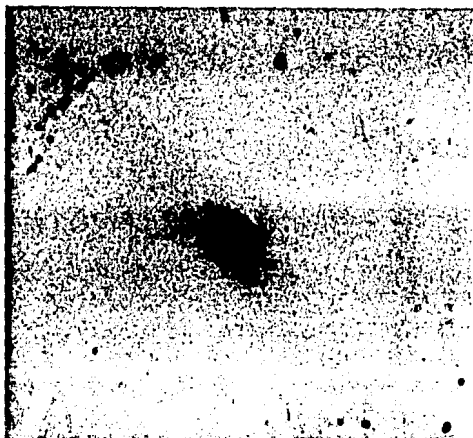


Fig. 1.5. Galaxia barrada NGC1512. En ella podemos apreciar la estructura de la espiral central, así como los nudos, que sin duda son regiones HII. También se distinguen partes de los brazos externos. Foto tomada de Lindblad, *et al.* (1982).

Capítulo II

OBSERVACIONES DE NGC4736

2.1 ALGO DE HISTORIA.

La primera observación de NGC4736 de la que se tiene registro, fue hecha por Mechian, el 22 de marzo de 1781, por lo que se le atribuye su descubrimiento. Fue catalogada por Messier el 27 del mismo mes como M 94.

M 94 o NGC4736 se encuentra en la constelación de *Canes Venatici*; sus coordenadas referidas en los diferentes sistemas se dan en la Tabla II.1.

TABLA II.1
Coordenadas de NGC4736.

(1950)		(2000)		l	b	SGL	SGB
α	δ	α	δ				
$12^h 48^m 53$	$+41^\circ 23' 6$	$12^h 44^m 73$	$+40^\circ 52' 2$	123^a	$76^{\circ} 01$	$76^{\circ} 2$	$9^{\circ} 5$

Datos obtenidos del Second Reference Catalog of Bright Galaxies, de Vaucouleurs et al., (1976).

Antes del advenimiento de la fotografía lo único que se podía hacer era una descripción visual de los objetos observados; he aquí algunas de éstas con respecto a NGC4736:¹

Messier: "Una nebulosa... con un centro brillante y una nubosidad difusa a su alrededor..."

H.Herschel: "Como una rueda irregular con un núcleo muy brillante de escasa resolución."

Smyth: "Parecida a la nebulosa de un cometa, como una luz blanca y pálida, con evidentes "síntomas" de ser un cúmulo compacto de estrellas pequeñas..."

Rosse: (18 de abril de 1855) "Un anillo oscuro rodea el núcleo, el anillo brillante es exterior a éste. No es perfectamente circular², además de estar como 'roto'. Es posible que el objeto sea una espiral. Tiene una nubosidad distante."

D' Arrest: "Un disco fino con un núcleo muy brillante, con forma de una planetaria."

Webb: "Pequeña nebulosa brillante como la de un cometa."

Del primer trabajo fotográfico que se tiene registro es el de Roberts. La foto se tomó en mayo de 1892, y de ella Roberts dice: "Un núcleo estelar y anillo. Me es imposible trazar una estructura espiral en la fotografía."

Una de las primeras fotos son las que aparecen en "Publications of the Lick Observatory" Vol.VIII de 1908. Estas fotos fueron tomadas el 4 de julio de 1902 (ver Figura 2.1). Es interesante mencionar que en ninguno de los trabajos revisados hasta ahora se ha utilizado o citado esta foto; sólo Danver (1942) la usa para determinar la inclinación (i) y la línea de nodos (ϕ_c), proyectando una espiral logarítmica hasta hacerla coincidir con los brazos.

En la mayoría de los trabajos que mencionaremos a continuación, los autores toman una foto de la galaxia directamente de la imagen del telescopio y en algunos casos con algún tipo de filtro. El tiempo de exposición depende de los detalles que se quieren resaltar dentro de la galaxia.

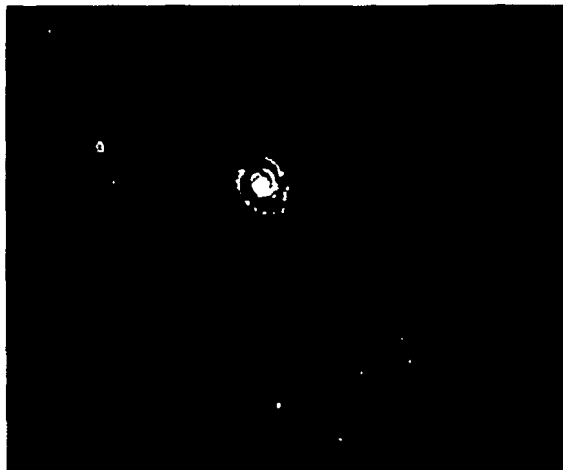
Algunas de las mejores fotos serán presentadas en la siguiente sección, en la que se intentará hacer una descripción de las diferentes regiones de esta galaxia.

2.2. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN ÓPTICA.

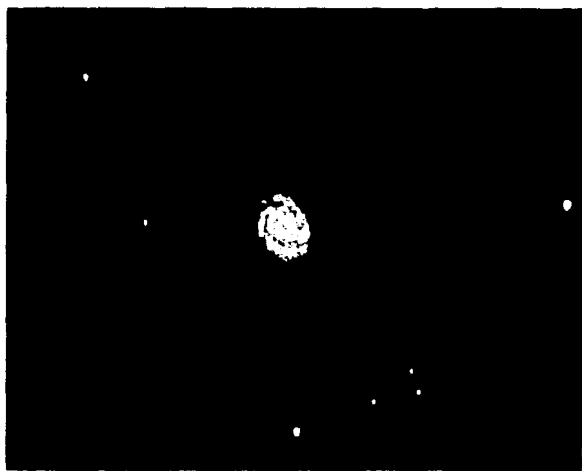
La clasificación de esta galaxia ha ido variando con el tiempo, debido a los avances en las técnicas observacionales y a los refinamientos dentro de las clasificaciones.

¹ Las citas fueron tomadas del "Messier's Nebulae and Star Clusters", Kennet Glyn Jones. Ed. Faber and Faber Limited, 1968.

² En el original es "annulus", yo lo traduzco como circular o anular, pero creo que da una mejor idea usar circular.



(a)



(b)

Fig. 2.1. Galaxia NGC4736. Fotos del 4 y 7 de julio de 1902. El tiempo de exposición de la foto (a) fue de 30 minutos y el de (b) de 3 horas. En ellas se puede ver claramente la estructura espiral. Estas fotos fueron tomadas con el telescopio Crossley del Observatorio de Lick. Foto tomada de "Publications of the Lick Observatory Vol.VIII", (1908).

Una de las primeras clasificaciones de esta galaxia aparece en el atlas de galaxias de Hubble (Sandage, 1961), como Sb, denotando así su naturaleza de espiral, con brazos más o menos desarrollados.

En la revisión que hizo de Vaucouleurs aparece como (R)SA(r)ab, donde la "R" denota la existencia de un anillo externo, la "S" que es una espiral, la "A" que no hay barra, la "r" la existencia de un "anillo" interno y "ab" que está entre temprana e intermedia³.

En la clasificación DDO de van den Bergh, se la refiere como espiral temprana, casi Sa, como peculiar y gigante.

En la de Morgan o de Yerkes, se clasifica con una alta concentración de luminosidad, una gran simetría rotacional y con un 10% de gas y polvo de su masa total. El 3 significa el grado de inclinación⁴ (ver tabla II.IIa).

Las diferentes clasificaciones de NGC4736 aparecen en la Tabla II.IIa.

La magnitud fotográfica y sus colores integrados se presentan en la Tabla II.IIb.

TABLA II.IIa
Clasificaciones de NGC4736.

HUBBLE ¹	Tipo Rev. ²	DDO ³	Yerkes ⁴	RSA ⁵
Sb	(R)SA(r)ab	Sb ⁻ p II	gDS3	(R)Sab(s)

1. Tipo de Hubble dado por Sandage, (1961).

2. Tipo de Hubble revisado por de Vaucouleurs et al., (1976).

3. Tipo dado por van den Bergh, (1960).

4. Tipo dado por Morgan, (1959).

5. Tipo y clase de luminosidad de Sandage y Tamman, (1981).

TABLA II.IIb
Magnitud fotográfica y colores integrados de NGC4736.

M_r	B_T	$(B-V)_T$	$(U-B)_T$
B.7	8.96 ± 0.05	0.75 ± 0.04	0.16 ± 0.04

M_r obtenida del Uppsala General Catalog of Galaxies, Nilson, (1973). Demas datos de Buta, (1988).

³ Recordemos que al decir temprana o intermedia no es con respecto al estado evolutivo, sólo se refiere al estado morfológico de los brazos.

⁴ Recordemos que los grados de inclinación van del 1 al 7, siendo el 1 de frente y 7 de canto.

La galaxia NGC4736 se describe en varios trabajos; todas estas descripciones dependen de la región que se observe. Aquí haciendo uso de las mejores imágenes se intentará dar una visión general de su morfología, haciendo mayor énfasis en la región donde se observa la espiral central.

Para hacer una descripción más clara, ésta se hará por zonas, denotando a cada una de ellas de la (a) a la (e), de adentro hacia fuera. Ver Figura 2.2.

a). Esta es la región más brillante de la galaxia ($r < 15''$). Es donde se encuentra el núcleo.

b). En esta región ($15'' < r < 50''$) aparece la espiral interna, que se encuentra delimitada por regiones H II; algunos autores llaman nudos a estas regiones. La región delimitada por estos nudos es llamada "anillo" de nudos o "anillo H α ", por su apariencia en la emisión de H α . Es en esta región donde centraremos nuestra atención.

c). Esta es la región más grande de la galaxia, en ella se observa un patrón espiral con muchos brazos, menos brillantes en comparación con el centro ($50'' < r < 200''$).

d). En esta región se observan los "huecos", se puede decir que diametralmente opuestos (Bosma et al. 1977).

e) Es la región donde se encuentra el débil anillo externo.

En la Figura 2.3 podemos ver la apariencia fotográfica de cada una de las regiones descritas anteriormente.

2.3. OBSERVACIONES EN EL ÓPTICO.

Además de las observaciones en las que se obtienen imágenes, por fotografía o con detectores electrónicos, del espectro se obtiene información sobre la cinemática (entre otras cosas) de la región que se quiere estudiar.

Dentro de este tipo de observaciones podemos decir que los primeros que hicieron un estudio de la curva de rotación⁵ para determinar la masa fueron E.M. Burbidge y G.R. Burbidge, (Burbidge y Burbidge, 1961 referidos en adelante como BB). Ellos encuentran que su curva de rotación tiene una gran dispersión en las velocidades, entre $30''$ y $60''$ del núcleo. De este hecho concluyen la existencia de movimientos no circulares, o que la línea de nodos está mal determinada, o que la galaxia tiene más de un plano de simetría. Hay que hacer notar que debido a la baja dispersión de su instrumento, las observaciones tienen un apreciable error.

⁵ La descripción e importancia de la curva de rotación se discute en el apéndice A-1.

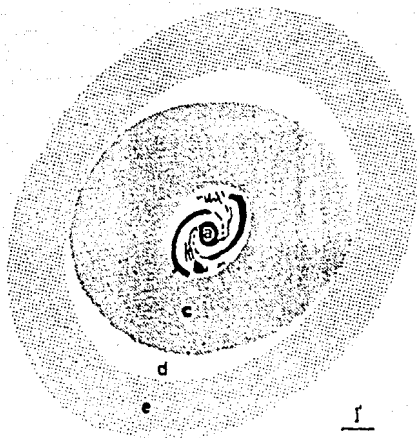


Fig. 2.2. Diagrama que muestra las distintas regiones de NGC4736. Cada una de ellas se describe en el texto. Tomada de Bosma *et al.*, (1977).

Otro de los primeros trabajos fue hecho por Duflot (1962) quien sugiere que hay una rápida rotación en regiones internas a $25''$ del núcleo.

Chincarini y Walker (Chincarini y Walker, 1967 referidos como CW), además de tomar espectros también encuentran, de varias fotos tomadas con diferentes tiempos de exposición, que la espiral central llega a regiones internas de $\sim 7''$, región de la cual Sandage (1961) dice que está vacía. Ellos encuentran que la curva de rotación tiene ciertas "bajadas" entre $25''$ y $35''$ (ver figura 2.4). La mejor calidad de sus observaciones hace que la curva que presentan sea más precisa que la de BB.

Van der Kruit (1974), en base al estudio que había realizado en el radio, (trabajo que mencionaremos en la siguiente sección) y conociendo los resultados de BB y CW, se da cuenta de la necesidad de tener mejores datos espectroscópicos de esta galaxia, para poder encontrar un modelo que explique las características observadas. Como gran parte de este trabajo está incluido en un segundo trabajo sobre NGC4736, (van der Kruit, 1976b), mejor se hará referencia a este.

En este segundo trabajo van der Kruit (1976b), hace el análisis del campo de velocidades del "anillo" interior (región *d*), a partir de los datos que obtiene (van der Kruit, 1976a), donde hace observaciones de 36 posiciones angulares (en el capítulo III describiremos con mayor detalle estas observaciones), con una resolución de velocidades de 8 km s^{-1} (1σ). Las posiciones donde fueron tomados los datos con respecto a la galaxia se muestran en la Figura 2.5. Cada línea negra indica la posición de la rendija

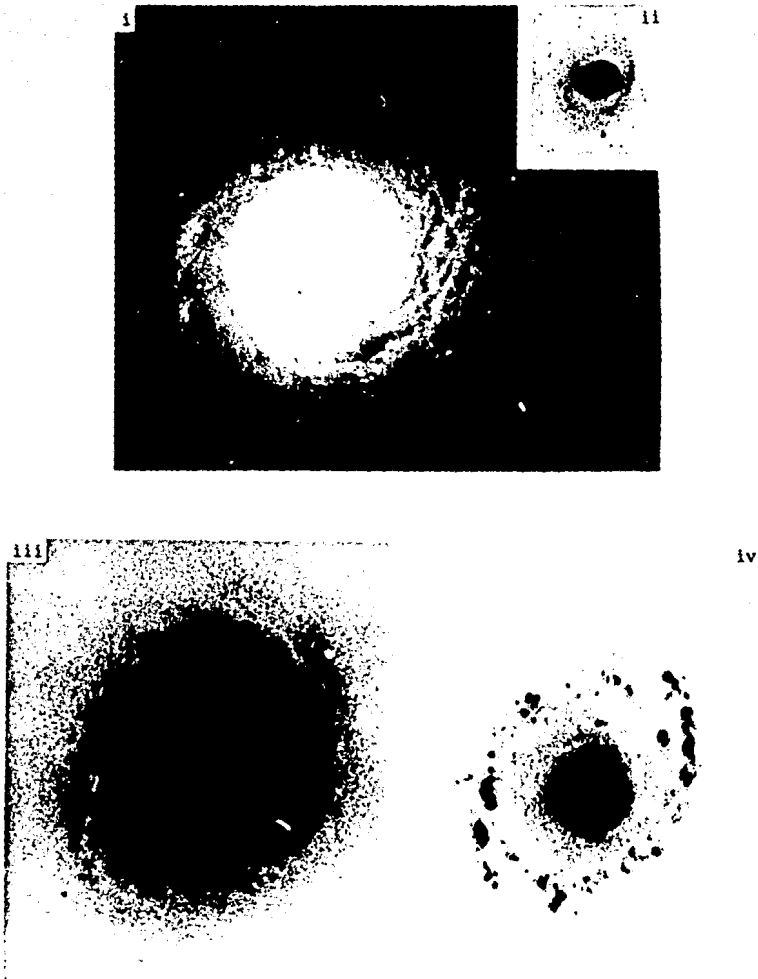


Fig. 2.3. Diferentes características morfológicas de NGC4736. En i podemos ver la estructura total de la espiral externa (zona c). En ii se muestra el anillo externo (zona e) y los huecos (zona d). En iii podemos distinguir la espiral central (zona b) y en iv el núcleo (zona a) y regiones III de la espiral (Fotos i,ii, Sandage 1961; Fotos iii y iv, Lynds 1974).

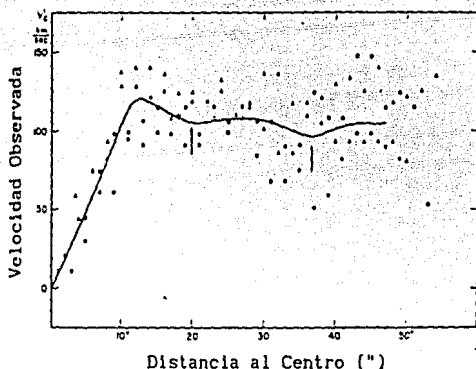


Fig. 2.4. Curva de rotación de NGC4736 de CW. En ella podemos ver las bajadas en 20" y 35" indicadas con la flecha. Tomada de CW.

donde fue observada la línea de emisión en H α . El diagrama de isovelocidades obtenido por van de Kruit, (1976b) se muestra en la Figura 2.6. Estas observaciones se hicieron con el espectrógrafo Cassegrain en el telescopio de 5 metros de Monte Palomar.⁶

Uno de los trabajos más recientes es el de Buta (1988), en el cual hace un estudio de la cinemática en varias galaxias con "anillo", en particular de NGC4736. Las observaciones fueron hechas por G. y A. de Vaucouleurs con el interferómetro Fabry-Perot Mark II del Observatorio de McDonald. El diagrama de isovelocidades obtenido a partir de las observaciones se muestra en la Figura 2.7. Hay que hacer notar que Buta compara sus resultados con los de van der Kruit (1976a), encontrando concordancia entre ellos.

La curva de rotación encontrada por Buta, (ver Figura 2.8) muestra entre 30" < r < 65" una clara desviación de movimientos puramente rotacionales.

De un estudio espectroscópico se encontró que el núcleo muestra cierta emisión en líneas de baja excitación (OIII, NII y SII), por lo que es clasificada como LINER (Heckman, et al., 1980). En este mismo estudio se encuentra que la cantidad de estrellas jóvenes en el núcleo es poca y por otro lado la presencia de tales líneas en su espectro parece ser una evidencia de actividad nuclear, lo cual se discutirá en el capítulo IV. Es importante comentar que esto es como una sobreclasificación, debido a lo comentado en §1.2.

2.4. OBSERVACIONES EN EL RADIO.

⁶ El hecho de mencionar con detalle como se tomaron estos datos es debido a que son los utilizados en el capítulo III con el modelo propuesto.



Fig. 2.5. Posición de los ángulos con respecto a la galaxia donde fue puesta la rendija. La foto se tomó en el foco primario del telescopio de 5m en Monte Palomar. Foto tomada de van der Kruit, (1976b).

Las primeras observaciones en radio de NGC4736 fueron hechas por van der Kruit (1971), en el continuo de 21-cm. Isocontornos de intensidad en el radio, se superpusieron en la foto de BB, la cual se muestra en la Figura 2.9. De estas observaciones se encuentra la existencia de tres fuentes de radio, una en el centro y las otras dos diametralmente opuestas a éste ($41^{\circ}.8$ este y $44^{\circ}.0$ oeste). De aquí van der Kruit deduce que es posible una expulsión de plasma por parte del núcleo formando un ángulo con el plano de la galaxia, de donde se deduce una posible actividad en el núcleo.

A. G. de Bruyn (1977), hace un estudio del continuo en radio a varias frecuencias (610, 1415 y 4995 MHz ó 49, 21 y 6cm), con una resolución de $56''$, $25''$ y $7''$, respectivamente. En cada una de las frecuencias se tiene:

6 cm. Encuentra que la región central, cerca de $5''$ (~ 170 pc con $D=7$ Mpc), tiene una luminosidad muy alta. Además se "observa" una de las dos fuentes, no nuclear, mencionadas van der Kruit (1971), ver Figura 2.10.

21 cm. Se observan las dos fuentes reportadas por van der Kruit (1971), pero éstas no son del todo colineales con el núcleo, además de mostrar que el mismo disco tiene una fuerte emisión. También encuentra que las regiones en las que aumenta la emisión en radio coinciden con el "anillo H α ". Ver Figura 2.11.

46 cm. Aquí sólo puede observar en regiones externas de la galaxia y no se observa ningún tipo de emisión del anillo externo o región (d).

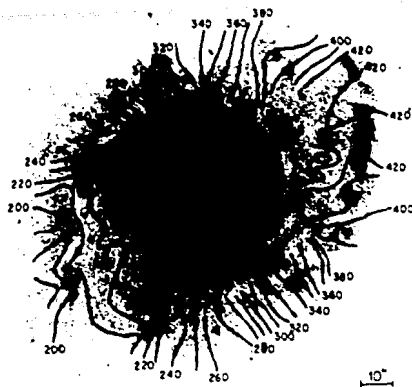


Fig. 2.6. Diagrama de isovelocidades con respecto al Sol superpuesto en la foto de la Fig. 2.5. Las líneas de contorno equivalen a 10 km s^{-1} . Foto tomada de van der Kruit, (1976b).

De estas observaciones, de Bruyn encuentra que los índices espectrales entre 6 y 21 cm, en la región con $r < 10''$, es -0.5 , y de -0.55 (con $S_\nu \propto \nu^\alpha$) entre 6 y 49 cm, de donde se deduce que la fuente tiene un espectro no térmico. El índice observado en las regiones este y oeste del disco, entre 49 y 21 cm, es de $\alpha = -1$ ($S_\nu \propto \nu^\alpha$), es decir, no térmico.

Bosma *et al.*, (1977), hacen un estudio del hidrógeno neutro; también estudian el continuo en 21 cm, encontrando básicamente lo mismo que encuentra de Bruyn (1977), pero además restan la componente del disco a la componente central encontrando que ésta es 30 veces más brillante que Sgr. A (que es el centro de nuestra galaxia), corroborando la naturaleza no térmica del espectro.

Del campo de velocidades con alta y baja resolución, ver Figuras 2.12 y 2.13, se puede ver que no hay grandes variaciones de la velocidad, y la única característica relevante es la no coincidencia del eje mayor óptico con el cinemático, lo cual es más notable en el eje menor (esto se deduce de las líneas de isovelocidades al no comportarse de manera simétrica respecto al la línea de los nodos). De donde se puede decir que hay una variación de la línea de los nodos con el radio, lo cual es causado por la existencia de velocidades no-circulares.

Bosma *et al.* (1977), hace una determinación preliminar de la línea de los nodos y del ángulo de inclinación (suponiendo sólo movimientos circulares) para encontrar la curva de rotación, y en base a esta hacen una aproximación de la masa total de la galaxia y del HI (ver tabla II.III).

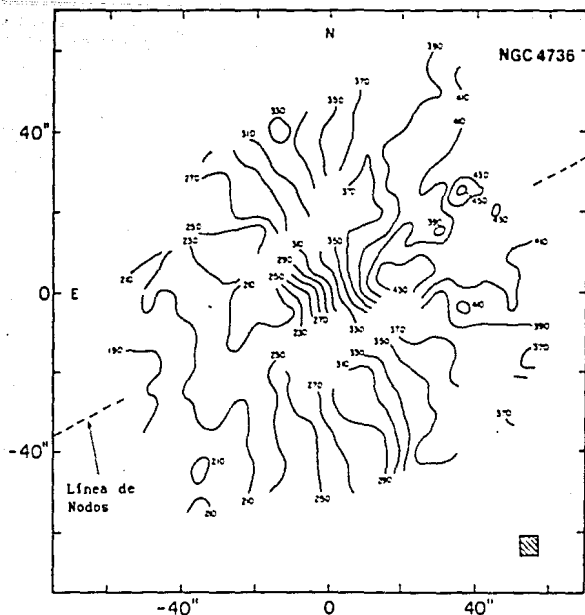


Fig.2. 7. Campo de velocidades de NGC4736. La Línea de nodos indicada, se obtiene haciendo un ajuste de tal manera que las velocidades observadas sean sólo de rotación. Las líneas de contorno están separadas cada 20 km s^{-1} . Tomada de Buta (1988).

Garman y Young (1986) de un estudio del CO (115.2712 GHz) encuentran grandes corrimientos en la velocidad cerca del centro, lo cual es una clara evidencia de los gradientes de velocidad que ocurren en estas regiones, además de encontrar la existencia de un anillo de CO a $22''$ del núcleo, ver Figura 2.14. Por otro lado calculan la masa y el centroide de velocidades, los valores que obtienen concuerdan con los de van der Kruit (1976b). En la tabla II.III se muestran los valores de la masa en HI y H_2 .

N.Duric y M.R.Dittmar (Duric y Dittmar, 1988), hicieron observaciones de alta resolución con el VLA, en 2, 6 y 21 cm, encontrando la existencia de 19 fuentes compactas de radio, además del núcleo.

De éstas observaciones Duric y Dittmar (1988), encuentran que el núcleo tiene un índice espectral, entre 2 y 20 cm, de -0.4 ± 0.03 ($S_\nu \propto \nu^\alpha$), verificándose de esta forma la naturaleza sincrotrónica de la radiación.

De las 19 fuentes que encontraron en los mapas de 6 y 20 cm, nueve de ellas

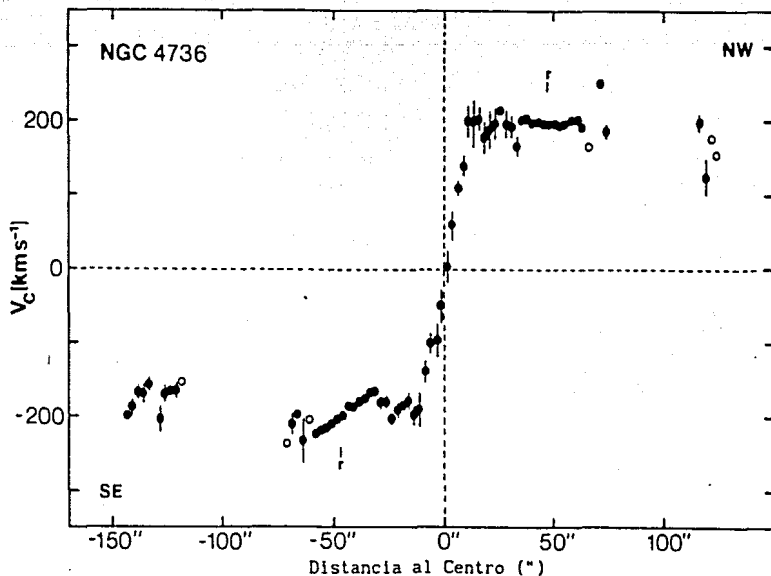


Fig.2.8. Curva de rotación de NGC4736 obtenida por Buta (1988). En ella se resaltan ciertas bajadas entre 30" y 40". Tomada de Buta (1988).

coinciden con las regiones HII de la espiral central, (ver Figura 2.15). Estas fuentes muestran un índice espectral mayor a -0.2 , relacionándose con radiación térmica.⁶ Las diez fuentes restantes muestran índices espectrales de $-0.8 \leq \alpha \leq -0.3$, relacionándose con radiación no térmica o sincrotrón, además de no coincidir con las regiones HII. En la Tabla II.IVa se dan los parámetros para las fuentes de radiación térmica, si se supone que son regiones de reciente formación estelar. En esta tabla se indica el número de estrellas O6 necesarias para producir la radiación observada, así como el tamaño angular de la región.

De igual manera, para las regiones que emiten radiación no térmica, si suponemos que la radiación es producida por supernovas recientes, se obtienen los parámetros de la Tabla II.IVb.

2.5. OBSERVACIONES EN EL INFRARROJO.

⁶ Recordemos que la manera de diferenciar una fuente térmica de una no térmica, es con respecto al índice espectral encontrado en el diagrama de flujo contra frecuencia.

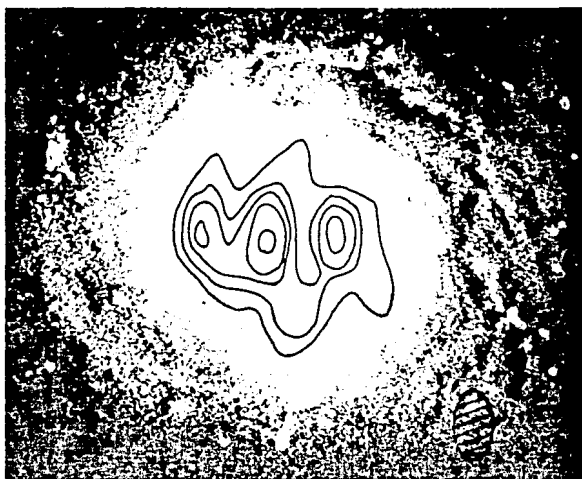


Fig. 2.9. Radio contornos y fotografía óptica de NGC4736. En ella podemos ver las regiones descritas por van der Kruit, 1971,(Foto de BB). La orientación es tal que el oeste queda a la izquierda, es decir, del lado opuesto a todas la demás imágenes presentadas en este trabajo. Foto tomada de van der Kruit (1971).

Observaciones espectroscópicas entre 2.0 y 2.5 mm hechas por Walker, Lebofsky y Rieke, (Walker *et al.* 1988), muestran que las bandas de CO son anormalmente intensas en esta galaxia, de este hecho deducen, después de hacer referencia a estudios relativos a evolución estelar y metalicidad, que tales bandas pueden ser producidas por estrellas gigantes rojas, relativamente jóvenes y masivas; esto, dicen, demuestra un intenso brote estelar en el pasado, además de que el continuo observado es producido por estrellas de tipo A.

2.6.OBSERVACIONES EN EL ULTRAVIOLETA.

De los datos del IUE, D.W.Weedman y K.L.Williams (Weedman y Williams, 1987) encuentran una curva de brillo superficial promedio en el ultravioleta y azul, la cual muestra que la región del núcleo tiene un alto brillo en comparación con el resto de la galaxia. (ver Figura 2.16).

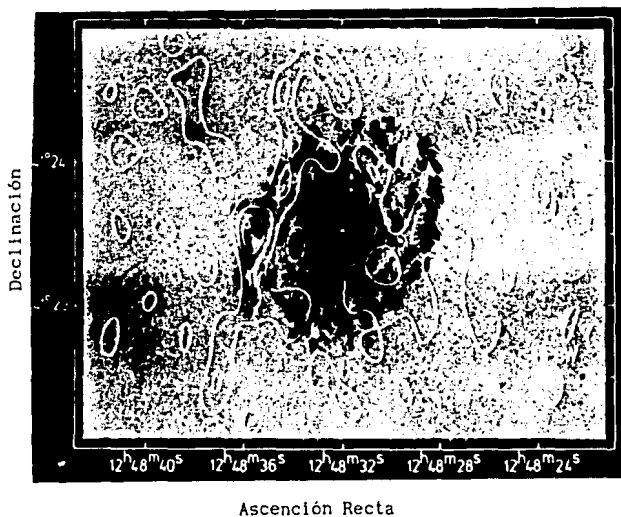
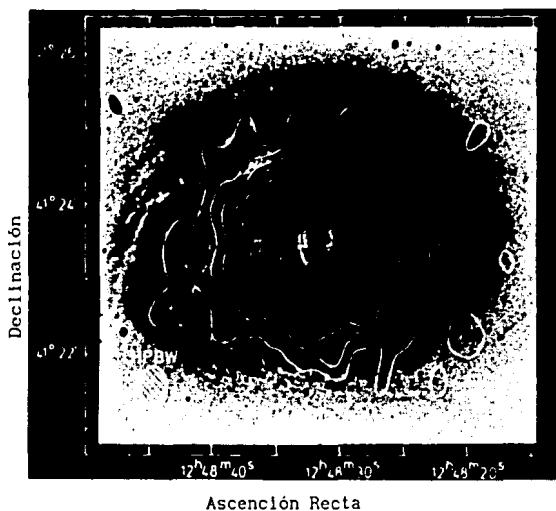


Fig. 2.10. Mapa de la emisión en 6cm superpuesta en una foto de H α . La posición del núcleo óptico se indica con el signo +. En la parte izquierda de la foto se observa una de las fuentes reportadas por van der Kruit (1971). Foto tomada de Bruyn (1977).



Ascensión Recta

Fig. 2.11. Mapa de emisión en 21cm sobrepuesto en una foto óptica. en ella podemos observar las regiones indicadas por van der Kruit y la gran emisión del disco alrededor de la región central. Foto tomada de Bruyn (1977).

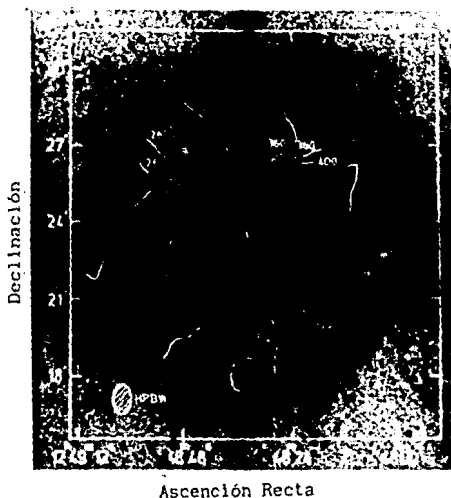


Fig. 2.12. Campo de velocidades de baja resolución sobrepuesta a una foto de la cámara Schmidt de Monte Palomar. Los intervalos de las líneas de contornos son de 20 km s^{-1} . Las líneas punteadas son interpolaciones. Foto tomada de Bosma et al., (1977).

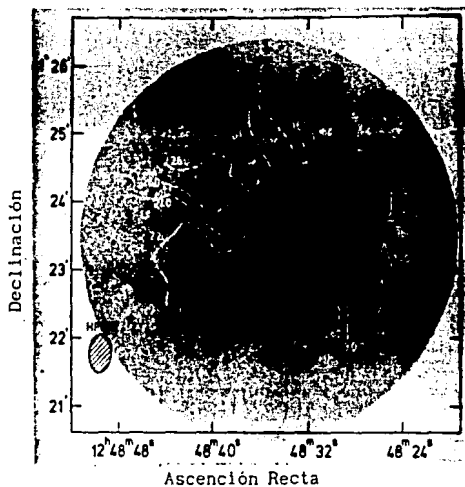


Fig. 2.13. Campo de velocidades en alta resolución superpuesta a una fotografía de Lynds, (1974). El intervalo entre las líneas de contorno es de 20 km s^{-1} . Las líneas punteadas son interpolaciones. Foto tomada de Bosma *et al.*, (1977).

TABLA II.III
Masas integradas de NGC4736 en M_{\odot} .

Radio (kpc)	M_{HI}^a	$M_{H_2}^b$	M_{din}
0.3	$1.3 \cdot 10^5$	$1.7 \cdot 10^7$	$1.4 \cdot 10^8$
0.4			$4.0 \cdot 10^9$
0.6			$5.3 \cdot 10^9$
0.7	$2.6 \cdot 10^6$		$6.2 \cdot 10^9$
0.9			$6.9 \cdot 10^9$
1.0	$1.2 \cdot 10^7$	$1.3 \cdot 10^8$	$7.7 \cdot 10^9$
1.2			$9.3 \cdot 10^9$
1.3			$1.1 \cdot 10^{10}$
1.4	$3.1 \cdot 10^7$		
1.5			$1.2 \cdot 10^{10}$
1.6			$1.5 \cdot 10^{10}$
1.7	$5.3 \cdot 10^7$		$1.6 \cdot 10^{10}$
1.9			$1.8 \cdot 10^{10}$
2.0		$2.4 \cdot 10^8$	$2.1 \cdot 10^{10}$
3.3		$< 2.8 \cdot 10^8$	
3.5	$1.8 \cdot 10^8$		$2.6 \cdot 10^{10}$
5.2	$2.8 \cdot 10^8$		$3.9 \cdot 10^{10}$
7.0	$3.8 \cdot 10^8$		$5.2 \cdot 10^{10}$

a) Datos de Bosma et al. (1977.)

b) Datos de Garman y Young. (1986).

c) Datos de CW hasta 2 kpc y de Bosma et al.
en adelante.

Tabla tomada de Garman y Young (1986).

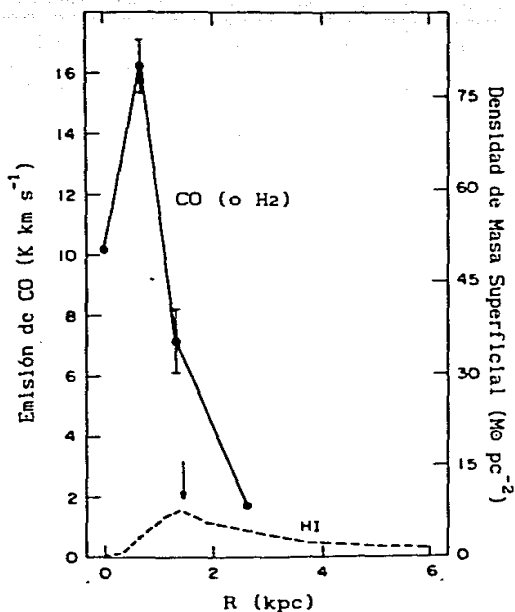


Fig. 2.14. Distribución radial de CO en NGC4736 (eje izquierdo) y densidad de masa superficial (eje derecho). Las líneas continuas representan el promedio de la emisión en CO y las barras indican la dispersión de la intensidad observada. La línea punteada representa la distribución de HI (Bosma *et al.*, 1977). La flecha indica la posición de la espiral. Tomada de Lowell y Young (1986).

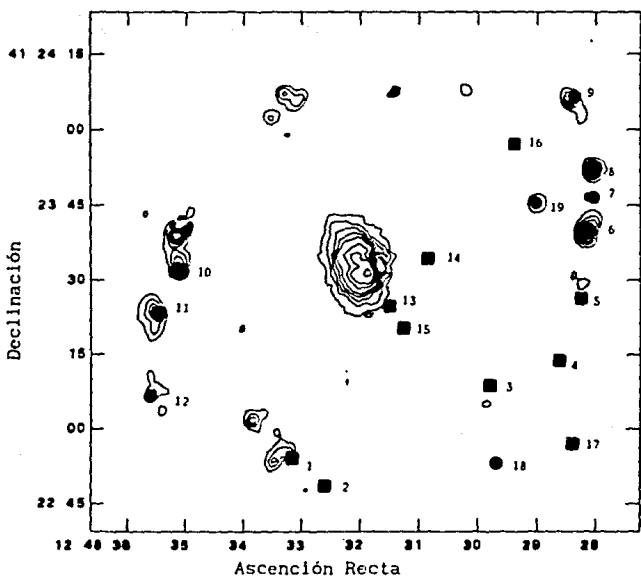


Fig. 2.15. Mapa de contornos relativos de intensidad en H α . En el se han sobrepuesto las 19 fuentes de radio dadas en la tabla II.IV. Los cuadros representan las fuentes de emisión sincrotrón y los círculos las fuentes térmicas. De aquí se puede ver que las fuentes de emisión no térmica no coinciden con las regiones HII, que son los máximos en el mapa de isocontornos. Tomada de Duric y Dittmar (1988).

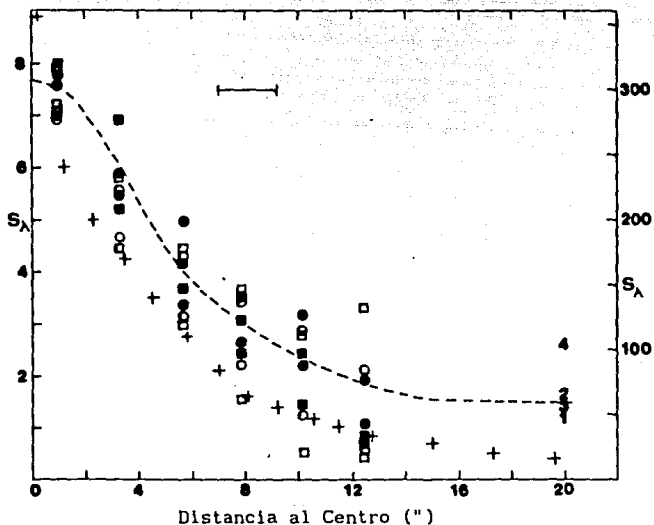


Fig. 2.16. Promedio del brillo superficial en el ultravioleta y azul de NGC4736. Los promedios en azul tomados de Boronson, 1981. La escala derecha en unidades de 10^{-17} ergs cm^{-2} s^{-1} \AA^{-1} arsec^{-2} para las cruces. Los otros símbolos son los datos del IUE. Tomada de Weedman y Williams (1987).

2.7. RESÚMEN.

De las observaciones citadas anteriormente podemos destacar las características más importantes de esta galaxia:

1. Existencia de movimientos no-circulares en la zona (b).
2. Existencia de regiones HII en los brazos espirales.
3. Existen estrellas tipo O y B, causantes de la ionización en la regiones HII.
4. La probable existencia de supernovas.
5. Fuerte emisión en radio (no térmica) proveniente del núcleo.
6. Fuerte emisión en el continuo (en varias frecuencias) proveniente del núcleo.
7. Núcleo con un fuerte brillo superficial.
8. Líneas de emisión de baja ionización en el espectro óptico del núcleo (LINER).
9. Posible expulsión de plasma por la parte central.

De todo lo anterior podemos decir que la actividad en la región central es evidente, lo cual parece dar un excelente marco para proponer un modelo que explique todas las características observadas y de esta manera acercarnos más a la comprensión de la actividad en los núcleos de galaxias. En el siguiente capítulo se presenta un modelo para esta galaxia.

Capítulo III

UN MODELO PARA NGC4736

3.1 PLANTEAMIENTO.

Como se vió en el capítulo anterior, una de las principales características observadas en NGC4736 es la existencia de la espiral central, que algunos autores llaman "anillo", introduciendo de esta manera la confusión sobre la verdadera morfología de esta galaxia. En este trabajo se adoptará como una espiral, ya que de las fotografías mostradas en §2.2 es clara su existencia y, por supuesto, es una propiedad importante que tiene una explicación natural en el modelo propuesto. En §3.5. se hará una discusión más detallada sobre la morfología.

Otra característica interesante es la existencia de movimientos no-circulares (es decir, radiales respecto al centro) en la región de la espiral central, que algunos autores reportan, (BB; CW; Duflot, 1962; van der Kruit, 1974, 1976b; Buta, 1988) pero de los cuales no se ha hecho un estudio detallado. Debido, fundamentalmente a estos dos tipos de características, y su posible explicación, se propone el siguiente modelo.

3.2. EL MODELO.

El modelo del que se parte fue propuesto y desarrollado por Pişmiş (1960,1986) y Pişmiş y Moreno (1984).

El modelo trata de explicar las características observadas, además de intentar dar un marco físico a los resultados encontrados, así como una continuidad dentro del

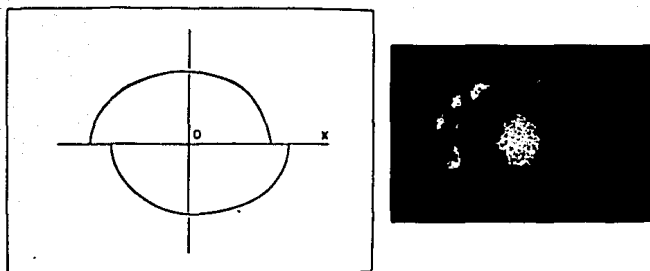


Fig. 3.1. Con un modelo puramente balístico es posible obtener el lugar geométrico que describe el material sujeto al campo gravitacional después de ser eyectado. Foto tomada en el Observatorio de San Pedro Mártir con el Telescopio de 2.1 m. Tomada de Pişmiş y Moreno (1984).

marco de las galaxias activas.

Si suponemos que en el pasado el núcleo de NGC4736 eyectó material, gas y polvo, en direcciones diametralmente opuestas, es de esperar que después de un cierto tiempo este material, moviéndose con una velocidad de rotación y otra de expansión, haya descrito una trayectoria como la propuesta por Pişmiş y Moreno, (1984). En el modelo se considera que en el momento de ser eyectado el material del núcleo, este se movía con una velocidad de rotación y de expansión, y de esta forma, Pişmiş y Moreno (1984), encuentran el lugar geométrico que describe la trayectoria de dicho material (ver Figura 3.1).

Si se supone la existencia de un campo magnético en la región nuclear (~ 1 pc) (o quizá un hoyo negro con un disco de acreción, aunque no tan activo como en los AGN), se puede explicar la colimación de tal eyección en dos direcciones diametralmente opuestas.

La eyección del material no fue continua, sino que se dió sólo en períodos, cesando después de un cierto tiempo; de lo contrario, se debería observar la unión entre los brazos y el núcleo, o una continuidad mayor entre ellos.

El material una vez eyectado se encuentra sujeto a un potencial gravitacional central, por lo que mantendrá, a grosso modo, una velocidad de rotación diferencial; como lo hace el material (estrellas, gas y polvo) en la mayoría de las galaxias. La velocidad radial¹ del material dependerá de la distancia de éste al núcleo, llegando el

¹ Hay que hacer notar que en lo sucesivo se referirá como velocidad radial a las velocidades no-circulares y no a las observadas ya que a estas se les llamará "velocidades observadas".

punto en que esta sea cero, apogaláctico (suponiendo que la velocidad con la que fue eyectado sea menor que la velocidad de escape). Una vez en este punto comenzara a caer nuevamente, es decir, se moverá con velocidades radiales negativas, que también son explicadas por Pigmis y Moreno (1984). De lo anterior deducimos que el material eyectado seguirá una órbita definida, aproximada a una elipse, aunque es posible que el material interestelar afecte tal movimiento.

Si suponemos que cierta cantidad de material fue eyectado durante aproximadamente el mismo intervalo de tiempo, y que en conjunto se mueve con las mismas velocidades radiales, y de rotación, entonces, en determinado momento, puede llegar a autogravitar, favoreciendo un escenario de formación estelar; creándose de esta manera las regiones HII (ver Figura 3.2).

Es de esperar que la velocidad radial en cada una de las regiones de formación estelar sea función de su distancia al núcleo, lo cual surgiera buscar tal dependencia haciendo un estudio detallado del campo de velocidades observado.

Si se encontrara que la velocidad radial del material varía según su distancia al centro, entonces, la idea de una actividad nuclear en el pasado explicaría la morfología observada en la región central de NGC4736. Es decir, la espiral central es una consecuencia natural de la actividad nuclear.

Para buscar la dependencia de la velocidad radial con la distancia al núcleo, se hará un análisis del campo de velocidades reportadas por van der Kruit (1976a), buscando, fundamentalmente, la disminución de la velocidad radial en las regiones de formación estelar, según su distancia al núcleo.

3.3. ANÁLISIS.

Las velocidades reportadas por van der Kruit (1976a), fueron observadas en las posiciones indicadas por las líneas negras de la Figura 3.2. Las velocidades se tomaron de las líneas de emisión de $H\alpha$, [NII] $\lambda\lambda$ 6548, 6583 y [SII] $\lambda\lambda$ 6716, 6731; típicas de las regiones HII. Las velocidades reportadas son el promedio de todas las velocidades observadas (estas velocidades son calculadas por el corrimiento Doppler de estas con respecto al sistema en reposo) referidas al Sol, aunque también se dan los valores de la velocidad encontrados para cada línea espectral. En algunos casos sólo se tiene la línea de $H\alpha$, ya que es la más intensa. Las velocidades utilizadas en este trabajo se dan en la Tabla BI del apéndice B.

Cada velocidad está referida con un Angulo Central (A.C.)³, que es el formado por la línea que va del centro de la galaxia al punto, considerado como cero la dirección

² Cuando se utiliza una λ , antes de un número estamos diciendo que éste está dado en anstronga. Cuando de tiene una $\lambda\lambda$, es que estamos hablando de un doblete.

³ En general dentro de la literatura se refiere como Angulo de Posición, pero por razones históricas y para evitar confusión, Pigmis sugiere usar Angulo Central.

TABLA III.1
Valores para la V_{sis} (km s^{-1}).

A. C.	0	15	30	45	60	80	85	90	95
	180	195	210	225	240	260	265	270	280
V_{sis}	307	303	315	308	299	305	318	303	296
A. C.	100	105	110	115	120	125	135	150	165
	285	290	295	300	305	315	315	330	345
V_{sis}	327	318	334	316	293	286	306	319	301

del polo norte celeste y aumentando en dirección opuesta a las manecillas del reloj, así como una distancia angular con respecto al centro de la galaxia, ρ , dada en segundos de arco. Gracias a que se conoce el A.C. y ρ , para cada velocidad observada, podemos conocer la posición correspondiente a ésta, lo que permite hacer el análisis deseado.

Lo primero que se quiere obtener de los valores observados son las velocidades proyectadas en el plano de la galaxia, V_p , dadas por⁴:

$$V_p = \frac{V_{obs} - V_{sis}}{\sin i} \quad (1)$$

Donde V_{sis} (velocidad sistémica) es la velocidad con la que se mueve el sistema en su conjunto (la velocidad con la que se aleja o se la galaxia como un todo), y V_{obs} es la velocidad observada. En éste trabajo se tomara $V_{sis} = 314 \text{ km s}^{-1}$, que es el valor usado por van de Kruit (1976b). Si hacemos un promedio de los datos en dos direcciones opuestas (esto para ver que tan bien esta el dato de van der Kruit, 1976b), tomando como velocidades positivas las de un lado y negativas las del otro, por ejemplo de $0^\circ \leq \text{A.C.} \leq 165^\circ$ positivas y $180^\circ \leq \text{A.C.} \leq 345^\circ$ negativas, se obtienen los resultados de la Tabla III.1.

El promedio, tomando los valores anteriores es de $V_{sis} = 308 \pm 12 \text{ km s}^{-1}$, que está en buena concordancia con el de van der Kruit (1976b).

Otro parámetro por conocer en (1) es el ángulo entre el plano del cielo y el plano de la galaxia, i . El valor más aceptado y usado (van der Kruit, 1976b; Buta 1988, etc.) es de $35^\circ \pm 5^\circ$, dado por Danver (1942), además de ser el referido en la mayoría de los catálogos (Second Reference Catalog of Bright Galaxies; Uppsala General Catalog of Galaxies).

Por otro lado si pensamos que la velocidad en el plano de la galaxia, V_p , puede descomponerse en dos componentes, una de rotación, V_{rot} , y otra radial, V_{rad} (donde no

⁴ Todas la fórmulas utilizadas para los cálculos se han deducido en el apéndice AII con todas las consideraciones geométricas del problema. Hay que hacer notar que no se tomaron de la literatura debido a un error encontrado en el libro de Mihalas y Binney (1981).

TABLA III.11
Valores de ϕ_0 .

Método	Valor	Fuente
fotométrico	139°	Kent, (1987).
cinemática óptica	115°	Sólo rotación.
	116°	Este trabajo.
cinemática de HI	122°	Bosma, et al. (1977).

se consideran los movimientos perpendiculares al plano de la galaxia), esto debido a la geometría del problema (ver apéndice AIII), se tiene:

$$V_p = V_{rot} \cos \theta + V_{rad} \sin \theta \quad (II)$$

Donde θ es el ángulo de posición en el plano de la galaxia dado por⁵:

$$\tan(A.C. - \phi_0) = \tan \theta \cos i \quad (III)$$

siendo ϕ_0 el ángulo entre la línea definida por la intersección del plano del cielo con el plano de la galaxia (llamada comúnmente línea de los nodos), con respecto a la línea que va del centro de la galaxia al polo norte celeste, en sentido opuesto a las manecillas del reloj.

El ángulo θ en el plano de la galaxia se mide a partir de la línea de los nodos en dirección contraria a las manecillas del reloj.

Dependiendo del valor de ϕ_0 se pueden obtener velocidades radiales o no, como veremos más adelante.

En NGC4736 la línea de los nodos varía según el método utilizado por los distintos autores. En la Tabla III.11 se muestran algunos valores de ϕ_0 para la región de la espiral central. Recordemos que como se mencionó en el capítulo anterior la línea de los nodos (ϕ_0), cambia según la región que consideremos; lo cual es una manifestación de los movimientos no-circulares.

Por otro lado, si conocemos la distancia angular del centro de la galaxia a cada uno de los puntos, entonces la distancia lineal a cada punto está dada por (ver apéndice AII):

$$R = R_{pc} (\cos^2 \phi + \sec^2 i \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \quad (IV)$$

⁵ Quisiera comentar que Mihalas y Binney (1981), utilizan la fórmula como $\tan \theta = \tan \phi \cos i$, siendo inconsistente con las mencionadas por otros autores y con la deducción hecha en el apéndice AII de este trabajo.

donde R_{pc} , es la distancia lineal a cada punto en el plano del cielo, dada por :

$$R_{pc} = \frac{\rho D}{206265} \quad (V)$$

y D es la distancia a la que se encuentra la galaxia. De los trabajos consultados sobre la distancia a NGC4736 se obtienen los valores de 10, 7, 6, 5 y 4 Mpc⁶. En éste trabajo usaremos el valor promedio de 6 Mpc, aunque su valor no es tan importante, ya que los resultados cinemáticos buscados no dependen de forma directa de este parámetro.

Como tenemos un sistema con 361 ecuaciones como (II), en el cual conocemos V_p (de la fórmula (I), que sólo depende de la velocidad observada, la velocidad sistémica y del ángulo i ; los cuales conocemos), y θ (que conocemos de (III), que sólo depende de ϕ_0 , el A.C. e i ; que son conocidos), y lo que nos interesa conocer es V_{rot} y V_{rad} , entonces, resolviendo (II) por mínimos cuadrados, tenemos (técnica tomada de Bajpai, et al., 1977):

$$V_{rot} \cos \theta + V_{rad} \sin \theta - V_p = 0$$

$$S = \sum_{i=1}^n (V_{rot} \cos \theta_i + V_{rad} \sin \theta_i - V_{p_i})^2 = 0$$

$$\frac{dS}{dV_{rad}} = \sum_{i=1}^n (V_{rot} \cos \theta_i + V_{rad} \sin \theta_i - V_{p_i}) \sin \theta_i = 0$$

$$\frac{dS}{dV_{rot}} = \sum_{i=1}^n (V_{rot} \cos \theta_i + V_{rad} \sin \theta_i - V_{p_i}) \cos \theta_i = 0.$$

Si denotamos $\sum_{i=1}^n (a_i) = [a]$ tenemos :

$$V_{rot} [\cos \theta \sin \theta] + V_{rad} [\sin^2 \theta] - [V_p \sin \theta] = 0 \quad (VIa)$$

$$V_{rot} [\cos^2 \theta] + V_{rad} [\cos \theta \sin \theta] - [V_p \cos \theta] = 0 \quad (VIb)$$

Obtenemos dos ecuaciones con dos incógnitas; resolviendo el sistema (VI) tenemos :

⁶ Los diferentes valores son reportados por: 10Mpc BB; 7Mpc de Bruya, (1977); 6Mpc van der Kruit, (1976b); Heckman et al., (1980) y 4Mpc Buta, (1988).

TABLA III.III

Variación de V_{rot} y V_{rad} (en km s^{-1}) con ϕ_0 .

ϕ_0	113°	114°	116°	118°	120°	122°
V_{rot}	-195	-196	-196	-196	-196	-196
V_{rad}	-11	-8	-1	5	12	18

ϕ_0	123°	124°	125°	127°	128°	130°
V_{rot}	-195	-195	-195	-194	-193	-192
V_{rad}	21	25	28	34	37	44

$$V_{rot} = \frac{[\cos \theta \sin \theta][V_p \sin \theta] - [\sin^2 \theta][V_p \cos \theta]}{[\cos \theta \sin \theta]^2 - [\sin^2 \theta][\cos^2 \theta]}$$

$$V_{rad} = \frac{[\cos \theta \sin \theta][V_p \cos \theta] - [\cos^2 \theta][V_p \sin \theta]}{[\cos \theta \sin \theta]^2 - [\sin^2 \theta][\cos^2 \theta]}$$

que dan los valores buscados.

Como es evidente, que el hacer a mano tales cálculos tomaría mucho tiempo, se recurrió a la ayuda de una computadora PC. Y usando el lenguaje de programación Turbo Pascal 5.0 se diseñaron las rutinas para hacer los cálculos. Todas las rutinas utilizadas se muestran en el apéndice C.

Haciendo algunos con todos los datos, variando ϕ_0 de 113° a 127° se encuentran los valores de V_{rot} y V_{rad} presentados en la Tabla III.III.

De la Tabla III.III, podemos ver que para valores de ϕ_0 entre 116° y 118° , la velocidad radial pasa por cero, mientras que la velocidad de rotación tiene valores altos que disminuyen para valores mayores a 120° . De aquí podemos deducir que los valores de 115° y 116° de la Tabla III.II se obtienen tomando en cuenta sólo movimientos circulares, esto haciendo aproximaciones a los modelos. Los otros valores de ϕ_0 , dados en la Tabla III.II son resultados obtenidos directamente de las observaciones.

De lo anterior se propone utilizar, en este trabajo, los valores de 123° y 127° , para ϕ_0 , que son los más parecidos a los valores estimados por el método fotométrico y el de la cinemática del hidrógeno neutro (ver Tabla III.II). La selección de estos valores es hecha, principalmente, para tratar de detectar alguna variación en las velocidades radiales, además parece que el valor real de ϕ_0 queda entre estos dos valores. También es claro que tales valores no esta cerca de aquellos que dan sólo velocidades circulares.

Entonces se procederá de dos formas distintas para tratar de encontrar la variación de la velocidad radial con la distancia:

- A. La primera es utilizando mínimos cuadrados para conocer la curva de rotación, y después, de (II) calcular las velocidades radiales. En esta parte se tienen dos formas de calcular la curva de rotación; la primera es utilizando todos los datos por anillos, respecto al centro, y la segunda es obtenerla a partir de los datos cercanos a la línea de los nodos.
- B. La segunda es tomando todos los puntos que se encuentren en cada región, las que mencionaremos a continuación, y de mínimos cuadrados calcular la velocidad de rotación y radial para cada una de estas.

Para facilitar el análisis se propone usar la siguiente nomenclatura; las posiciones de los ángulos centrales las denotaremos $a, b, \dots, a1, a2, \dots, a10$, empezando en la dirección del polo norte celeste (ver Figura 3.2). Se propone hacer una separación de los brazos indicada en la Figura 3.2, y denotarlos como brazo A o B, siendo el brazo A el que se encuentra en la parte norte.

Es claro que la separación en dos brazos se hace suponiendo la existencia de estos, además de poder hacer la separación de ellos en ciertas regiones en las cuales parecen superponerse por efecto de la proyección. En general estos se pueden distinguir, y por lo tanto, se puede hablar de ellos.

Otra de las suposiciones que se han hecho es que los nudos o regiones III se están moviendo como un sistema, denotándose, según el brazo en que se encuentran, con una A o una B, y un número, que aumenta según se aleja del centro (ver Figura 3.2). Es claro que en algunas regiones es difícil apreciar su extensión y de ahí la ambigüedad de incluir ciertos puntos dentro de ciertas regiones.

En la Tabla III.IV se dan las posiciones que abarcan cada una de las regiones consideradas, así como sus distancias aproximadas, superior e inferior, respecto al núcleo.

TABLA III.IV
Tamaños de las regiones consideradas.

Brazo A			Brazo B		
Región	Posiciones	Intervalo (kpc)	Región	Posiciones	Intervalo (kpc)
A1	a1 a2 a3	0-1.25	B1	k l m n o	0-1.3
	a4 a5		B2	p q r s	0-2.0
A2	a9 a10	0-2.0	B3	u v w	0-2.0
A3	b c	0-2.0	B4	x y z a1	0-2.0
A4	d e	1.0-2.0	B5	a2 a3 a4	1.2-2.0
A5	f g h i	1.1-2.0	B6	a5 a6	1.3-2.0
A6	j k l	1.2-2.0	B7	a7 a8	1.4-2.0
A7	m n o p	1.3-2.0			

El límite inferior en algunos casos es porque se toma así en el programa, pero en realidad los datos son < 0.7 kpc.

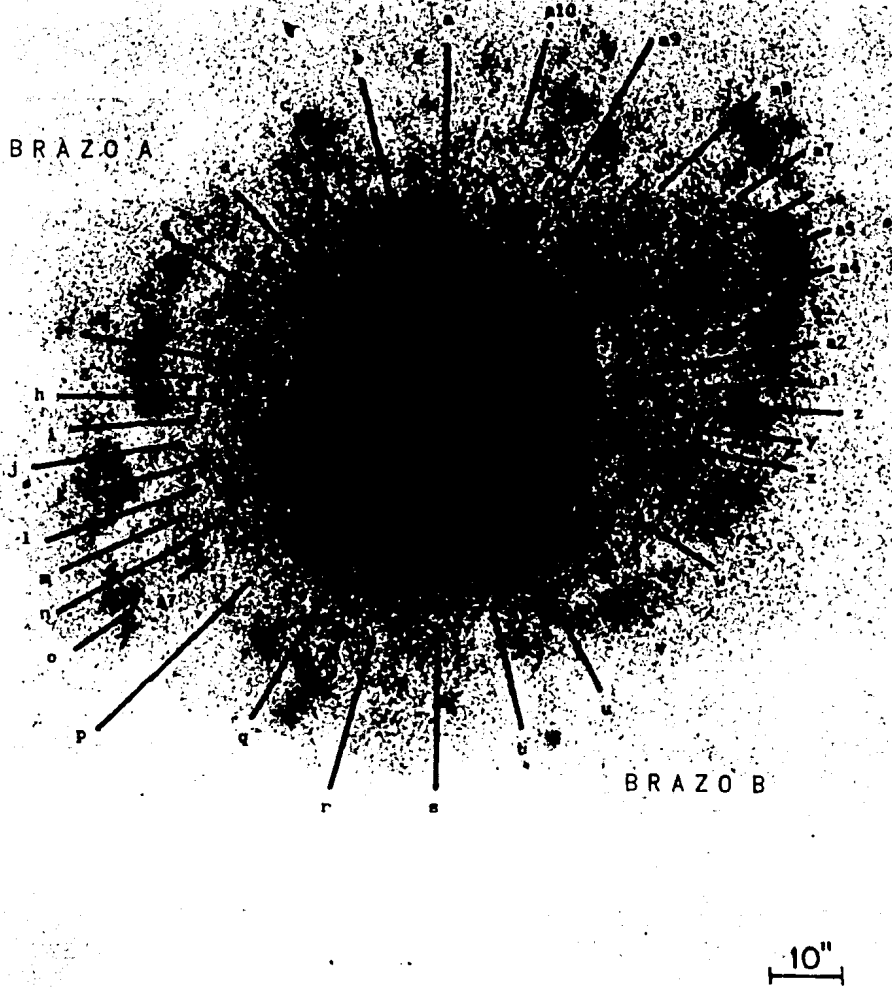


Fig. 3.2. Galaxia NGC4736. En ella se indica la nomenclatura usada en este trabajo.

TABLA III.V

Velocidades Radiales y de Rotación. Por Anillos

Intervalo (kpc)	$\phi_0 = 123$			$\phi_0 = 127$		
	Vrot (km s ⁻¹)	Vrad (km s ⁻¹)	# ¹	Vrot (km s ⁻¹)	Vrad (km s ⁻¹)	# ¹
0.6 - 0.7	-7 *	360	1	-155 *	130	1
0.7 - 0.8	-191	94	6	-183	109	6
0.8 - 0.9	-185	29	7	-183	41	7
0.9 - 1.0	-186	28	24	-185	40	24
1.0 - 1.1	-189	22	45	-187	33	45
1.1 - 1.2	-189	20	49	-189	32	49
1.2 - 1.3	-191	22	55	-189	33	55
1.3 - 1.4	-199	23	54	-195	37	54
1.4 - 1.5	-200	20	60	-200	34	60
1.5 - 1.6	-200	10	31	-197	25	31
1.6 - 1.7	-204	23	19	-198	31	19
1.7 - 1.8	-195	12	8	-211	42	8
1.8 - 1.9	-2320 *	8184 *	2	-3088 *	-19110 *	2

1. Número de puntos que cayeron dentro del intervalo.

* Estos valores no son tomados en cuenta, para los cálculos tomamos el anterior o el siguiente, según el caso.

3.3.1. VELOCIDAD RADIAL CONOCIENDO LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.

Para cada punto conocemos su distancia al centro, fórmulas IV y V. Entonces podemos conocer cuáles son las velocidades radiales y de rotación a diferentes distancias del centro, es decir, por anillos, por lo que éste será llamado método de los anillos. Aunque realmente lo que nos interesa conocer es la velocidad de rotación a diferentes distancias del núcleo.

Tomando anillos con un ancho de 100 pc obtenemos los resultados de la Tabla III.V.

Por otro lado para conocer las velocidades de rotación se hace uso de las velocidades observadas cerca de la línea de nodos (A.C.; 120-300, 125-305, 135-315), ya que es ahí donde la información sobre la velocidad de rotación es mayor. Tomando intervalos de 100 pc, obtenemos de mínimos cuadrados los valores presentados en la Tabla III.VI. Para distinguir llamaremos a éste: "método de la línea de nodos" (LN).

Las curvas de rotación que se obtienen como resultado de los dos métodos anteriores se muestran en la Figura 3.3.

TABLA III.VI
Velocidades de rotación y radiales en L.N.

Intervalo (kpc)	$\phi_0 = 123$			$\phi_0 = 127$		
	Vrot (km s ⁻¹)	Vrad (km s ⁻¹)	# ¹	Vrot (km s ⁻¹)	Vrad (km s ⁻¹)	# ¹
0.9 - 1.0	-213 *	-494	1	-72 *	1708	1
1.0 - 1.1	-180	38	8	-176	53	8
1.1 - 1.2	-178	2	7	-178	17	7
1.2 - 1.3	-182	9	11	-181	22	9
1.3 - 1.4	-185	-1	7	-184	14	9
1.4 - 1.5	-191	-13	12	-191	-6	10
1.5 - 1.6	-196	9	7	-195	21	9
1.6 - 1.7	-204	19	8	-196	18	7
1.7 - 1.8	-195	-33	3	-210	138	4

1. Número de puntos que cayeron dentro del intervalo.

* Estos valores no son tomados en cuenta, para los cálculos, tomando el anterior o el siguiente, según el caso.

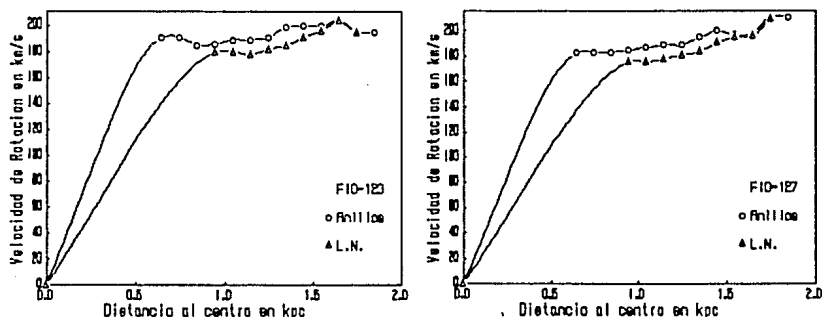


Fig. 3.3. Curvas de Rotación. La gráfica de la izquierda es para $\phi_0 = 123^\circ$ y la derecha es para $\phi_0 = 127^\circ$. En ambas aparece por arriba la curva obtenida con el método de los Anillos.

De la Tabla III.VI podemos apreciar que sólo tenemos valores dentro de los intervalos de 0.9 a 1.8 kpc (aunque para $\phi_0 = 127^\circ$ sólo va de 1 a 1.8 kpc), por lo que en los cálculos posteriores se usarán, fuera de los intervalos conocidos, los valores obtenidos por el método de los anillos. En esta Tabla también se puede ver que la velocidad radial varía drásticamente de un intervalo a otro. Esto se debe a que en las posiciones donde se está calculando es poca la información que se puede obtener para tal velocidad, por lo cual sólo se tomarán en cuenta los valores de V_{rot} .

En la Figura 3.4 podemos ver las curvas de velocidad contra A.C. para ciertos intervalos calculadas con los valores obtenidos en la Tabla V (línea continua), en esta gráfica se han puesto los valores observados (signos de +). De estas nos podemos dar una idea de la dispersión de los valores dados en la Tabla V. De esta figura vemos que la dispersión es a lo más de 20 km s^{-1} .

Haciendo una comparación de las curvas de rotación obtenidas de estos dos métodos, notamos que la curva de rotación calculada por anillos da valores mayores que los de la línea de nodos (ver gráficas de Figura 3.3).

twelwit A priori se esperaría lo contrario, ya que supuestamente es en la línea de los nodos donde esperamos obtener la mayor información sobre la velocidad de rotación. En consecuencia, se puede decir que hay otras posiciones donde la velocidad de rotación es mayor que en los sitios calculados (línea de nodos). En otras palabras, la velocidad observada en posiciones distintas a la línea de los nodos tiene una gran contribución a la velocidad de rotación, aunque es posible que existan movimientos en la dirección perpendicular al plano, lo que da este aparente aumento. De lo anterior podemos decir que la velocidad de rotación tomada de la línea de los nodos no siempre es una buena representación de ésta. Aún más, haciendo un promedio de las velocidades alrededor de la línea de los nodos para ambos casos ($\phi_0 = 123^\circ$ y 127°), no se obtiene gran diferencia de los resultados anteriores, aunque es posible que en posiciones lejanas a la línea de los nodos existan componentes de velocidad en otras direcciones que no han sido consideradas, las cuales están provocando el efecto observado.

Aunque lo encontrado es sin lugar a dudas algo que deba de discutirse y analizarse con un mayor detalle, en este trabajo no se abundará en el punto quedando como tema de estudio para un trabajo futuro.

De lo anterior, usando las velocidades de rotación calculadas por el método de los anillos y de L.N., y usando (II), en la cual conocemos la V_p , V_{rot} y θ , con 123° y 127° para ϕ_0 , se obtienen los valores de la velocidad radial en cada punto, dados en las Tablas BII y BIII del apéndice B, señalando en que brazo se consideró a los puntos.

Algo que hay que hacer notar es que en algunos A.C. existe una división de los datos, es decir, si la suposición de dos brazos es correcta, entonces es de esperar que las velocidades radiales de uno a otro muestren una variación, y de hecho, éste cambio se nota en diferentes puntos de algunos A.C., coincidiendo, en la mayoría de los casos, con la división hecha anteriormente; ver Tablas del apéndice B. Aún más, esta división en los datos se nota desde la Tabla BI.

De las V_{rad} de las Tablas BII y BIII, se calcula el promedio para cada posición, dependiendo del brazo en el que se consideren, así como el de cada región, ver Tablas III.VII, III.VIII, III.IX y III.X.

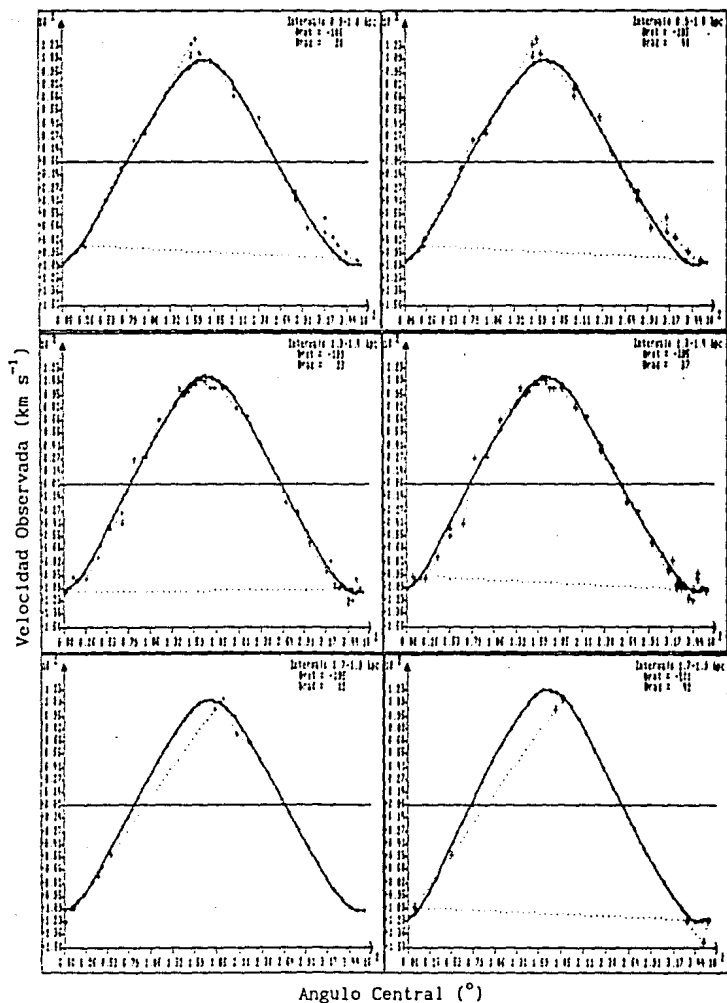


Fig. 3.4. Ajuste de los datos al modelo de velocidad de rotación más expansión (línea continua), obtenidos del método de los anillos, para distintos intervalos. Los datos son indicados con un signo (+). En las gráficas podemos apreciar cual es la dispersión de los datos respecto al ajuste. Las gráficas de la izquierda son para $\phi_0 = 125^\circ$ y las de la derecha para $\phi_0 = 127^\circ$.

TABLA III.VII
 Velocidades Radiales en el Brazo A. Por L.N.

Región	Posición	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$
		$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)
A1	a1	81	88		
	a2	82	108		
	a3	154	145		
	a4	81	81	97	94
	a5	105	86	101**	101**
	a6	80	55		
-	a7	-	-	-	-
	a8	-35	-36	-	-
A2	a9	50	61		
	a10	13	26	32	44
-	a	19	31	-	-
A3	b	22	33		
	c	26	37	24	35
A4	d	19	28		
	e	36	47	28	38
A5	f	18	30		
	g	31	42		
	h	51	61	37	47
	i	47	54		
A6	j	59	63		
	k	103	98	80	79
	l	78	77		
A7	m	-80	38		
	n	371	176		
	o	-99	71	145**	107**
	p	13	72		

En la primer columna se tiene el nombre de la región. En segunda la posición considerada. En la tercer y cuarta columna las velocidades promedio de cada posición, denotadas como $\overline{V_{rad}}$. En la quinta y sexta columnas tenemos los promedios de las velocidades radiales en cada región denotándose como $\overline{V_{reg}}$.

- * Son las posiciones más cercanas a la línea de los nodos.
- ** Son los promedios excluyendo las posiciones de las líneas de los nodos.

TABLA III.VIII

Velocidades Radiales en el Brazo B. Por L.N.

Región	Posición	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$
		$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)
B1	k	1	17		
	l	35	44	67	-4
	m	80	38	35**	35**
	n	24	40		
	o *	196	-157		
B2	p *	50	84	8	25
	q	-13	-2	-6**	6**
	r	-8	3		
	s	4	16		
	t	-16	-6		
B3	u	26	37		
	v	18	30	24	34
	w	25	36		
B4	x	44	55		
	y	56	62	38	47
	z	27	39		
	a1	23	33		
B5	a2	41	49		
	a3	48	52	37	45
	a4	23	35		
B6	a5	-26	1	-134	-39
	a6 *	-242	-79	-26**	1**
B7	a7 *	400	-427	186	219
	a8	-28	-11	-28**	-11**

En la primer columna se tiene el nombre de la región. En segunda la posición considerada. En la tercer y cuarta columna las velocidades promedio de cada posición, denotadas como $\overline{V_{rad}}$. En la quinta y sexta columnas tenemos los promedios de las velocidades radiales en cada región denotándose como $\overline{V_{reg}}$.

- * Son las posiciones más cercanas a la línea de los nodos.
- ** Son los promedios excluyendo las posiciones de las líneas de los nodos.

TABLA III.IX
Velocidades Radiales en el Brazo A. Por Anillos.

Región	Posición	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$
		$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{rad}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)	$\overline{V_{reg}}$ (km s ⁻¹)
A1	a1	66	74		
	a2	81	89		
	a3	137	130	52	65
	a4	49	56	76**	79**
	a5	50	47		
	a6 *	-68	-8		
-	a7 *	-	-	-	-
	a8	6	21		
A2	a9	58	79	39	56
	a10	19	32		
-	a	24	36	-	-
	b	24	35		
A3	c	27	38	26	37
	d	16	27		
A4	e	32	43	24	35
	f	10	25		
A5	g	20	33		
	h	39	52	25	39
	i	31	44		
A6	j	45	57		
	k	75	80	55	64
	l	45	58		
A7	m	-30	6		
	n	275	138	77	48
	o *	37	-46	123**	27**
	p *	26	92		

En la primera columna se tiene el nombre de la región. En segunda la posición considerada. En la tercera y cuarta columna las velocidades promedio de cada posición, denotadas como $\overline{V_{rad}}$. En la quinta y sexta columnas tenemos los promedios de las velocidades radiales en cada región denotándose como $\overline{V_{reg}}$.

- * Son las posiciones más cercanas a la línea de los nodos.
- ** Son los promedios excluyendo las posiciones de las líneas de los nodos.

TABLA III.X
Velocidades Radiales en el Brazo B. Por Anillos.

Región	Posición	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$	$\phi_0 = 123$	$\phi_0 = 127$
		$\frac{V_{rad}}{V_{reg}}$	$\frac{V_{rad}}{V_{reg}}$	$\frac{V_{rad}}{V_{reg}}$	$\frac{V_{rad}}{V_{reg}}$
		(km s ⁻¹)	(km s ⁻¹)	(km s ⁻¹)	(km s ⁻¹)
B1	k	18	5		
	l	0	15		
	m	-135	-78	42	62
	n	-98	-21	-54**	-20**
	o	423	342		
B2	p	90	143		
	q	-2	12	24	47
	r	1	11	4**	14**
	s	9	21		
	t	-14	-3		
B3	u	27	38		
	v	18	29	22	33
	w	21	32		
B4	x	36	32		
	y	45	45	26	39
	z	15	19		
B5	a1	8	16		
	a2	20	34		
	a3	20	33	15	28
B6	a4	-7	17		
	a5	-69	-19	210	71
	a6	-352	-123	-69**	-19**
B7	a7	-535	-545	-274	-268
	a8	-14	9	-14**	9**

En la primer columna se tiene el nombre de la región. En segunda la posición considerada. En la tercer y cuarta columna las velocidades promedio de cada posición, denotadas como V_{rad} . En la quinta y sexta columnas tenemos los promedios de las velocidades radiales en cada región denotándose como V_{reg} .

- * Son las posiciones más cercanas a la línea de los nodos.
- ** Son los promedios excluyendo las posiciones de las línea de los nodos.

En la Tabla III.XI tenemos los valores de la velocidad radial de cada región calculadas en las Tablas III.VII, III.VIII, III.IX y III.X.

TABLA III.XI

Velocidades Radiales (km s^{-1}) por Regiones de las tablas III.VII, III.VIII, III.IX y III.X.

Brazo A	$\phi_0 = 123^\circ$		$\phi_0 = 127^\circ$	
	Anillos	L.N.	Anillos	L.N.
A1	52	97	65	94
	76 *	101 *	79 *	101 *
A2	39	32	56	44
A3	26'	24	37	35
A4	24	28	35	38
A5	25	37	39	47
A6	55	80	64	79
A7	77	51	48	89
	123 *	145 *	27 *	107 *
Brazo B	Anillos	L.N.	Anillos	L.N.
B1	42	67	62	-4
	-54 *	35 *	-20 *	35 *
B2	24	8	47	25
	4 *	-6 *	14 *	-6 *
B3	22	24	33	34
B4	26	38	39	47
B5	15	37	28	45
B6	210	-134	71	-39
	-69	-26 *	-19 *	1 *
B7	-274	186	-268	219
	-14 *	-28 *	9 *	-11 *

Comparación de los resultados del método de los anillos y el de L.N.

*Valores que excluyen en el promedio los puntos que se encuentran cerca de la línea de nodos.

3.3.2. MÍNIMOS CUADRADOS EN CADA REGIÓN.

Para calcular la velocidad de rotación y radial de cada región se usaron los intervalos dados en la Tabla III.IV, tomando todos los puntos considerados en cada región. Entonces, de mínimos cuadrados obtenemos los valores de la velocidad radial dados en la Tabla III.XII. En esta podemos ver que existen regiones en donde la velocidad de rotación es diferente a las obtenidas en los métodos anteriores, de donde la velocidad radial en esos puntos sea también diferente.

TABLA III.XII
Velocidades de rotación y radiales (en km s^{-1})
de cada región. Por mínimos cuadrados.

Brazo A	Vrad		Vrot	
	123°	127°	123°	127°
A1	70	95	-186	-178
A2	-41	-32	-132	-134
A3	27	39	-206	-202
A4	-3	13	-300	-301
A5	-18	-3	-235	-237
A6	40	64	-204	-195
A7	37	49	-202	-199
Brazo B	123°	127°	123°	127°
B1	33	39	-175	-173
B2	9	20	-200	-196
B3	11	25	-238	-238
B4	68	78	-161	-156
B5	27	4	-192	-190
B6	103	118	-171	-162
B7	144	-98	-239	-181

3.4. RESULTADOS CINEMÁTICOS.

Las velocidades radiales obtenidas de los diferentes métodos se muestran en las Tablas III.XIII y III.XIV. Para graficar la velocidad radial de cada región como función de su distancia al centro, es necesario conocer las distancias promedio de cada región, entonces, calculando esta se obtienen los valores de la Tabla III.XV.

En las Figuras 3.5 y 3.6, se puede apreciar como disminuye la velocidad radial conforme aumenta la distancia al núcleo, al menos hasta las regiones medias; ya que en las regiones externas el aumento en la velocidades radiales es evidente. En las regiones externas es importante considerar que estas se encuentran muy cerca de la línea de los nodos, lo cual produce una gran dispersión en las velocidades obtenidas.

El análisis de los errores y las dispersiones se hace en la siguiente sección.

Por otro lado podemos ver que los resultados obtenidos del método de mínimos cuadrados por región no están totalmente de acuerdo con los obtenidos de los dos métodos anteriores, lo cual hace que no sean considerados en la discusión. La razón de esto se da en la sección siguiente.

TABLA III.XIII

Comparación de las velocidades radiales (km s^{-1}) de los diferentes métodos utilizados. $\phi_0 = 123^\circ$

Método	R E G I O N						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
L.N.	101	32	24	28	37	80	51
Anillos	76	39	26	24	25	55	77
M.C.	70	-41	27	-3	-18	40	37
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
L.N.	35	-6	24	38	37	-26	-28
Anillos	42	4	22	26	15	-69	-14
M.C.	33	9	11	68	27	103	144

L.N.; Método de la línea de nodos.

Anillos; Método de los anillos.

M.C.; Mínimos cuadrados.

TABLA III.XIV

Comparación de las velocidades radiales (km s^{-1}) de los diferentes métodos utilizados. $\phi = 0^{\circ}127$.

Metodo	R E G I O N						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
L. N.	94	44	35	38	47	79	89
Anillos	79	56	37	35	39	64	48
M. C.	95	-32	39	13	-3	64	49
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
L. N.	35	6	34	47	45	1	-11
Anillos	42	14	33	29	28	-19	9
M. C.	39	20	25	78	4	118	-98

L. N.; Método del línea de nodos.

Anillos; Método de los anillos.

M. C.; Mínimos cuadrados.

TABLA III.XV

Distancia de cada región al núcleo en kpc.

Región	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Distancia	1.04	1.20	1.27	1.30	1.33	1.42	1.58
Región	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Distancia	1.11	1.20	1.25	1.33	1.36	1.49	1.58

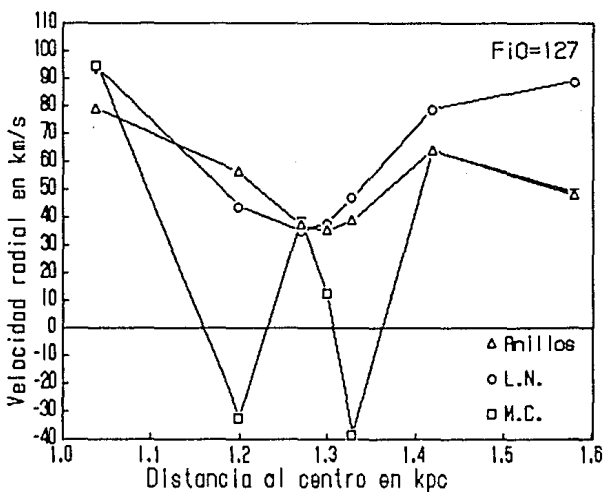
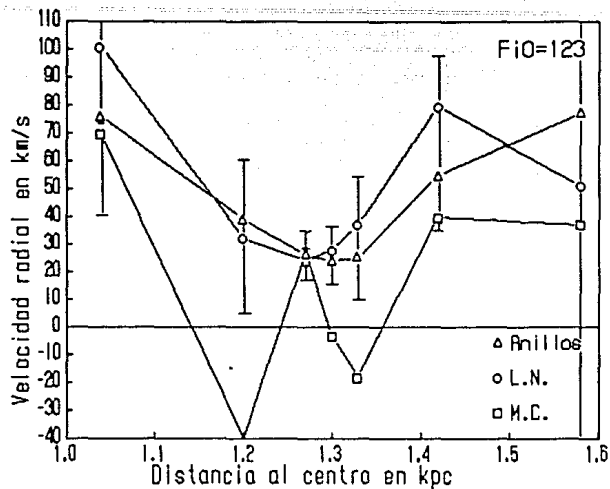


Fig. 3.5. Velocidad radial contra distancia de las diferentes regiones consideradas en el brazo A. En la gráfica superior tenemos los valores para $\phi_0 = 123^\circ$ y en la de abajo para $\phi_0 = 127^\circ$. Las barras representan la dispersión considerada y es igual para ambas gráficas.

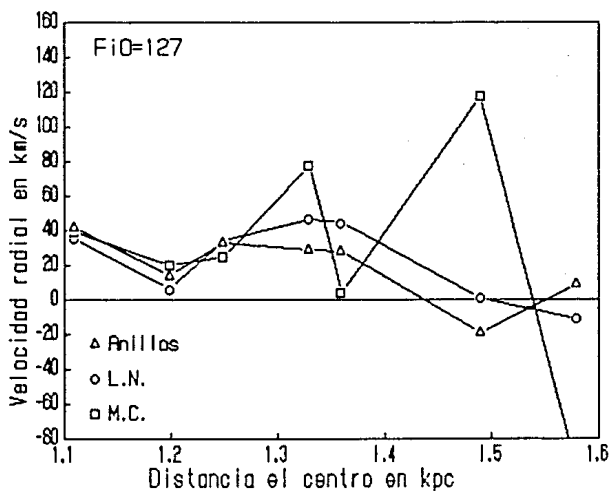
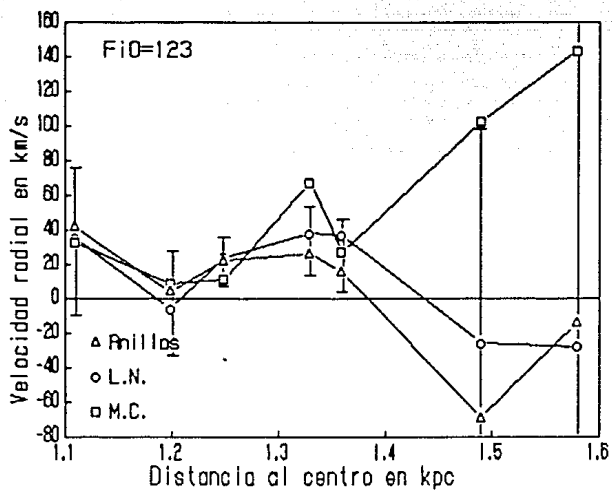


Fig. 2.6. Velocidad radial contra distancia de las diferentes regiones consideradas en el brazo B. En la gráfica superior tenemos los valores para $\phi_0 = 123^\circ$ y en la de abajo para $\phi_0 = 127^\circ$. Las barras representan la dispersión considerada y es igual para ambas gráficas.

3.4.1. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS ERRORES Y DISPERSIONES.

En general se consideran tres fuentes principales de error: el ángulo de inclinación, la distancia a la galaxia y de los datos observacionales. Cuando se calcula la dispersión de los valores por cada región encontramos que la dispersión es lo suficientemente grande como para que las fuentes anteriores queden contenidas dentro de ésta. Por otro lado en el método de los anillos y el de la L.N. se obtienen valores para la dispersión muy parecidos, por lo que las consideramos iguales, además de que no dependen mucho de los valores de ϕ_0 . Las dispersiones consideradas en cada región se dan en la Tabla III.XVI.

TABLA III.XVI
Dispersión de las velocidades por región.

Región	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
$\sigma(\text{km s}^{-1})$	30	25	5	10	15	20	150
Región	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
$\sigma(\text{km s}^{-1})$	40	25	10	15	10	160	200

La dispersión en cada región se obtuvo sacando la desviación estándar de todas las velocidades contenidas en cada región.

La dispersión dentro de los cálculos de mínimos cuadrados por regiones es grande con respecto a los resultados globales, aunque dentro de las mismas regiones es pequeño. En general los resultados no concuerdan con los obtenidos por métodos anteriores; esto se debe a que en los métodos anteriores la velocidad de rotación era un parámetro, y en el método de mínimos cuadrados (M.C.) se dejó como una variable libre, que sólo dependía de la región misma.

Notemos que la dispersión es mayor en las regiones más alejadas del núcleo, lo cual puede estar relacionado con la evolución de las regiones III consideradas.

3.5. RESULTADOS SOBRE LA MORFOLOGÍA.

En mayo de 1990, las Dras. Paris Pizniş y Minia Manteiga⁷, observaron esta galaxia con el telescopio de 2.1 m de San Pedro Mártir, B.C., usando un CCD en el modo de imagen directa. Estas imágenes fueron reducidas por el autor en la computadora SUN del IAUNAM y el paquete de reducción de imágenes IRAF.

Dentro del análisis y reducción de imágenes se puede decir que lo primero que hay que hacer con una imagen es "quitarle", por decirlo así, todas aquellos defectos que pueden ser producidos por la óptica o el detector.

Una vez hecho lo anterior con los mismos programas contenidos en IRAF se puede empezar a hacer el análisis de la imagen y por medio de una convolución⁸ se pueden destacar ciertos detalles que a primera vista permanecen ocultos.

Otra forma de hacer destacar los detalles es cambiando los parámetros del programa de despliegue, lo cual nos da la libertad de resaltar aún más ciertos detalles.

En la figura 3.7 podemos ver la imagen tal como se obtiene después de procesarla.

En la Figura 3.8 podemos ver como después de convolucionar la imagen y de cambiar algunos parámetros de en el programa de despliegue obtener una mejor imagen de la estructura en la parte central.

En la parte central notamos, inmediatamente, la existencia de una estructura bisimétrica, la cual no había sido reportado por ningún autor, aunque ya habían sido tomadas imágenes CCD, en Kit Peak, con el telescopio de 0.9 m (referido en Duric y Dittmar 1988). Esta estructura se empieza a distinguir a partir de ~200 pc del núcleo (tomando como 6 Mpc la distancia a esta galaxia). Cada una de estas estructuras tiene un largo de 160 pc y un ancho aproximado de 50 pc. Esto último se deduce contando cuantos pixeles abarca la estructura (de hecho, cada pixel mide 0.3" de arco).

Por último en la figura 3.9 podemos ver las isofotas de intensidad de la imagen, en ella se puede observar la estructura bisimétrica central, así como la forma en que se curva, en sentido opuesto al de rotación.

La información que se puede obtener de las imágenes es enorme, lo cual será tema de un trabajo posterior en el cual se discutira con detalle toda la información obtenida.

3.5. RESULTADOS SOBRE LA MORFOLOGÍA.

En mayo de 1990, las Dras. Paris Pignis y Minia Manteiga⁷, observaron esta galaxia con el telescopio de 2.1 m de San Pedro Mártir, B.C., usando un CCD en el modo de imagen directa. Estas imágenes fueron reducidas por el autor en la computadora SUN del IAUNAM y el paquete de reducción de imágenes IRAF.

Dentro del análisis y reducción de imágenes se puede decir que lo primero que hay que hacer con una imagen es "quitarle", por decirlo así, todas aquellos defectos que pueden ser producidos por la óptica o el detector.

Una vez hecho lo anterior con los mismos programas contenidos en IRAF se puede empezar a hacer el análisis de la imagen y por medio de una convolución⁸ se pueden destacar ciertos detalles que a primera vista permanecen ocultos.

Otra forma de hacer destacar los detalles es cambiando los parámetros del programa de despliegue, lo cual nos da la libertad de resaltar aún más ciertos detalles.

En la figura 3.7 podemos ver la imagen tal como se obtiene después de procesarla.

En la Figura 3.8 podemos ver como después de convolucionar la imagen y de cambiar algunos parámetros de en el programa de despliegue obtener una mejor imagen de la estructura en la parte central.

En la parte central notamos, inmediatamente, la existencia de una estructura bisimétrica, la cual no había sido reportado por ningún autor, aunque ya habían sido tomadas imágenes CCD, en Kit Peak, con el telescopio de 0.9 m (referido en Duric y Dittmar 1988). Esta estructura se empieza a distinguir a partir de ~200 pc del núcleo (tomando como 6 Mpc la distancia a esta galaxia). Cada una de estas estructuras tiene un largo de 160 pc y un ancho aproximado de 50 pc. Esto último se deduce contando cuantos pixeles abarca la estructura (de hecho, cada pixel mide 0.3" de arco).

Por último en la figura 3.9 podemos ver las isofotas de intensidad de la imagen, en ella se puede observar la estructura bisimétrica central, así como la forma en que se curva, en sentido opuesto al de rotación.

La información que se puede obtener de las imágenes es enorme, lo cual será tema de un trabajo posterior en el cual se discutira con detalle toda la información obtenida.

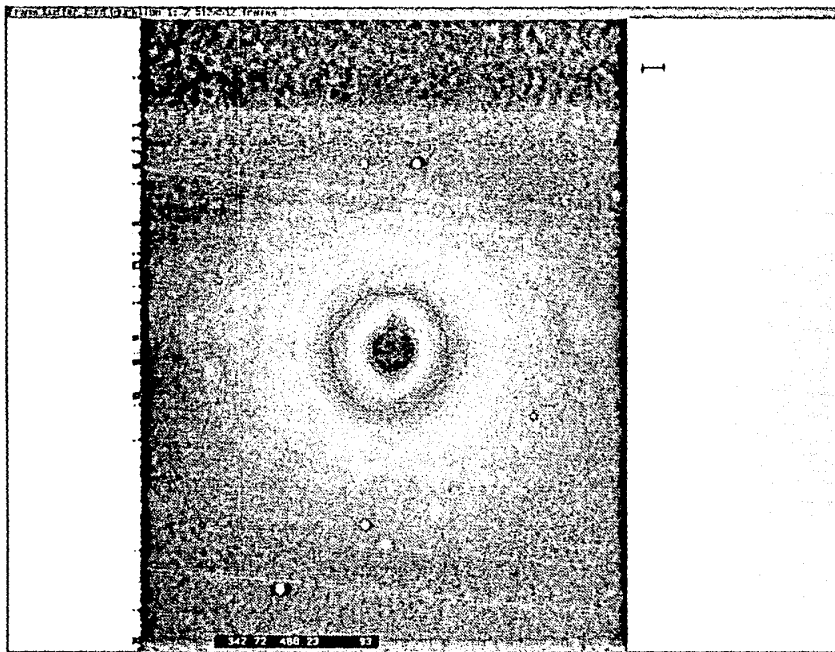


Fig. 3.7. Galaxia NGC4736. Está es una imagen de la galaxia tomada en SPM, B.C. en el telescopio de 2.1 mts, con técnica CCD. Aquí podemos darnos cuenta de ciertos detalles que se comienzan a notar en el centro, así como de los brazos. En esta imagen la orientación este-oeste es al revés que en las anteriores. La línea negra de arriba representa ~ 200 pc o $6''$ de arco. Los puntos blancos son pixeles malos en el detector.

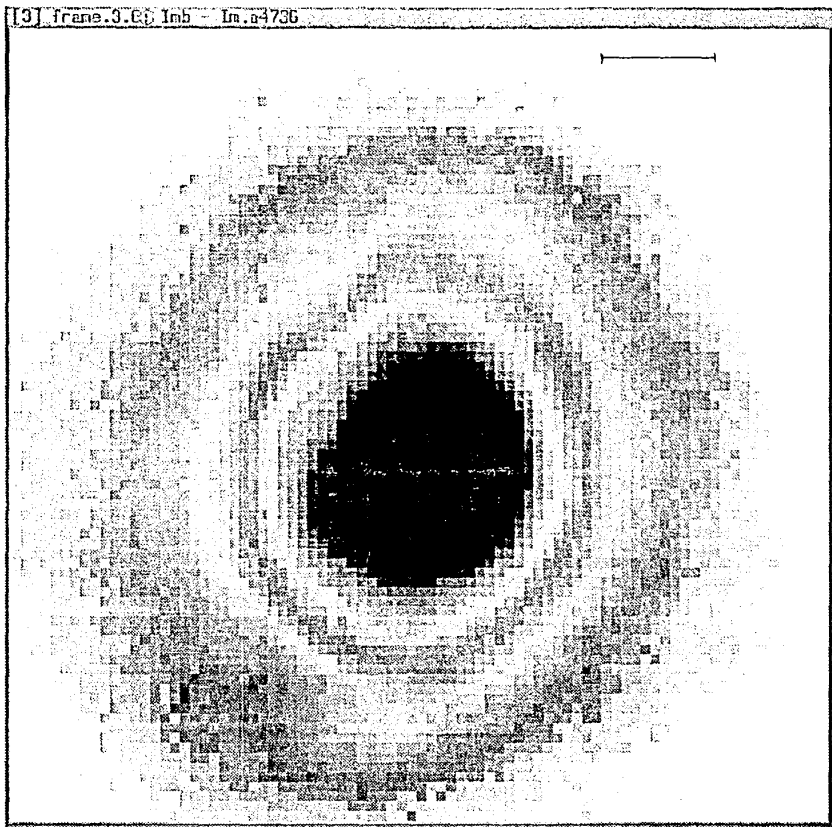
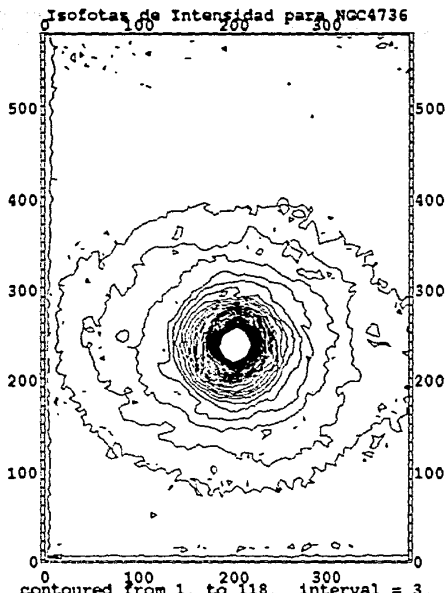


Fig. 3.8. Galaxia NGC4736. Está es una imagen del centro de la galaxia tomada en SPM, B.C. en el telescopio de 2.1 mts, con técnica CCD. En ella podemos apreciar la estructura bisimétrica central y la gran cantidad de detalle alrededor de ésta. La orientación es como en la figura 3.7. La línea negra de arriba representa ~ 200 pc o 6° de arco.



NOAO/IRAF V2.9EXPORT fidel@belegui Tue 09:56:09 15-Jan-91

Fig. 3.9. Isofotas de intensidad relativas. Aquí podemos apreciar los detalles de la estructura bisimétrica central. Las escalas de ambos ejes están dadas en pixeles (1pix = 0.3" de arco).

3.6. RESULTADOS.

- A. Se puede decir que existe una variación de la velocidad radial con la distancia, aunque en las regiones que coinciden con la línea de los nodos esta afirmación no es tan clara, debido a la gran dispersión en tales regiones, o es quizá que no han sido considerados los movimientos en la dirección perpendicular al plano de la galaxia.
- B. La variación de la velocidad radial aparece en ambos brazos, lo que los hace independientes (en movimientos) del otro.
- C. Por otro lado las imágenes de la región central parecen dar un gran apoyo al modelo propuesto en la sección 3.2. A partir de ellas, se puede tratar de hacer una interpolación de los brazos espirales, hasta hacerlos coincidir con la estructura bisimétrica central.

Es importante hacer notar que el hecho de encontrar tanta dispersión en las velocidades radiales en las regiones que están cerca de la línea de los nodos era de esperarse, ya que la geometría del problema no permite obtener gran información de movimientos no-circulares en estas regiones.

En general podemos concluir este capítulo con la certeza que la velocidad radial que parece ser función de la distancia al centro para cada región, la cual parece estar relacionada con la morfología de la espiral.

Por otro lado la existencia de una estructura bisimétrica en la región central (~400pc), que no había sido observada con anterioridad da un gran apoyo al modelo propuesto.

En el capítulo siguiente se presentan otros modelos que han intentado explicar las características observadas. Se hace una discusión de estos en base a los resultados encontrados, junto con otra serie de razonamientos, lo cual quizá ayude a comprender mejor esta galaxia.

Capítulo IV

MODELOS PARA NGC4736

Como hemos visto en los capítulos anteriores, el problema de dar un modelo que ayude a comprender las características observadas en NGC4736 no es del todo fácil y por eso en este capítulo se presentan las ideas de los modelos más citados en la literatura, así como una discusión de estos en base a los resultados obtenidos en §3.4 y §3.5, junto con otra serie de razonamientos.

En general, en la literatura hay dos ideas en los modelos que se proponen para explicar la morfología y la cinemática de NGC4736. Una de ellas es atribuir las características observadas a efectos dinámicos propios de las galaxias espirales, la otra es en términos de algún tipo de actividad nuclear.

4.1. ESPIRAL COMO UNA MANIFESTACIÓN DINÁMICA.

Una de las primeras teorías que se aplican para tratar de explicar la estructura y cinemática observada de NGC4736, es la de órbitas de dispersión (la cual se desprende de la teoría de las ondas de densidad), en la cual se tratan de ajustar los parámetros necesarios para explicar las características observadas (van der Kruit, 1974, 1976; Buta 1988), todo esto a partir del campo de velocidades observado.

Algunos de los parámetros que se ajustan son: la línea de los nodos, el ángulo de inclinación, las velocidades radiales y tangenciales (referidas al sistema en movimiento), la velocidad Ω_p , con la cual gira el patrón espiral, etc.

En general los ajustes que se hacen son poco satisfactorios, debido a que los parámetros geométricos necesarios para ajustar la órbita elíptica, resultante en tal modelo, son bastante diferentes a los que se cree son reales, además de ser cercanos a

los que se necesita para obtener solo movimientos circulares (van der Kruit 1976b). En la Figura 4.1a se puede ver la geometría de la región considerando la teoría de órbitas de dispersión, esta geometría no concuerda con la observada. Además de la gráfica ángulo central contra velocidad (Figura 4.1b), en la cual se tienen las velocidades observadas y la curva predicha por el modelo (línea continua), se encuentra que los resultados de la teoría de órbitas de dispersión serían indistinguibles de aquellos que consideran sólo rotación, o rotación más expansión (Buta, 1988). Ver figura 4.2.

Por otro lado, la validez de aplicación de la teoría de órbitas de dispersión, la cual fue desarrollada por Lindblad (1956), tiene ciertas restricciones, las cuales no han sido consideradas por los autores que la usó.

En primer lugar el promedio de las velocidades radiales en las órbitas consideradas (en el caso de NGC4736 dentro de la espiral central) debe ser cero, con una dispersión en velocidades de 10-15 km s⁻¹. Esto es diferente a lo encontrado en NGC4736, ya que el promedio de las velocidades radiales es de 40-60 km s⁻¹ (van der Kruit 1976b; Buta 1988), con valores en la dispersión mucho mayores a los necesarios (este trabajo).

Otra condición que se impone a la misma teoría de órbitas de dispersión es que el cociente V_{rad}/V_{rot} (donde nos referimos a las velocidades respecto al sistema en reposo) sea despreciable (Oort, 1965), y en el caso de NGC4736 no lo es. Por otro lado, la región de validez de éste modelo es entre las resonancias de Lindblad; en el caso de NGC4736 la región considerada está en la resonancia interna, o dentro de ella. Esta circunstancia parece no haber sido estudiada en detalle, ni en la resonancia y tampoco en regiones internas a esta, aunque algunos autores mencionan que el estudio del comportamiento del material en tales regiones puede ser bastante complicado.

Por otro lado Schommer y Sullivan (1976) argumentan que la espiral representa la resonancia interna de Lindblad, basándose en la curva de rotación, y la supuesta existencia de dos brazos espirales en la región "c" (ver capítulo II). De esta manera explican la existencia de ciertas características observacionales, como son: la coincidencia de la emisión en radio reportada por van der Kruit (1971), la existencia del anillo externo (el cual relacionan directamente con la resonancia externa de Lindblad), el mismo "anillo" interno (que relacionan con la resonancia interna de Lindblad), etc. Aunque es interesante esta idea, en su artículo no hacen ningún análisis del campo de velocidades y jamás toman en cuenta las velocidades radiales (expansión o contracción) reportadas por otros autores; su argumento solo se basa en la curva de rotación, junto con las características anteriores. En este mismo artículo argumentan que existen dos brazos espirales en la región "c", basándose en resultados fotométricos (no se da referencia) siendo esa región donde siempre se ha reportado una estructura multiespiral.

De simulaciones en galaxias, Schwarz (1981, 1984), Combes y Gerin (1985), encuentran que una distorsión oval o una barra en el centro de la galaxia puede explicar la acumulación de gas en las resonancias de Lindblad, lo cual, en el caso de NGC4736, pareciera aun no ser claro, porque no se puede decir que la estructura bisimétrica encontrada sea una barra.

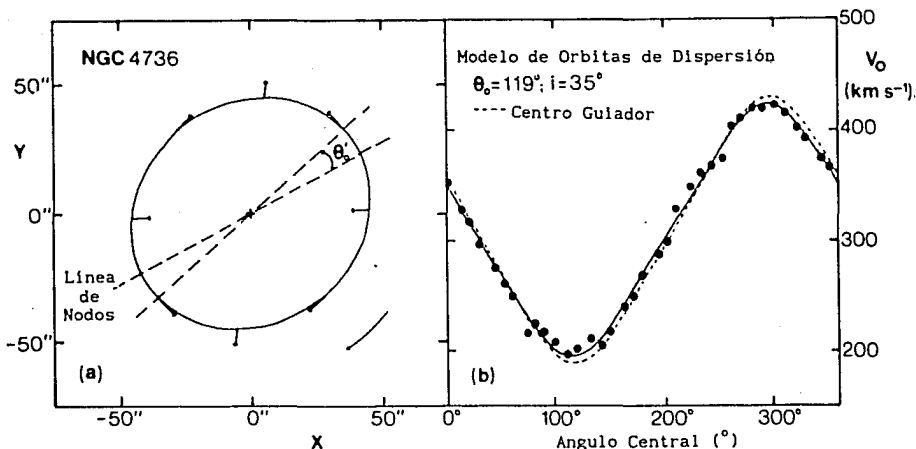


Fig. 4.1. En (a) vemos la apariencia deproyectada del modelo de órbitas de dispersión, las flechas indican la dirección de las velocidades epicyclicas y el de la rotación. En (b) el diagrama velocidad-ángulo central aparece el mejor ajuste a los datos con una línea de nodos de 119° . Este ajuste es indistinguible del mostrado en la figura 4.2. Tomada de Buta (1988).

4.2. ESPIRAL CENTRAL COMO PRODUCTO DE UNA ACTIVIDAD NUCLEAR.

Dentro de estas teorías destacan las que intentan explicar la formación de la espiral central (o anillo) por medio de los efectos cinemáticos provocados por una explosión isotrópica, ocurrida en la región central (Sanders y Bania, 1976), o anillo (Antonov y Zheleznyak, 1989).

En el modelo propuesto por Sanders y Bania (1976), se supone una explosión isotrópica en el núcleo, la cual libera 10^{57} ergs de energía, expulsa una masa de $10^6 M_\odot$ (que es lo que queda en el disco), hace 10^7 años. Ellos encuentran, haciendo un análisis hidrodinámico del gas (en el cual toman un potencial central con una perturbación espiral), las características observacionales del gas. En la Figura 4.3 se muestran las regiones de mayor densidad del gas (no las regiones HII), a lo largo de varios intervalos de tiempo.

Uno de los resultados del modelo anterior, es la predicción de ciertas bajadas en la curva de rotación, debidas al bajo momento angular que existe en las regiones en las

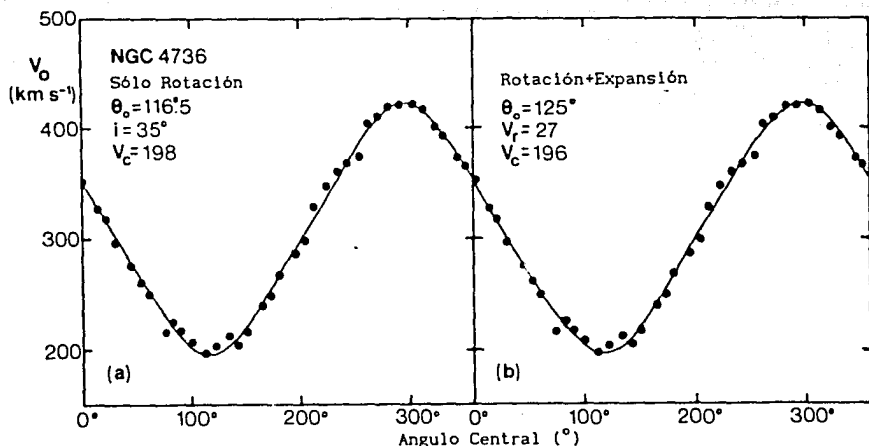


Fig. 4.2. Modelos del diagrama velocidad observada contra ángulo central. En (a) se muestra el ajuste suponiendo sólo velocidad de rotación. En (b) suponiendo velocidad de rotación y expansión. Vemos que los datos se ajustan de manera indistinta a ambos modelos, excepto por la geometría. Tomada de Buta (1988).

cuales ha sido barrido el material. También dicen que en las regiones donde se observa la emisión en radio (van der Kruit 1971), el material está chocando con el medio, lo que produce el efecto observado.

Por otro lado en el modelo propuesto por Antonov y Zheleznyak, se encuentra una solución a la ecuación de movimiento del material que es barrido por la expansión (un anillo), la cual es sostenida por presión de radiación proveniente del núcleo sobre el polvo del anillo (el cual es detectado en CO a $22''$ del núcleo, Walker *et al.* 1988, de manera que no coincide con la espiral). Ellos suponen que este material fue eyectado isotrópicamente por el núcleo, encontrando que el anillo se empieza a formar a una distancia de 200 pc del núcleo, con una masa inicial de $5 \times 10^5 M_{\odot}$, la cual aumenta según barre material interestelar. La velocidad radial inicial, según sus cálculos, será de 100 a 500 km s^{-1} , reduciéndose a cero a 1 kpc .

4.3. DISCUSIÓN.

Sin duda alguna estos dos puntos de vista tienen sus "pro" y sus "contra", pero el

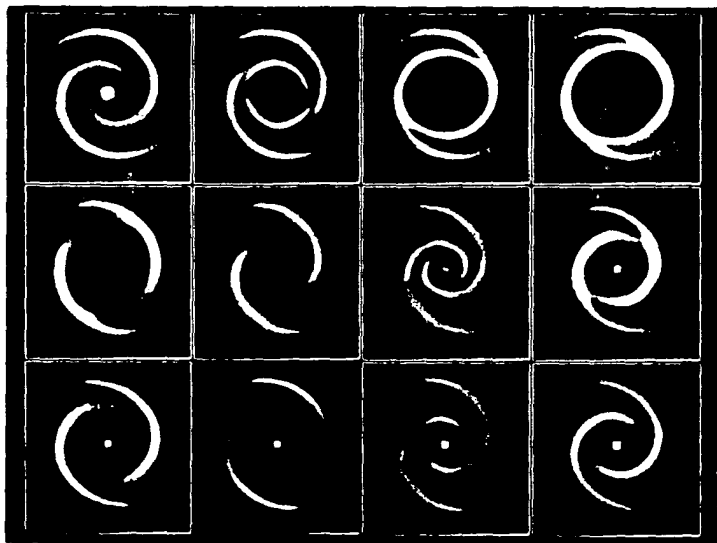


Fig.4.3. Representación fotográfica de la distribución de la densidad en varias épocas después de la explosión en el núcleo. La distancia del centro a la orilla en cada cuadro corresponde a 4.5 kpc, el tiempo total es de 8.2×10^7 años.

hecho de encontrar una estructura bisimétrica en las imágenes de NGC4736 (ver §3.5), no está de acuerdo con las suposiciones de expulsión y expansión isotrópica del material hechas por Sanders y Bania (1976), así como de Antonov y Zheleznyak (1989). Por otro lado de los resultados cinemáticos obtenidos en este trabajo, no se puede refutar de manera contundente ninguno de los modelos mencionados anteriormente. De ésta evidencia en contra de los argumentos de isotropía se obtiene de las imágenes.

Algunos argumentos que pretenden explicar las velocidades de expansión, la gran luminosidad del núcleo, así como la existencia de un anillo de CO a $22''$ del núcleo, suponen un intenso brote de formación estelar en el pasado, junto con la formación reciente de supernovas (SN), de las cuales se requieren $\sim 10^6$ en un período de 10^7 años, en un volumen de 0.15 kpc^{-3} , obteniendo $8.4 \times 10^{-9} \text{ SN año}^{-1} \text{ pc}^{-3}$, en un disco con un radio de 690 pc y un ancho de 100 pc. Esta idea también es usada por Walker, *et al.* (1988), suponiendo además la existencia de nebulosas planetarias. Estos argumentos se puede decir, que tales procesos difícilmente explicarían la estructura bisimétrica observada.

Las líneas espectrales de baja ionización, provenientes de la región nuclear, son clara evidencia de la actividad que ocurre en tal zona. Estas líneas muestran ensanchamientos correspondientes a velocidades del orden de 500 km s^{-1} . Esto hace suponer que este material está chocando (principal mecanismo propuesto para la explicación de los LINER, Heckman, 1980b), lo cual está de acuerdo con el modelo propuesto en este trabajo (material eyectado). Sobre la presencia de tales líneas en el núcleo de NGC4736, algunos autores (Walker *et al.*, 1988) han propuesto la existencia de un AGN en fase latente.

Recordemos que esta galaxia tiene emisión sincrotrón proveniente del núcleo, siendo esto posible sólo con la existencia de un campo magnético, lo cual haría suponer la posible existencia de una estructura bisimétrica asociada a tal campo (si tal campo es bipolar).

También es necesario recordar que van der Kruit (1971) menciona que es posible que esté saliendo plasma del núcleo en una dirección diferente al plano de la galaxia, lo que hace suponer que existe un chorro (que no vemos), el cual parece no coincidir con el plano de la galaxia, ya que esta no se ve alterada en su forma.

Para poder dar una explicación a las características observadas, así como un mayor apoyo al modelo propuesto en este trabajo, se supondrá que en el núcleo de NGC4736 existe un Agujero Negro, y a partir de esto tratar de explicar las observaciones.

¿Porqué un Agujero Negro? La respuesta es que es lo más usado para explicar los AGN (Lynden-Bell y Ress, 1971), y como se dijo en el capítulo I que, quizá, también los MAGN sean producto de la misma clase de fenómeno sólo a menor escala energética, además de que existen ciertas características observadas que difícilmente se podrían explicar con algún otro mecanismo.

Con la existencia de un Agujero Negro se puede explicar la estructura bisimétrica de la región nuclear, siendo esto posible con la existencia de un disco de acreción, que de alguna manera confina la radiación en dos direcciones diametralmente opuestas. También es posible que la estructura bisimétrica sea producto de la salida directa de material por los ejes de rotación del Agujero Negro.

La orientación correcta de la estructura bisimétrica observada en las imágenes CCD no se conoce, pero parece estar en el plano de la galaxia, formando parte de la espiral central, ya que al final de la estructura bisimétrica ésta parece curvarse en sentido opuesto al de rotación. Entonces se puede suponer que el disco de acreción del Agujero Negro no es paralelo al plano de la galaxia, a menos que el material acretado sea la estructura bisimétrica; pero esto no parece ser el caso.

Para explicar la emisión bipolar en radio, reportada por van der Kruit (1971), suponemos que esta es causada por el material que sale por los ejes de rotación del Agujero Negro, y al chocar este con el medio interestelar produce la emisión observada (lo cual es parecido a los lóbulos bipolares observados en algunos AGN). De esto podemos pensar que la orientación del disco de acreción no es perpendicular al plano de la galaxia. Por otro lado es posible que tal emisión no tenga nada que ver con la actividad de la parte central, siendo posible que la orientación del disco de acreción sea perpendicular al plano de la galaxia.

Otra característica importante de las imágenes CCD presentadas (ver figuras 3.7 y 3.8), es la existencia (como a 200 pc del núcleo), de lo que al parecer son nubes aisladas, así como regiones casi vacías, parecidas a las presentadas en el modelo de Osterbrock (1990). En el modelo de Osterbrock estas nubes se alejan del núcleo con velocidades de 200 km s^{-1} . Es importante mencionar que un disco puede confinar la dirección de movimiento de tales nubes en su etapa inicial, siendo posible que estas conserven tales direcciones y haciendo factible que sean las que formen la estructura espiral (si consideramos que siguen movimientos radiales y de rotación).

Aunque se pueden proponer muchos modelos para tratar de explicar las imágenes, así como la cinemática que se observa, aun hacen falta más datos observacionales para poder tener una evidencia más clara de los fenómenos que están ocurriendo en la región central de esta galaxia.

Se propone que un estudio espectroscópico de alta dispersión en la región central dará gran información de la velocidad con la que se esta moviendo el gas, así como la dirección en que se mueve el material que está delineando la estructura bisimétrica.

Por otro lado el estudio de imágenes en $H\alpha$ y de otras líneas de emisión de la región central puede dar gran información sobre la ionización del gas que está saliendo.

De imágenes con filtros angostos, de interferencia y fotométricos, podemos darnos una idea de cuales son las regiones que muestran excesos, relacionándolos con ciertos tipos de población estelar.

También es necesario conocer cual es la orientación del campo magnético, lo cual es posible haciendo observaciones de alta resolución en radio.

Para comprobar la validez del modelo se debe hacer el mismo análisis (del capítulo 3) en galaxias que muestren el mismo tipo de estructura central, de tal manera que la geometría nos deje conocer con una mayor certeza las velocidades de expansión (o contracción). Es también conveniente hacer el estudio descrito en los párrafos anteriores en las galaxias mencionadas a continuación, que siendo no activas, en el sentido convencional, muestran ciertos indicios de esta leve actividad (velocidades de expansión en la espiral central, luminosidades altas, etc.).

Las galaxias que se propone estudiar de una manera sistemática son : NGC613, NGC1097, NGC1512, NGC3351, NGC4151, NGC4314 y NGC4725, por mencionar sólo unas cuantas. Quizá existan otras que muestren características interesantes, pero el presente trabajo representa solamente un primer paso.

Conclusiones

1. Se encuentra evidencia de movimientos radiales dependientes de la distancia al centro de la galaxia.
2. La velocidad radial en los brazos de la espiral es independiente del brazo, es decir, no parecen estar conectados por ningún mecanismo, evolucionando de manera independiente cada uno.
3. La morfología parece ser explicable con un cierto tipo actividad en el núcleo.
4. En imágenes CCD de la región central, se encuentra una estructura bisimétrica, la cual no había sido reportada.
5. En particular para esta galaxia es casi evidente la actividad en la parte central, debido a las características observadas.
6. Se requieren observaciones del núcleo con alta resolución para confirmar tal actividad, o los vestigios de esta.
7. También se requieren observaciones de polarimetría en radio de la región central, para buscar la orientación del campo magnético.
8. Para tener una confirmación del modelo es necesario hacer el estudio aquí presentado, así como la misma clase de observaciones propuestas para galaxias similares.
9. Parece confirmarse la sospecha de que la actividad en las galaxias se manifiesta escalas energéticas menores que las de los AGN, siendo las galaxias con una espiral central una posible manifestación de tal actividad.

Apéndice A

AI. CURVA DE ROTACIÓN.

Una de las características observacionales que podemos obtener de las galaxias espirales es su Curva de Rotación, la cual nos indica como son los movimientos circulares de las estrellas, gas y polvo alrededor del centro mismo de la galaxia. La manera en que se obtiene esta curva es observar el efecto Doppler en las líneas del espectro, ya sean de absorción, o emisión (a todas las distancias del centro), lo cual nos da una idea de la velocidad a ciertas distancias del núcleo (claro restando a estas la velocidad con la que se aleja o acerca la galaxia), de donde graficando Velocidad contra Distancia (del núcleo) es como se obtiene la curva de rotación.

Observacionalmente estas velocidades se obtienen a lo largo de la línea de los nodos, ya que por efectos geométricos es el lugar donde mayor valor de la velocidad de rotación se puede obtener (ver apéndice AII).

Es importante mencionar que si uno supone sólo movimientos Keplerianos entonces la curva de rotación comenzará a decrecer después de cierta distancia, lo cual parece no ser observado, ya que pareciera que las curvas tienden a permanecer planas, de donde se ha propuesto la idea de Halos Supermasivos para explicar este comportamiento.

AII. DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES.

Supongamos que tenemos un sistema de coordenadas polares en el plano del cielo y en el plano de la galaxia (ver Figura AI), en el plano del cielo las coordenadas son (R_{pc}, ϕ) , y en el plano de la galaxia (R_{pg}, θ) . El ángulo entre ambos planos se le denota por i ,

y es 0° cuando el plano del cielo coincide con el plano de la galaxia y 90° , cuando la vemos de canto.

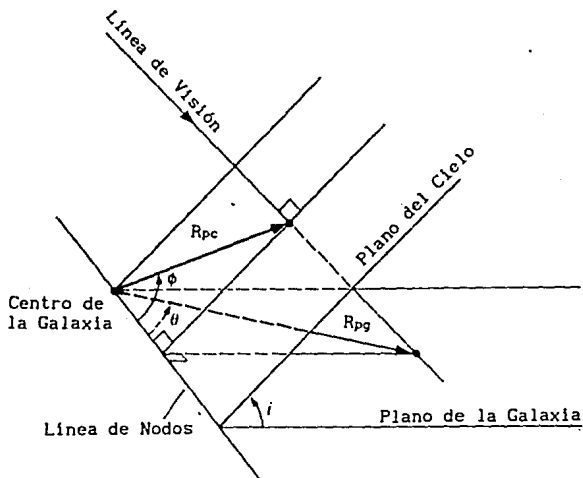


Fig. AI. Geometría de la región considerada.

En un sistema de coordenadas rectangulares en el plano de la galaxia sea X_{pg} y Y_{pg} las componentes del vector R_{pg} , y de la misma manera para el plano del cielo X_{pc} y Y_{pc} , para el vector R_{pc} .

Cada una de estas componentes está definida por:

$$X_{pg} = R_{pg} \cos \theta \quad \text{y} \quad Y_{pg} = R_{pg} \sin \theta \quad (a)$$

$$X_{pc} = R_{pc} \cos \phi \quad \text{y} \quad Y_{pc} = R_{pc} \sin \phi \quad (b)$$

donde la relación existente entre las componentes de ambos planos está dada por:

$$X_{pc} = X_{pg} \quad (c)$$

$$Y_{pc} = Y_{pg} \cos i \quad (d)$$

ahora dividiendo (d) entre (c), se obtiene:

$$\frac{Y_{pc}}{X_{pc}} = \frac{Y_{pg}}{X_{pg}} \cos i$$

$$\frac{R_{pc} \sin \phi}{R_{pc} \cos \phi} = \frac{R_{pg} \sin \theta}{R_{pg} \cos \theta} \cos i$$

$$\tan \phi = \tan \theta \cos i. \quad (e)$$

Por otro lado para obtener la distancia R_{pg} a partir de cantidades observadas tenemos:

$$R_{pg}^2 = X_{pg}^2 + Y_{pg}^2$$

$$R_{pg}^2 = R_{pc}^2 \cos^2 \theta + R_{pg}^2 \sin^2 \theta \quad (f)$$

De (a) y (b) tenemos:

$$R_{pg}^2 \cos^2 \theta = R_{pc}^2 \cos^2 \phi \quad \vee$$

$$R_{pg}^2 \sin^2 \theta = R_{pc}^2 \sin^2 \phi \cos i$$

Sustituyendo en (f) obtenemos:

$$R_{pg}^2 = R_{pc}^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi \sec^2 i) \quad (g)$$

que son las ecuaciones que nos relacionan las componentes de los dos planos. Estas ecuaciones son las que nos ayudan a conocer, a partir de la geometría, las velocidades en el plano de la galaxia. Estas son las usadas en el capítulo III.

AIII. VELOCIDADES RADIALES Y DE ROTACIÓN EN EL PLANO DE LA GALAXIA. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS.

Para entender como a partir de la velocidad proyectada en el plano de la galaxia se obtienen las velocidades radiales y de rotación es necesario entender la geometría del problema, la cual se muestra en la figura AII.

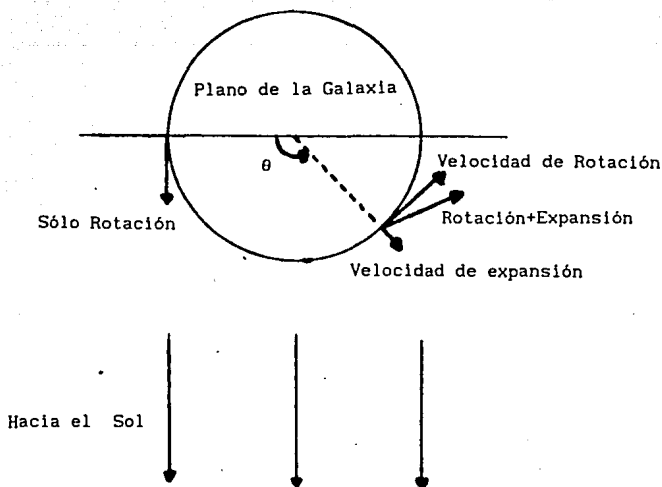


Fig. AII. Geometría en el plano de la galaxia, de la cual se obtienen las velocidades radiales y de rotación, a partir de la velocidad proyectada.

De la figura podemos ver que la velocidad en el plano de la galaxia se puede ver como la suma de una velocidad radial y otra de rotación. La velocidad radial es paralela a radio vector del centro de la galaxia al punto considerado, y la de rotación perpendicular a este radio vector; de donde las proyecciones de estas velocidades sólo dependan del ángulo que el radio vector tenga con la línea de los nodos, donde se puede suponer que la velocidad de rotación es máxima y la radial mínima.

Hay que hacer notar que para galaxias en las cuales sólo se tiene velocidad de rotación, es en la línea de los nodos donde la mayor información de tal velocidad se puede obtener (la velocidad radial sería cero en la figura AII).

Apéndice B

En este apéndice se muestran las tablas con los datos que se tomaron de la literatura (Tabla BI) y las tablas con los resultados obtenidos (Tablas BII y BIII). Como tales tablas ocupaban gran espacio se optó por reducir las, con el fin de ahorrar espacio. Cada una de ellas indica cuales son los datos que estas contiene, así como las unidades de cada una de las columnas.

TABLE BI. (continuation).

●	A.C.	ρ	V _{max}
318	295	55.9	424
319	300	59.6	418
320	300	61.8	418
321	300	41.9	419
322	300	44.3	419
323	300	46.6	415
324	300	48.9	416
325	300	51.3	416
326	300	53.6	416
327	300	55.9	416
328	305	48.1	416
329	305	50.8	415
330	305	53.5	415
331	305	56.1	415
332	305	58.8	414
333	310	42.8	424
334	315	42.8	424
335	315	45.4	416
336	315	48.1	421
337	315	50.8	427
338	315	53.5	426
339	315	56.2	427
340	315	58.8	427
341	330	23.3	378
342	330	25.6	378
343	330	30.3	392
344	330	32.6	384
345	330	35.0	400
346	330	37.2	400
347	330	39.5	400
348	330	41.9	403
349	330	44.3	396
350	330	46.6	389
351	330	48.9	387
352	330	51.3	380
353	330	53.6	389
354	330	55.9	389
355	345	37.4	376
356	345	40.1	380
357	345	42.8	386
358	345	45.4	385
359	345	48.1	385
360	345	50.8	385
361	345	53.5	381

TABLE BII
Velocidades Radiales por Metodo de los Anillos.

●	φ = 123°			φ = 127°			Brake (A, B, C, D)	
	φ (to) (step)	R V _{rad} (km s ⁻¹)	V _{rad} (km s ⁻¹)	φ (to) (step)	R V _{rad} (km s ⁻¹)	V _{rad} (km s ⁻¹)		
1	237	0.94	-186	233	0.93	-185	15.85	
2	237	1.02	-189	233	1.01	-187	25.28	
3	237	1.10	-189	233	1.09	-187	23.23	
4	237	1.18	-189	233	1.17	-189	26.52	
5	237	1.24	-194	233	1.32	-195	36.37	
6	237	1.34	-194	233	1.32	-195	36.37	
7	237	1.41	-200	233	1.40	-195	48.66	
8	237	1.49	-200	233	1.48	-200	61.99	
9	237	1.57	-201	233	1.55	-197	51.94	
10	252	0.98	-186	27.86	2.48	0.97	-185	39.19
11	252	1.06	-189	28.53	2.48	1.05	-187	44.19
12	252	1.14	-189	28.53	2.48	1.13	-189	44.19
13	252	1.22	-191	21.97	2.48	1.21	-189	33.17
14	252	1.30	-199	22.30	2.48	1.29	-189	31.33
15	252	1.38	-199	22.30	2.48	1.37	-195	33.32
16	252	1.46	-200	24.37	2.48	1.45	-200	36.81
17	252	1.55	-201	12.00	2.48	1.54	-197	52.92
18	267	1.16	-189	20.33	2.63	1.15	-189	31.28
19	267	1.24	-191	20.89	2.63	1.24	-189	41.79
20	267	1.32	-199	39.95	2.63	1.32	-195	51.15
21	267	1.41	-200	27.78	2.63	1.40	-200	39.39
22	267	1.49	-200	26.04	2.63	1.48	-200	37.54
23	282	0.82	-185	45.65	2.78	0.82	-183	46.90
24	282	0.90	-186	43.06	2.78	0.89	-185	33.11
25	282	0.99	-186	23.47	2.78	0.99	-185	33.11
26	282	1.07	-189	18.41	2.78	1.07	-187	29.37
27	282	1.15	-189	11.33	2.78	1.15	-189	22.12
28	282	1.23	-191	9.22	2.78	1.24	-189	20.26
29	282	1.32	-191	14.90	2.78	1.32	-195	26.69
30	282	1.40	-199	18.44	2.78	1.40	-200	33.54
31	282	1.48	-200	18.44	2.78	1.48	-200	33.54
32	297	0.86	-185	54.61	2.93	0.97	-185	64.88
33	297	0.96	-185	54.61	2.93	1.05	-187	67.88
34	297	1.04	-189	57.14	2.93	1.05	-187	67.88
35	297	1.12	-189	55.25	2.93	1.13	-189	65.34
36	297	1.20	-191	41.19	2.93	1.21	-189	52.42
37	297	1.28	-191	35.52	2.93	1.29	-189	46.88
38	297	1.36	-200	34.77	2.93	1.37	-195	52.89
39	297	1.44	-200	31.65	2.93	1.45	-200	28.29
40	317	0.83	-185	78.97	3.13	0.84	-183	-60.81
41	317	0.90	-186	-28.79	3.13	0.92	-185	-14.07
42	317	0.98	-186	6.01	3.13	0.99	-185	18.84
43	317	1.05	-189	-12.87	3.13	1.07	-187	1.95
44	317	1.13	-189	14.98	3.13	1.14	-189	26.75
45	317	1.20	-191	13.22	3.13	1.22	-189	45.11
46	317	1.28	-191	38.69	3.13	1.27	-195	52.88
47	317	1.35	-199	38.69	3.13	1.37	-195	52.88
48	317	1.43	-200	7.64	3.13	1.45	-200	20.54
49	317	1.50	-201	-11.80	3.13	1.52	-197	-1.20
50	317	1.58	-201	-18.77	3.13	1.60	-197	-1.30

TABLE B.II (continued)

341	207	0.71	-130	94.20	203	0.70	-183	110.63	*
342	207	0.78	-150	94.20	203	0.77	-183	110.63	*
343	207	0.92	-186	41.56	203	0.91	-185	61.44	*
344	207	1.00	-186	67.97	203	0.98	-185	91.76	*
345	207	1.07	-189	19.97	203	1.06	-187	34.98	*
346	207	1.14	-189	6.77	203	1.16	-189	58.84	*
347	207	1.21	-91	13.29	203	1.26	-189	27.48	*
348	207	1.35	-199	49.25	203	1.34	-195	65.58	*
350	207	1.42	-200	73.97	203	1.41	-200	101.76	*
351	207	1.49	-200	80.57	203	1.47	-200	109.33	*
352	207	1.57	-201	105.28	203	1.55	-197	130.07	*
353	207	1.61	-204	83.70	203	1.59	-197	99.76	*
354	207	1.71	-195	65.93	203	1.69	-198	97.50	*
355	222	1.20	-191	78.20	218	1.27	-189	31.44	*
356	222	1.37	-199	11.34	218	1.36	-195	22.57	*
357	222	1.46	-200	14.61	218	1.44	-200	30.34	*
358	222	1.55	-201	15.52	218	1.52	-197	27.20	*
359	222	1.63	-204	25.32	218	1.61	-198	35.82	*
360	222	1.72	-195	19.49	218	1.69	-198	38.35	*

TABLE B.II (continued)

293	157	1.19	-189	33.15	157	1.21	-189	42.74	*
294	157	1.26	-191	21.72	153	1.28	-189	36.14	*
295	157	1.34	-199	13.86	153	1.35	-195	33.10	*
296	157	1.41	-200	8.14	153	1.42	-200	21.76	*
297	162	0.97	-186	145.79	158	0.98	-185	137.39	*
298	162	1.04	-189	147.68	158	1.05	-187	141.12	*
299	162	1.11	-189	119.31	158	1.12	-195	113.42	*
300	162	1.18	-189	34.70	158	1.19	-189	42.34	*
301	162	1.25	-189	31.09	158	1.27	-189	31.59	*
302	162	1.32	-199	40.47	158	1.33	-195	22.43	*
303	162	1.39	-199	27.90	158	1.40	-200	35.94	*
294	162	1.46	-200	15.92	158	1.47	-200	28.06	*
295	167	1.03	-189	42.80	163	1.04	-187	52.41	*
296	167	1.10	-189	49.22	163	1.11	-189	52.04	*
297	167	1.30	-199	7.32	163	1.32	-195	30.98	*
298	167	1.37	-199	16.05	163	1.38	-195	30.98	*
299	167	1.45	-200	14.40	163	1.46	-200	7.61	*
300	167	0.95	-186	79.15	163	0.95	-185	77.72	*
301	167	1.02	-189	42.80	163	1.03	-187	52.41	*
302	167	1.10	-189	49.22	163	1.11	-189	52.04	*
303	167	1.18	-189	68.50	163	1.19	-189	67.00	*
304	167	1.26	-191	54.98	163	1.27	-189	62.01	*
305	167	1.34	-199	7.32	163	1.35	-195	30.98	*
306	167	1.42	-200	-9.09	163	1.43	-200	17.64	*
307	167	1.50	-200	-12.63	163	1.51	-197	15.65	*
308	167	1.58	-201	-23.28	163	1.67	-198	12.97	*
309	167	1.65	-204	-23.28	163	1.67	-198	12.97	*
310	172	1.09	-189	22.22	168	1.10	-187	35.95	*
311	172	1.16	-189	32.53	168	1.16	-189	35.19	*
312	172	1.22	-191	82.74	168	1.23	-189	76.84	*
313	172	1.29	-191	62.11	168	1.30	-195	39.83	*
314	172	1.36	-199	-29.82	168	1.44	-200	-34.97	*
315	172	1.43	-200	-42.82	168	1.51	-200	-42.82	*
316	172	1.50	-200	-72.83	168	1.51	-197	-23.41	*
317	172	1.57	-201	-109.58	168	1.58	-197	-44.23	*
318	172	1.63	-204	-64.90	168	1.64	-198	0.50	*
319	177	1.09	-189	104.16	173	1.09	-187	69.70	*
320	177	1.15	-189	114.27	173	1.16	-189	69.73	*
321	177	1.22	-191	145.53	173	1.22	-189	-37.73	*
322	177	1.29	-191	118.23	173	1.29	-189	-75.05	*
323	177	1.36	-199	34.83	173	1.37	-199	34.83	*
324	177	1.43	-200	-340.82	173	1.43	-200	-134.64	*
325	177	1.49	-200	-340.82	173	1.50	-200	-134.64	*
326	177	1.56	-201	-301.84	173	1.56	-197	-91.11	*
327	177	1.63	-204	-457.95	173	1.63	-198	-144.82	*
328	182	1.40	-199	492.77	178	1.40	-195	398.94	*
329	182	1.48	-200	557.16	178	1.48	-200	-557.16	*
330	182	1.56	-201	580.62	178	1.56	-197	-486.79	*
331	182	1.63	-204	650.99	178	1.63	-198	-510.24	*
332	182	1.71	-195	398.74	168	1.71	-189	-34.53	*
333	192	1.26	-189	-27.48	188	1.25	-189	-32.53	*
334	192	1.33	-199	58.88	188	1.33	-195	64.92	*
335	192	1.41	-200	28.03	188	1.41	-200	62.51	*
336	192	1.49	-200	-13.62	188	1.48	-200	0.65	*
337	192	1.57	-201	-2.82	188	1.56	-197	-6.52	*
338	192	1.65	-204	-5.15	188	1.64	-198	-21.31	*
339	192	1.73	-195	-32.89	188	1.72	-211	-64.77	*

TABLA BIII

Velocidades radiales por el método de L.N.

n	$\phi_n = 123^\circ$		$\phi_n = 127^\circ$		Dato (A, B, ?)		
	R (s)	Vrad (km s ⁻¹)	R (s)	Vrad (km s ⁻¹)			
1	237	0.94-186	4.16	233	0.93-185	15.85	A
2	237	1.02-180	8.86	233	1.03-176	18.49	A
3	237	1.10-170	14.90	233	1.11-170	24.93	A
4	237	1.18-160	21.80	233	1.17-178	31.73	A
5	237	1.26-182	15.85	233	1.24-181	27.72	A
6	237	1.34-185	17.45	233	1.32-184	29.58	A
7	237	1.41-191	32.49	233	1.40-184	41.87	A
8	237	1.49-191	42.36	233	1.48-191	56.43	A
9	237	1.57-196	37.12	233	1.55-195	50.71	A
10	252	0.98-186	27.86	248	0.97-185	38.19	A
11	252	1.06-180	44.71	248	1.05-180	54.25	A
12	252	1.14-178	29.33	248	1.13-178	40.55	A
13	252	1.22-182	19.57	248	1.21-181	30.52	A
14	252	1.30-185	18.57	248	1.29-181	28.68	A
15	252	1.38-185	17.45	248	1.37-184	29.68	A
16	252	1.46-191	21.97	248	1.45-191	33.83	A
17	252	1.55-196	10.67	248	1.54-195	22.30	A
18	267	1.08-180	14.71	263	1.07-178	20.17	A
19	267	1.16-180	20.50	263	1.15-178	30.17	A
20	267	1.24-182	30.50	263	1.22-184	40.98	A
21	267	1.32-185	39.35	263	1.32-184	50.05	A
22	267	1.41-191	27.40	263	1.40-191	38.49	A
23	267	1.49-191	25.65	263	1.48-191	36.73	A
24	282	0.82-185	45.65	278	0.82-183	56.15	7
25	282	0.90-186	38.40	278	0.91-185	48.90	7
26	282	0.99-186	22.97	278	0.97-185	36.10	7
27	282	1.07-186	17.80	278	1.07-178	30.63	A
28	282	1.15-178	13.25	278	1.15-178	23.38	A
29	282	1.23-182	10.78	278	1.23-181	21.28	A
30	282	1.32-185	17.34	278	1.32-184	27.96	A
31	282	1.40-185	20.88	278	1.40-191	30.66	A
32	297	0.88-185	70.14	293	0.89-183	80.34	7
33	297	0.96-186	54.61	293	0.97-185	64.88	7
34	297	1.04-180	60.90	293	1.05-176	69.10	7
35	297	1.12-180	44.94	293	1.11-178	55.20	A
36	297	1.20-182	21.13	293	1.21-181	32.86	A
37	297	1.28-182	39.28	293	1.29-181	49.66	A
38	297	1.36-185	39.92	293	1.37-184	50.46	A
39	297	1.44-191	20.41	293	1.45-191	31.42	A
40	317	0.83-185	78.97	313	0.84-183	80.81	7
41	317	0.90-186	68.79	313	0.92-185	74.07	7
42	317	0.98-186	6.01	313	0.99-185	18.84	7
43	317	1.05-180	44.76	313	1.04-178	35.16	7
44	317	1.12-180	21.13	313	1.12-181	32.86	A
45	317	1.20-182	37.37	313	1.20-181	48.22	A
46	317	1.28-182	39.28	313	1.29-181	49.66	A
47	317	1.35-185	50.98	313	1.37-184	61.29	A
48	317	1.43-191	15.55	313	1.45-191	27.42	A
49	317	1.50-196	-7.41	313	1.52-195	6.81	A
50	317	1.58-196	-14.37	313	1.60-195	0.23	A

TABLA BIII (cont.)

51	322	1.05-186	38.30	318	1.04-185	48.51	7
52	322	1.11-178	48.30	318	1.12-178	57.26	7
53	322	1.18-178	35.67	318	1.20-178	45.48	A
54	322	1.25-182	31.47	318	1.27-181	42.75	A
55	322	1.33-185	13.17	318	1.35-184	25.88	A
56	322	1.40-191	44.77	318	1.42-191	54.86	A
57	327	0.87-185	10.80	323	0.88-183	25.11	7
58	327	0.94-186	10.11	323	0.96-185	11.41	7
59	327	1.02-180	10.11	323	1.03-176	30.14	7
60	327	1.09-180	36.75	323	1.10-178	48.57	A
61	327	1.16-178	53.31	323	1.18-178	61.45	A
62	327	1.23-182	39.84	323	1.25-181	50.46	A
63	327	1.30-185	64.12	323	1.32-184	72.95	A
64	327	1.38-185	72.54	323	1.40-184	80.68	A
65	327	1.45-191	56.55	323	1.47-191	75.24	A
66	327	1.52-196	51.41	323	1.52-196	44.45	A
67	327	0.87-185	10.80	323	0.88-183	25.11	7
68	327	0.94-186	10.11	323	0.96-185	4.91	A
69	327	1.02-180	14.30	323	1.03-176	30.14	7
70	327	1.09-180	36.75	323	1.10-178	48.57	A
71	327	1.16-178	53.31	323	1.18-178	61.45	A
72	327	1.23-182	39.84	323	1.25-181	70.96	A
73	327	1.30-185	72.54	323	1.40-184	80.68	A
74	327	1.38-185	72.54	323	1.47-191	85.34	A
75	327	1.45-191	56.55	323	1.52-196	58.42	A
76	327	1.52-196	47.44	323	1.60-196	44.45	A
77	327	1.60-196	31.41	323	1.62-196	44.45	A
78	327	0.64-191	77.20	328	0.65-155	130.26	7
79	327	0.71-191	77.20	328	0.72-155	130.26	7
80	327	1.00-186	5.15	328	1.00-176	13.62	7
81	327	1.08-186	5.15	328	1.09-176	13.62	7
82	327	1.16-178	7.56	328	1.16-178	19.62	7
83	327	1.24-182	27.02	328	1.23-181	38.68	A
84	327	1.32-185	52.64	328	1.30-184	57.75	A
85	327	1.40-185	67.23	328	1.37-184	74.99	A
86	327	1.48-191	54.78	328	1.45-191	62.94	A
87	327	1.56-196	32.37	328	1.52-195	37.58	A
88	327	1.64-191	20.21	328	1.62-196	44.45	A
89	327	1.06-180	20.21	328	1.07-176	27.13	7
90	327	1.14-178	8.91	328	1.14-178	12.19	7
91	327	1.22-182	39.08	328	1.21-181	15.99	7
92	327	1.30-185	48.45	328	1.28-181	49.00	A
93	327	1.38-185	48.45	328	1.35-184	57.38	A
94	327	1.47-191	59.61	328	1.42-191	65.93	A
95	327	1.55-196	80.28	328	1.52-195	85.91	A
96	327	1.63-204	49.68	328	1.64-196	71.10	A
97	327	1.06-180	20.21	328	1.07-176	27.13	7
98	327	1.14-178	8.91	328	1.14-178	12.19	7
99	327	1.22-182	39.08	328	1.21-181	15.99	7
100	327	1.30-185	48.45	328	1.28-181	49.00	A
101	327	1.38-185	48.45	328	1.35-184	57.38	A
102	327	1.46-191	59.61	328	1.42-191	65.93	A
103	327	1.54-196	80.28	328	1.52-195	85.91	A
104	327	1.62-204	49.68	328	1.64-196	71.10	A
105	327	1.55-196	80.28	328	1.57-195	85.91	A
106	327	1.63-204	68.63	328	1.64-196	71.10	A
107	327	0.69-204	68.63	328	0.70-210	63.00	A
108	342	0.97-186	-24.44	338	0.98-183	-47.59	A

TABLE BIII (continuación)

341	207	0.71	-191	95.81	203	0.70	-155	56.60	-
342	207	0.78	-191	95.81	203	0.77	-155	56.60	-
343	207	0.92	-186	41.56	203	0.91	-185	61.44	-
344	207	1.00	-186	67.97	203	0.98	-185	91.76	-
345	207	1.07	-180	5.51	203	1.06	-176	13.76	-
346	207	1.14	-178	-10.91	203	1.12	-178	12.46	-
347	207	1.28	-182	-1.72	203	1.26	-188	12.04	-
348	207	1.28	-182	-1.72	203	1.26	-188	12.04	-
349	207	1.35	-185	26.75	203	1.34	-184	44.35	-
350	207	1.42	-191	59.50	203	1.41	-191	84.39	-
351	207	1.49	-191	66.10	203	1.47	-191	91.97	-
352	207	1.57	-196	97.25	203	1.55	-195	126.21	-
353	207	1.61	-204	83.70	203	1.59	-195	95.90	-
354	207	1.71	-194	64.32	203	1.69	-196	94.04	-
355	222	1.20	-182	19.44	218	1.19	-188	23.05	-
356	222	1.27	-185	1.40	218	1.26	-184	11.04	-
357	222	1.37	-185	-1.40	218	1.36	-184	11.04	-
358	222	1.46	-191	6.42	218	1.44	-191	20.91	-
359	222	1.55	-196	10.97	218	1.52	-195	25.10	-
360	222	1.63	-204	25.32	218	1.61	-196	33.73	-
361	222	1.72	-194	18.58	218	1.69	-196	36.25	-

Apéndice C

Aquí se muestran las rutinas que se utilizaron para obtener los valores de las tablas BII y BIII. Estas están escritas en Turbo Pascal V. Aquí sólo se listan los procedimientos más importantes, ya que existen otro de menor importancia, que además son triviales. Por otro lado debido a la similitud, entre algunos de los procedimientos, sólo se decidió incluir uno de ellos ya que las diferencias entre uno y otro son mínimas.

PROCEDIMIENTOS USADOS PARA CALCULAR LOS VALORES OBTENIDOS

Declaración de constantes y variables.

```
const
  n = 361;
  DD = 6E+3;
  velc = 314.0;
type
  datos = array [1..3,1..n] of real;
  dat = array [1..2,1..n] of real;
var
  pru : text;
  A : datos;
  C : dat;
  RR,RR1,RR2,enrad,i1 : real;
  RRR,RR11,RR21,f11,f101 : real;
  f1,f10,Rinf,Rsup,Ve,Vr : real;
  Vel,Vr1 : real;
  i, j, k, ni, nf : integer;
```

Procedimiento que calcula la θ a partir de ϕ .

```
function Fteta(f1 : real) : real;
begin
  if f1*enrad <= pi/2 then
    Fteta := arctan ((1/cos(i1 * enrad)) * sin(f1*enrad)/cos(f1*enrad));
  if ( f1*enrad > pi/2 ) and ( f1*enrad < pi ) then
    Fteta := arctan ((1/cos(i1 * enrad)) * sin(f1*enrad)/cos(f1*enrad)) + pi;
  if ( f1*enrad > pi ) and ( f1*enrad <= 3*pi/2 ) then
    Fteta := arctan ((1/cos(i1 * enrad)) * sin(f1*enrad)/cos(f1*enrad)) + pi;
  if ( f1*enrad > 3*pi/2 ) and ( f1*enrad <= 2*pi ) then
    Fteta := arctan ((1/cos(i1 * enrad)) * sin(f1*enrad)/cos(f1*enrad)) + 2*pi;
end;
```

Procedimiento que calcula el valor de R y evalua cual es la velocidad de rotación que le corresponde calculando después la velocidad radial.

```
for i := 1 to 361 do
begin
  f1 := A[1,i] - f10 ;
  if f1 < 0 then
    f1 := f1 + 360;
    RR := (1/206265)*A[2,i]*DD;
    RR1 := sqrt ( cos ( f1 * enrad));
    RR2:= sqrt ( sin (f1 * enrad)) * sqrt( 1/cos ( i1*enrad ));
    RR := RR * sqrt(RR1 + RR2);
    if ( RR >= 0.6 ) and ( RR <= 0.7 ) then Vr := -190
  else
    :
  end.
  Ve := (1/sin(Fteta(f1))) * (((A[3,i]-velc)/sin(i1*enrad)) - Vr*cos(Fteta(f1)));
end.
```

Procedimiento que calcula los Mísimos Cuadrados.

```
procedure mincuad( C : dat ; jj : integer);
const
  velc = 314.0;

var
  teta, f11, incl1, vc, vs, sc, s2, c2, Vr, Ve : float;
  Vp : float;

begin
  vc := 0; vs := 0; sc := 0; s2 := 0; c2 := 0;
  incl1 := 1/sin(ii*enrad);
  writeln(jj);
  for j := 1 to jj do
    begin
      Vp := (C[2, j] - velc)*incl1;
      f11 := C[1, j];
      teta := Fteta(f11);
      vc := Vp * cos(teta) + vc;
      vs := Vp * sin(teta) + vs;
      sc := sin(teta) * cos(teta) + sc;
      s2 := sqr(sin(teta)) + s2;
      c2 := sqr(cos(teta)) + c2
    end;
  Vr := (sc*vs - s2*vc)/(sqr(sc)-s2*c2);
  Ve := (sc*vc - c2*vs)/(sqr(sc)-s2*c2);
  writeln('Vel rot', Vr:8:2, ' Vel exp', Ve:8:2);
  repeat until KeyPressed;
end;
```

Procedimiento que calcula los Mísimos Cuadrados por Anillos.

```
for i := 1 to n do
begin
  f1 := A[1, i] - f10 ;
  if f1 < 0 then
    f1 := f1 + 360;
  RR := (1/206265)*A[2, i]*DD;
  RR1 := sqr ( cos ( f1 * enrad ) );
  RR2 := sqr ( sin ( f1 * enrad ) ) * sqr( 1/cos ( ii*enrad ) );
  RR := RR * sqrt(RR1 + RR2);
  if ( RR >= Rinf ) and ( RR <= Rsup ) then
    begin
      j := j + 1;
      C[1, j] := f1;
      C[2, j] := A[3, i];
    end
  end;
mincuad(C, j);
end.
```


Referencias

Capítulo I

- Begelman, M.C., Blandford, R.D., Rees, M.J.: 1984, **Rev. Mod.Phys.**, **56**, 255.
- Brecher, K.: 1977, en **Frontiers of Astrophysics**, ed. E.H. Avrett (Harvard University Press: Cambridge).
- Buta, R. y de Vaucouleurs, G.: 1983, **Ap. J.**, **266**, 1.
- Burbidge, E.M.: 1967, **Ann. Rev. Astr. Ap.**, **5**, 399.
- de Vaucouleurs, G.: 1956, **Mem. Com. Obs. Mt. Stromlo**, vol.3, No. 13.
- Duval, M.F.: 1977, **Astrophys. and Space Sci.**, **48**, 103.
- García-Barreto, J.A. y Pişmiş, P.: 1985 **Bull. A.A.S.**, **17**, 873.
- Gottesman, S.T., Lucas, R., Weliachew, L. y Wright, M.C.M.: 1976, **Ap. J.**, **204**, 699.
- Kellermann, K.I., Pauliny-Toth, I.I.K.: 1981, **Ann. Rev. Astron. Astrophys.**, **19**, 373.
- Kruit, P.C. van der: 1976, **Astr. Ap.**, **52**, 85.
- Lindblad, P.O. y Jörsäter, S.: 1981, **Astr. Ap.**, **97**, 56.
- Mc Ilwrat, B.K., Stannard, D.: 1980, **M.N.R.A.S.**, **192**, 79.
- Miley, G.: 1980, **Ann. Rev. Astr. Ap.**, **18**, 165.
- Osterbrock, D.E.: 1979, en **Active Galactic Nuclei**, ed. C.Hazard y S. Mitton (Cambridge University Press, Cambridge).
- Osterbrock, D.E.: 1990, Preprint.
- Pişmiş, P.: 1961, **Bol. Obs. Tonatzintla y Tacubaya**, **3**, 3.
- Pişmiş, P. y Moreno, E.: 1984, **Astrofizika**, **20**, 7.
- Pişmiş, P.: 1986, **Revista Mexicana de Astron. y Astrof.**, **12**, 79.
- Rubin, V.C. y Ford, W.K.: 1970, **Ap. J.**, **159**, 379.
- Rubin, V.C., Thonnard, N. y Ford, W.K.: 1975a, **Ap. J.**, **199**, 31.
- Rubin, V.C., Ford, W.K. y Peterson, C.J.: 1975b, **Ap. J.** **199**, 39.
- Rubin, V.C., Thonnard, N. y Ford, W.K.: 1977, **Ap. J. Lett.** **217**, L1.

- Schmidt, J.L.: 1968, *Nature*, **218**, 663.
- Schommer, R. y Sullivan, W.: 1976, *Ap. Letters*, **17**, 191.
- Sersic, J.L. y Pastoriza, M.: 1965, *Publ. A.S.P.*, **77**, 287.
- Seyfert, C.K.: 1943, *Ap. J.*, **97**, 28.
- Simkin, S.M.: 1975, *Ap. J.*, **195**, 293.
- Stein, W.A., O'Dell, S.L., Strittmatter, P.A.: 1976, *Ann. Rev. Astr. Ap.*, **14**, 173.
- Steppe, H.: 1984, *The Messenger (ESO)*, **35**, 35.
- Ulrich, M.H.: 1973, *Ap. J.*, **181**, 51.
- Ulrich, M.H.: 1978, *Ap. J.*, **219**, 424.
- Walker, M.F.: 1968, *Ap. J.*, **151**, 71.
- Weiler, K.W., Johnston, K.J.: 1980, *M.N.R.A.S.*, **190**, 269.

Capítulo II

- Bosma, A., van der Hulst, J.M. y Sullivan, W.T.: 1977, *Astr. Ap.*, **57**, 373.
- Burbidge, G.R. y Burbidge, E.M.: 1962, *Ap. J.*, **135**, 366.
- Buta, R.: 1988, *Ap. J. Suppl.*, **66**, 233.
- Chincarini, G. y Walker, M.F.: 1967, *Ap. J.*, **147**, 407.
- de Bruyn, A.G.: 1977, *Astr. Ap.*, **54**, 491.
- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A. y Corwin, H.: 1976, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (Austin: University of Texas Press)(RC2).
- Duflot, R.: 1962, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **255**, 2714.
- Duric, N. y Dittmar, M.R.: 1988, *Ap. J.*, **332**, L67.
- Garman, L.E. y Young, J.S.: 1986, *Astr. Ap.*, **154**, 8.
- Heckman, T.M.: 1980, *Astr. Ap.*, **87**, 152.
- Lynds, B.T.: 1974, *Ap. J. Suppl.*, **28**, 391. Sandage, A.R.: 1961, *The Hubble Atlas* (Washington, D.C.:Carnegie Institution of Washington).
- Sandage, A.R. y Tammann G.: 1981, *A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies* (Carnegie Inst. Washington Pub., No. 635)(RSA).
- van der Kruit, P.C.: 1971, *Astr. Ap.*, **15**, 110
- van der Kruit, P.C.: 1974, *Ap. J.* **188**, 3.
- van der Kruit, P.C.: 1976a, *Astr. Ap. Suppl.*, **25**, 527.

- van der Kruit, P.C.: 1976b, **Astr. Ap.**, **52**, 85.
Walker, C.E., Lebofsky, M.J. y Rieke, G.H.: 1986, **Ap. J.**, **325**, 687.
Weedman, D.W y Williams, K.L.: 1987, **Ap. J.**, **318**, 585.

Capítulo III

- Bajpai, A.C., Calus, I.M. y Fairley, J.A.: 1977, **Numerical Methods for Engineers and Scientist**. Ed. John Wiley & Sons.
Burbidge, G.R. y Burbidge, E.M.: 1962, **Ap. J.**, **135**, 366.
de Bruyn, A.G.: 1977, **Astr. Ap.**, **54**, 491.
Mihalas D. y Binney J.: 1981, **Galactic Astronomy**. Ed. W. H. Freeman and Company.any.
van der Kruit, P.C.: 1976a, **Astr. Ap. Suppl.**, **25**, 527.
van der Kruit, P.C.: 1976b, **Astr. Ap.**, **52**, 85.
Pişmiş, P.: 1961, **Bol. Obs. Tonatzintla y Tacubaya**, **3**, 3.
Pişmiş, P. y Moreno, E.: 1984, **Astrofizika**, **20**, 7.
Pişmiş, P.: 1986, **Revista Mexicana de Astron. y Astrof.**, **12**, 79.

Capítulo IV

- Antonov, V.A. y Zheleznyak, O.A.: 1989, **Astrofizika**, **29**, 178.
Buta, R.: 1988, **Ap. J. Suppl.**, **66**, 233.
Combes, F. y Gerin, M.: 1985, **Astr. Ap.**, **150**, 327.
Duric, N. y Dittmar, M.R.: 1988, **Ap. J.**, **332**, L67.
Garman, L.E. y Young, J.S.: 1986, **Astr. Ap.**, **154**, 8.
Heckman, T.M.: 1980, **Astr. Ap.**, **67**, 152.
Lynden-Bell y Ress, M.J.: 1971, **M.N.R.A.S.**, **152**, 461.
Osterbrock, D.E.: 1990, Preprint.
Sanders, R.H. y Bania, T.M.: 1976, **Ap. J.**, **204**, 341.

- Schommer, R. y Sullivan, W.: 1976, **Ap. J. Letters**, **17**, 191.
- Schwarz, M.P.: 1981, **Ap. J.** **247**, 77.
- Schwarz, M.P.: 1984, **M.N.R.A.S.**, **209**, 93.
- van der Kruit, P.C.: 1971, **Astr. Ap.**, **15**, 110
- van der Kruit, P.C.: 1976b, **Astr. Ap.**, **52**, 85.
- Walker, C.E., Lebofsky, M.J. y Rieke, G.H.: 1988, **Ap. J.**, **325**, 687.
- Weedman, D.W y Williams, K.L.: 1987, **Ap. J.**, **318**, 585.