

TRABAJO DE
PRACTICA DE LA ESPECIALIDAD

Tema:

Estudio CCD
de la galaxia enana D2
asociada con NGC 3115

FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS
LA PLATA

Alumno: Sergio Aldo Cellone
Director: Dr. Juan Carlos Forte

1988

1) Introducción

A falta de una distinción precisa entre galaxias normales y enanas, Tammann (1980) propone esta última denominación para las galaxias con $M_{BT} > -16$. Así consideradas las enanas serían más numerosas que las normales, aunque contribuirían muy poco a la masa total del Universo y cerca de un 2% a la luz total.

Dentro de esta categoría (al igual que entre las normales) se observan objetos de alto brillo superficial y objetos de bajo brillo superficial (LSB). Los primeros comprenden a las galaxias elípticas tipo M32 y a las enanas compactas azules (BCD).

Las LSB se pueden dividir en dos tipos morfológicos:

a) Elípticas enanas (dE); de aspecto "liso", tienen isofotas elípticas con simetría central.

b) Irregulares enanas (dI ó dIm); presentan "manchas" (asociaciones estelares o regiones HII) sobre un fondo LSB.

En el rango $-18 < M_{BT} < -15$ coexisten elípticas tipo M32 y LSB. A éstas últimas se reserva la denominación dE, quedando las primeras como la extensión hacia magnitudes débiles de las E clásicas (Wirth & Gallagher 1984).

Características de las dE

Núcleos:

Sandage & Binggeli (1984) encuentran en Virgo que el 80% de las galaxias con $B > 14$ son dE y el 20% son dI. Algunas de las dE tienen un núcleo de aspecto estelar (dE,N); casi el 100% de las dE más brillantes son nucleadas, y el porcentaje decrece para las más débiles, sin llegar a hacerse cero. No hay dI nucleadas.

Función de luminosidad:

Siempre creciente, hasta el límite de completitud $B \approx 18$ mag.

(Sandage et al. 1985).

Perfiles:

A diferencia de las E clásicas, sus perfiles no pueden ajustarse con una función $r^{1/4}$. Los mejores ajustes se obtienen con una exponencial o con un perfil de Demler (Caldwell 1983; Binggeli et al. 1984; Karachentseva et al. 1984; Ichikawa et al. 1986).

Otros autores usan modelos de King de baja concentración (Wirth & Gallagher 1984).

Achatamientos:

Tanto Caldwell (1983) como Ichikawa et al. (1986) coinciden en que la distribución observada de achatamientos para las dE se asemeja más a la de las E brillantes o a la de las Sdm-Sm-Im que a la de las espirales tempranas (Sa--Sd). Concluyen que a pesar de sus perfiles exponenciales las dE no están dominadas por una componente de disco.

Van den Bergh (1985) encuentra un exceso de galaxias casi esféricas entre las dE,N respecto de las no nucleadas.

Brillo superficial:

Tanto el brillo superficial central (μ_0) como el efectivo (μ_e) decrecen con M_{br} más débil (Binggeli et al. 1984). Valores típicos de μ_{0v} : entre 21 y 25 m/m'' (Caldwell & Bothun 1987).

Colores:

Caldwell (1983) halla una relación lineal entre $(U-V)_0$ y V_{26} , que extiende la conocida para E normales (las más brillantes son más rojas).

Bothun & Caldwell (1984): los (B-H) son más azules que los de las E normales; esto implica una menor metalicidad o una menor

edad de las dE. No encuentran diferencias de color (J-H) entre el núcleo y los alrededores en las dE,N.

Bothun et al. (1985): los colores (J-K) de galaxias dE en Virgo son semejantes a los de cúmulos globulares galácticos ricos en metales. En promedio las dE son 1.3 mag. más rojas en (B-H) y 0.4 mag. más rojas en (B-V) que las dI.

Caldwell & Bothun (1987): las dE en Fornax tienen (B-V) entre 0.48 y 0.87 .

Los índices de color en las bandas J, H y K (infrarrojo cercano) reflejan una menor metalicidad de las dE con respecto a las E y S0 normales (Thuan 1985).

Espectros:

Sólo se pueden tomar para galaxias dE,N. Se observan líneas de Balmer débiles (población vieja); las líneas H y K varían de una galaxia a otra (distintas metalicidades) (Bothun et al. 1985).

Hidrógeno neutro:

Fuera del Grupo Local no se detectó HI en ninguna dE (NGC 205 tiene $m_{\text{HI}}/M_{\text{HI}} = 7 \times 10^{-5}$).

Sí se ha detectado en muchas dI una gran masa fraccional de HI (Bothun et al. 1985; Hunter & Gallagher 1985).

Continuo de radio:

Se detecta en algunas dI pero no en las dE (Klein 1986; Altschuler et al. 1987).

Hipótesis evolutivas:

Se plantean tres alternativas:

a) Las dE son remanentes de galaxias dI que perdieron su gas y cesaron de formar estrellas.

Las evidencias observacionales a favor son la similitud de sus

respectivos perfiles (Kormendy 1985; Vigroux et al. 1986), y el aumento de la razón de densidades superficiales dE/dI en las zonas más densas del cúmulo de Virgo (Binggeli et al. 1987).

b) Las dE y las dI representan secuencias paralelas de galaxias enanas separadas por una diferencia intrínseca en densidad superficial de masa.

Apoyan esto las diferencias entre las distribuciones de achatamientos de las dE y las dI (las dE son más esféricas), y la ausencia de núcleos en las dI (van den Bergh 1986; Ichikawa et al. 1986).

Aparte, Hunter & Gallagher (1985) muestran que las dI son más difusas que las dE , entonces no podrían evolucionar como se sugiere.

Bothun et al. (1986), usando $(J-K)$ como indicador obtienen menor metalicidad en las dI (coinciden con Thuan 1985).

Nakamura & Tosa (1987) presentan un modelo teórico de una dE como un ensamble de nubes de gas que sufre pérdidas de masa por vientos de supernovas y siguen su evolución estructural mediante simulación de N -cuerpos. Explican la baja densidad superficial de masa de las dE , pero no la presencia de núcleos.

c) Silk et al. (1987) proponen un modelo según el cual en épocas más tempranas del Universo una primera generación de galaxias enanas perdió su gas tras un proceso de formación estelar global. En la actualidad, este gas (algo enriquecido) sería capturado por las galaxias con menor velocidad, dando origen a las dI . Las dE,N serían el resultado de un segundo estallido de formación estelar, aunque no reciente.

Las predicciones de este modelo son consecuentes con los datos observacionales existentes.

Justificación del trabajo

Hanes & Harris (1986) observaron la galaxia NGC 3115, una S0 cercana y aislada, y calcularon el número de cúmulos globulares asociados a la misma (N_t).

Definiendo la frecuencia específica (S) como

$$S = N_t / L$$

donde L = luminosidad de la galaxia en unidades de $M_v = -15$ obtienen para NGC 3115 dos resultados posibles:

$$N_t = 500 \text{ cúm.} \quad d = 8 \text{ Mpc}$$

$$N_t = 700 \text{ cúm.} \quad d = 12 \text{ Mpc}$$

Al 1er. caso corresponde: $S = 2.7 \pm 0.6$

y al 2do. : $S = 1.7 \pm 0.4$

que son valores comparables al de la Vía Láctea ($S \approx 2$).

Aparentemente asociada a NGC 3115 se encuentra la galaxia de nucleada D2 (N3115 DW1 en Caldwell 1983 y Caldwell & Bothun 1987). Procediendo análogamente obtienen:

$$S = 8.5 \pm 4.0$$

$$S = 4.6 \pm 2.2$$

Lo que da una relación de frecuencias específicas

$$S(D2) / S(N3115) \approx 3$$

Uno de los objetivos del presente trabajo es intentar discernir si N3115-D2 tiene realmente un exceso de cúmulos globulares o si se trata de otro tipo de objetos (galaxias de fondo).

Además se pretende analizar las características del núcleo. Si los colores ópticos del mismo difieren poco de los del resto de la galaxia implicaría que el núcleo es un fenómeno dinámico,

mientras que de ser más azules aportarían evidencia de un proceso de formación estelar reciente.

2) Observaciones y manejo de datos

Se obtuvieron imágenes CCD de N3115-D2 la noche del 6-7 de febrero de 1987, en el foco Cassegrain del telescopio de 0.9 m (f/13.5) de Cerro Tololo (CTIO). La escala es de 16.5"/mm.

El detector utilizado es un CCD RCA con las siguientes características:

Formato: 320 x 512 pixels

Tamaño pixel: 30 μ

Ruido lectura [e/rms]: 83

Rango long. onda [Å]: 3500-10000

Dewar: 160K

Filtros:

Se utilizaron el B y el V del sistema de Johnson, y el R y el I del sistema de Kron-Cousins.

Se obtuvieron 3 imágenes en cada banda, todas con el mismo tiempo de exposición de 240 seg.

Las imágenes, corregidas por bias y campo plano, quedaron registradas en cinta de computación en formato FITS.

Calibración fotométrica:

Para determinar el punto de cero de las magnitudes se contó con una imagen en cada banda de la estrella standard 102-276 (Landolt 1983). Se obtuvieron las siguientes correcciones:

$$C_v = -12.64 \quad C_{bv} = 0.31$$

$$C_{vr} = 0.52 \quad C_{vi} = 1.21$$

Procesamiento de los datos

Se utilizaron los programas para el procesamiento de imágenes disponibles para la computadora HP-1000 de esta Facultad, escritos por miembros del Departamento de Fotometría. En algunos casos los programas debieron modificarse a fin de hacerlos adecuados para galaxias enanas.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

Desplazamiento de todas las imágenes a un marco de referencia común, previa determinación de los centroides de objetos de apariencia estelar.

Suma de las tres imágenes correspondientes a cada color, a efectos de aumentar la relación señal/ruido, normalmente baja para galaxias LSB.

A partir de las cuatro imágenes resultantes, obtención de imágenes filtradas por mediana, con una ventana de 3x3 pixels, a fin de lograr imágenes más "suaves" (esto es, con mejor señal/ruido).

3) Perfil fotométrico de la galaxia:

Para determinar la relación de semiejes b/a y el ángulo de posición φ se utilizó el programa "BANDA" con las imágenes filtradas, que para un φ , b/a y radio dados mide el brillo superficial en función de la coordenada angular. Para cada valor del radio, se consideró la elipse sobre la cual el promedio de las magnitudes tenía menor dispersión. Promediando para todos los radios se obtuvo b/a y φ para cada color.

Los valores correspondientes a los distintos colores coinciden dentro del error. (Ver tabla II).

La determinación del nivel de cielo se hizo tomando el promedio de intensidad en cuatro zonas de 10x10 pixels en los ángulos de

la imagen donde no hay contribución de la galaxia, ni estrellas ni pixels malos.

Con este valor I_c y otros dos valores I_{c+} se corrió el programa "PERFE" (modificado), que calcula el brillo superficial medio en función del radio sobre elipses de radio creciente.

En la fig.1 se muestran los perfiles obtenidos (banda V).

Se nota que el valor del cielo afecta la forma del perfil en las zonas externas de la galaxia, o sea las de más bajo brillo superficial. Se consideró correcto el nivel de cielo para el cual las zonas externas siguen el comportamiento de las internas. Dado que la forma de los perfiles (con $r > 5''$) es similar para las distintas bandas (no hay gradiente radial de color) se pudieron comparar entre sí los perfiles obteniéndose los colores del halo en forma independiente del modelo adoptado para el mismo (ver Tabla I).

De la fig.1 se nota que los puntos pueden ajustarse aceptablemente bien con una recta, o sea con un modelo de perfil exponencial, que es el normalmente encontrado en la literatura.

Para confirmar esto, siguiendo la idea de Wirth & Gallagher (1984), se calculó μ/r . Si el perfil sigue una ley exponencial:

$$I = I_0 \exp(-\alpha r)$$

en magnitudes por segundo cuadrado:

$$\mu = \mu_0 + 1.086 \alpha r$$

entonces:

$$\Delta \mu / \Delta r = \text{cte.}$$

mientras que si sigue una ley r^{-4} , $\Delta \mu / \Delta r$ decrece con r .

En la fig.2 se puede apreciar que $\Delta \mu / \Delta r$ es prácticamente constante, justificándose así la adopción de un modelo

exponencial.

Parámetros del modelo de halo:

Ajustando gráficamente una recta a cada perfil se obtuvieron el brillo superficial central μ_0 y la pendiente α para cada banda. Los valores se dan en la tabla II junto a las magnitudes integradas.

El centro de simetría del halo se calculó con el programa "MAC" (autocorrelación de la imagen con su imagen especular). Coincide con el centro del núcleo.

Propiedades globales:

A partir del modelo de halo se calcularon: el diámetro de la isofota de $25 \text{ m}_e / d''$ (D_{25}); la magnitud azul integrada dentro de la isofota $26 \text{ m}_e / d''$ (B_{26}); el radio efectivo (r_e), y el brillo superficial medio dentro del radio efectivo ($\langle \mu_{re} \rangle_e$).

A fin de comparar con la fotometría de Caldwell (1983), se midieron las magnitudes de toda la galaxia (incluyendo al núcleo) dentro de un diafragma de $58''.6$.

En la columna 2 de la tabla III se dan estos valores. Los que son dependientes de la distancia (Hanes & Harris, 1986, dan para NGC 3115 $d=10 \text{ Mpc}$) se corrigieron al doble de distancia para comparar con las galaxias de Virgo (col. 3). La columna 4 son los valores de Caldwell (1983) y la 5 los de Caldwell & Bothun (1987), éstos últimos situando N3115-D2 al doble de distancia.

Tabla I Colores del halo

$\langle B-V \rangle = 0.82 \pm .05$	$\langle B-V \rangle_o = 0.80 \pm .03$
$\langle V-R \rangle = 0.48 \pm .03$	$\langle V-R \rangle_o = 0.46 \pm .03$
$\langle V-I \rangle = 1.18 \pm .03$	$\langle V-I \rangle_o = 1.15 \pm .03$

o : corregidos por absorción galáctica

Tabla II Parámetros del modelo de halo

Banda	μ	κ [seg ⁻¹]	φ [°]	b/a
B	21.77	0.055	6	0.83
V	20.94	0.055	8	0.85
R	20.35	0.056	8	0.85
I	19.77	0.054	7	0.84

Tabla III Propiedades generales

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
D_{25}	108".2	54".1		49"
D_{25} (lin.)	5.2 kpc			
B_{25}	13.59	15.09		15.20
r_e	30".5			
$\langle \mu_{(r_e)} \rangle$	22.89			
V (a)	13.45		13.45	
$\langle B-V \rangle$ (a)	0.84		0.87	

(a): diafragma 58".6

Los demás datos son del perfil B

4) Sustracción de un modelo de halo

Con los parámetros hallados en 3) a cada imagen se le restó un modelo de halo. Para esto se usó el programa DIRES, normalmente utilizado para galaxias de disco, dado que éstas también presentan un perfil exponencial.

La fig.3 es la imagen original de N3115-D2 (banda V) y la fig.4 muestra la imagen resultante después de restar el modelo de halo. Se notan claramente el núcleo (objeto #6) y una galaxia espiral más lejana (objeto #5) que estaba oculta por el halo.

Fotometría de las imágenes remanentes:

Sobre las imágenes sin halo (en la fig.4 la banda V) se identificaron 11 objetos a los que se les efectuó fotometría BVRI. El programa utilizado determina la magnitud dentro de diafragmas de radio creciente, desde 3 hasta 30 pixels, cada 3 pixels (1 pix = 0".495)

Como ejemplo en la fig.5 se dan los resultados obtenidos para el núcleo (#6) y los objetos #2 , #10 y #11.

Para los objetos más brillantes, al ir midiendo con diafragmas más grandes la magnitud se va estabilizando con pequeñas variaciones alrededor de un valor medio (fig.5-a) ; pero para los objetos más débiles los errores en la determinación del cielo afectan notablemente las mediciones dentro de los diafragmas más grandes (fig.5-d). Este fue el problema que impidió la medición de algunos objetos débiles que no obstante se observan en las imágenes.

En la tabla IV se dan los colores obtenidos comparando las curvas de crecimiento de la magnitud en función del diafragma.

Enrojecimiento galáctico:

A la latitud galáctica de N3115D-2 ($b = 36.8$) la absorción en el B es:

$$A_B = 0.132 (\operatorname{cosec} |b| - 1) = \\ = 0.088$$

Entonces, en el V:

$$A_V = 0.75 A_B = \\ = 0.067$$

Y los excesos de color:

$$E_{B-V} = 0.021$$

$$E_{V-K} = 0.017$$

$$E_{V-S} = 0.028$$

Magnitudes absolutas:

La magnitud visual aparente V de cada objeto se determinó con el valor para el cual tiende a estabilizarse la curva de m en función del diafragma.

Los valores obtenidos están listados en la tabla V. También se dan las magnitudes aparentes corregidas por absorción galáctica (V_0) y las magnitudes absolutas (M_{V_0}) suponiendo que todos los objetos se hallan a la distancia de 10 Mpc.

Corrección por seeing:

Con un programa del sistema IHAP se ajustó un modelo de dos gaussianas al perfil de seeing. Sus parámetros son:

	altura [adu]	ancho["]
G1	1945.4	1.24
G2	384.8	3.30

Con este modelo se deconvolucionó la imagen visual original y se le restó el halo, obteniéndose una nueva imagen del núcleo limpio y corregida por seeing (fig.6). Con este procedimiento se buscaba determinar cuáles objetos habían sido resueltos y cuáles no.

Además se nota que aparecen objetos puntuales que en la imagen sin corregir estaban "desparramados" por el seeing, confundiéndose entre el ruido. Con esto se facilitó un posterior conteo de objetos puntuales.

En la columna 5 de la tabla V se comenta el aspecto de cada objeto, basándose en la fig.6, en la fotometría y en la inspección mediante la lupa de una placa III-aJ de 50 min. de exposición centrada en NGC3115, tomada en el foco primario del telescopio de 4m del CTIO.

Características del núcleo:

Se obtuvo un perfil de intensidades del núcleo para la imagen no deconvolucionada, del cual se midió un ancho total a medio máximo (FWHM) de $2''.2 \pm 0''.2$

Teniendo en cuenta que a ese nivel sólo contribuye apreciablemente al modelo de seeing la gaussiana de mayor altura (la otra interviene para las alas), se puede calcular el FWHM intrínseco como

$$[(2''.2)^2 - (1''.24)^2]^{1/2} = 1''.8$$

Coincide bien con el valor medido directamente del perfil obtenido de la imagen deconvolucionada (fig.7), esto es $1''.9 \pm 0''.3$, a pesar de que la deconvolución introduce errores en el nivel del cielo alrededor de las imágenes puntuales intensas.

A la distancia de 10Mpc esto equivale a un diámetro a medio máximo

$$D = 88pc \pm 8pc$$

Como comparación se puede señalar que para un cúmulo globular típico esta dimensión es del orden de 1pc.

Una estimación gráfica algo grosera del ancho base del perfil del núcleo da:

$$D_b = 5''.9 \pm 0''.7$$

lo que equivale a

$$D_b \text{ (lineal)} = 286\text{pc} \pm 33\text{pc}$$

aunque esta cantidad debe tomarse sólo como un orden de magnitud dado que es muy dependiente de los errores, especialmente en el nivel del cielo.

En cuanto a la luminosidad del núcleo, se obtuvo para la magnitud azul (corregida por enrojecimiento galáctico) dentro de un diafragma de 24"

$$B_0 = 17.57 \quad (\text{núcleo})$$

o sea

$$M_{BT} = -12.43$$

Comparando con la magnitud de la galaxia (incluyendo al núcleo) dentro de un diafragma de 58".6

$$B_0 = 14.21 \quad (\text{galaxia})$$

resulta una relación entre luminosidades

$$L_z \text{ (núcleo)} = 0.045 L_z \text{ (galaxia)}$$

La magnitud absoluta visual del núcleo es $M_{V_0} = -13.22$ (tabla V). Comparándola con la de ωCen , $M_{V_0} = -10.27$ (Harris & Racine 1979), vemos que el núcleo es unas 15 veces más brillante que un cúmulo globular grande como ωCen .

Tabla IV Colores de los objetos remanentes

Objeto	(B-V)	(V-R)	(V-I)	Comentario
1	0.79 ±.04	0.43 ±.04	0.98 ±.12	No resuelto
2	0.79 ±.08	0.50 ±.05	1.05 ±.06	Galax. de fondo
3	1.13 ±.06	0.60 ±.09	1.39 ±.05	Galax. de fondo
4	0.75 ±.05	0.50 ±.05	0.89 ±.07	No resuelto
5	0.58 ±.08	0.41 ±.06	0.81 ±.08	Galax. espiral
6	0.87 ±.05	0.55 ±.04	1.11 ±.03	Núcleo
7	0.75 ±.02	0.42 ±.02	0.92 ±.04	No resuelto
9	0.59 ±.02	0.27 ±.05	0.71 ±.05	No resuelto
10	0.69 ±.01	0.42 ±.01	0.87 ±.02	Estrella
11	0.71 ±.12	0.57 ±.03	0.55 ±.15	Débil (¿doble?)
12	0.59 ±.18	0.60 ±.16	1.16 ±.18	Débil (no res.)

Tabla V Magnitudes de los objetos remanentes

Objeto	V	Vo	M _{v0}
1	18.36 ±.05	18.30	-11.71
2	18.77 ±.09	18.71	-11.30
3 (*)	17.61 ±.04	17.65	-12.36
4	18.49 ±(?)	18.43	-11.58
5	17.64 ±.05	17.58	-12.43
6 (*)	16.84 ±.04	16.78	-13.22
7	19.09 ±(?)	19.02	-10.98
9	17.91 ±.07	17.85	-12.16
10	14.86 ±.03	14.80	-15.21

(*): diafragma 24"

5) Diagramas de color-color

Del trabajo de Harris & Racine (1979) se seleccionaron unos dieciocho cúmulos globulares galácticos con poco enrojecimiento ($E_{B-V} < 0.27$ y sólo cinco con $E_{B-V} > 0.10$) y cubriendo un amplio rango de metalicidades; desde M30 con $[Fe/H]=-2.03$ hasta M69 con $[Fe/H]=-0.47$ (Nros. 2 y 18 respectivamente en las figuras 8 y 9). Se tomaron además de Bessel (1979) los colores $\langle B-V \rangle$, $\langle V-R \rangle$ y $\langle V-I \rangle$ de Kron-Cousins para estrellas de secuencia y para gigantes normales.

En base a esto, se graficaron los lugares correspondientes a las estrellas y a los cúmulos globulares seleccionados en los diagramas: $\langle B-V \rangle$ contra $\langle V-R \rangle$ (fig.8), y $\langle B-V \rangle$ contra $\langle V-I \rangle$ (fig.9).

En los mismos gráficos se introdujeron los objetos de la tabla IV. Salvo los objetos #11 y #12, con errores grandes en la fotometría, y el #3 (una galaxia de fondo, muy roja), los demás caen en la zona de los cúmulos globulares galácticos.

6) Conclusiones

De acuerdo a sus ubicaciones en los diagramas color-color los objetos de la tabla IV en general son muy semejantes a los cúmulos globulares. Sin embargo, un cúmulo globular típico a 10Mpc de distancia tendría un FWHM muy inferior a 1" y no aparecería resuelto en nuestras imágenes, de modo que no todos los objetos medidos pueden en principio ser cúmulos.

Analizándolos individualmente, el #10 tiene una curva de crecimiento de la magnitud que se estabiliza muy rápidamente (fig.5-c) y muestra que la mayor parte de la luz está dentro de los diafragmas más chicos (≈ 6 pix). Esto indica que no está

resuelto y dado su brillo se trata seguramente de una estrella de nuestra galaxia.

El #2 tiene aspecto extendido tanto en las imágenes CCD (figs. 4 y 6) como en la placa del 4m ; su magnitud sigue creciendo al usar diafragmas de más de 10 pixels de radio (fig.5-b), diferenciándose su comportamiento claramente del #10. Algo similar se puede decir del #3 , aunque éste es más rojo, hallándose notablemente alejado de los demás objetos en los diagramas color-color. Todo parece indicar que ambas son galaxias de fondo.

El #5 es la galaxia espiral sobre la que ya se comentó.

Los objetos #11 y #12 son muy débiles y no fue posible medir sus magnitudes con precisión (fig.5-d).

De manera que los únicos objetos no resueltos y con fotometría aceptable son los #1, #4, #7 y #9 . Sin embargo, sus magnitudes parecen ser demasiado brillantes para ser cúmulos globulares a la distancia de NGC3115. (Ver tabla V; serían todos más luminosos que ω Cen).

Intentando verificar esto, se consideró que las magnitudes absolutas de los cúmulos globulares de N3115-D2 tienen una distribución típica en forma de gaussiana con valor medio $\langle M_V \rangle = -7.5$ y $\sigma = 1^m.2$.

Tomando $d=10\text{Mpc}$ la magnitud aparente media de la gaussiana es $\langle m_v \rangle = 22.5$

Siendo N el número total de cúmulos globulares asociados a D2 , se calculó el número esperado de cúmulos con $m_v < 19.68$ (que es la magnitud media más un sigma de los 4 objetos). Se obtuvo

$$9.37 \times 10^{-3} N$$

Haciendo: $9.37 \times 10^{-3} N = 4$

se obtiene

$$N = 427 \quad ==> \quad S = 102$$

o sea 10 veces más de lo que calculan Hanes & Harris mediante conteos.

Razonando de otra forma, si se toma $N=40$ (máxima estimación de H & H) el número esperado de cúmulos más brillantes que $m = 19.68$ sería menor que uno.

Por lo tanto parece estadísticamente poco probable que estos objetos sean cúmulos globulares asociados a NGC3115-D2. Teniendo en cuenta que en los diagramas color-color no caen lejos de las estrellas normales, es lógico suponer que se trate de estrellas del halo de nuestra galaxia.

Otra posibilidad que cabe analizar es que D2 no esté a la distancia de NGC3115 sino más cerca.

Si $N=40$ y hay realmente 4 cúmulos globulares con $m_v < 19.68$, el pico de la gaussiana cae en $\langle m_v \rangle = 21.22$, y como $\langle M_v \rangle = -7.5$ se obtiene un módulo de distancia de 28.7, es decir

$$d = 5.5 \text{ Mpc}$$

Si estuviera realmente a esta distancia, la magnitud absoluta integrada de la galaxia sería

$$M_{27} = -15.27$$

Corrigiendo por la distancia al cúmulo de Virgo tendría $B = 16.43$, siendo aún comparable con las dE nucleadas de van den Bergh (1986), dado que a esa magnitud algo más del 50% de sus galaxias son nucleadas, disminuyendo el porcentaje para las más débiles.

Por otra parte su diámetro D_{25} es semejante al de las más chicas entre las dE,N medidas por Ichikawa et al. en Virgo (1986).

De forma que, aunque parezca más probable suponer que D2 está asociada a NGC3115 y no se trata de una galaxia cercana aislada, no se hallaron evidencias en contra de la segunda opción.

Se efectuó además un conteo de objetos puntuales en anillos concéntricos sobre la imagen visual deconvolucionada y sin halo (fig.6).

Si bien nos hallamos en desventaja respecto de Hanes & Harris en cuanto al diámetro del telescopio utilizado, se notó una evidencia algo marginal de que es mayor el número de objetos al norte del núcleo que al sur del mismo. Es posible que esto ocurra sólo con los objetos más brillantes (los que podemos contar nosotros); si es así podría tratarse de otro tipo de objetos (galaxias de fondo) que están contribuyendo al valor de S anormalmente alto medido para D2.

En cuanto a la galaxia en sí, su magnitud total en el B (integrando el halo y sumándole el núcleo) es $B_T=13.43$; y considerándola situada a 10Mpc da una magnitud absoluta

$$M_{BT} = -16.57$$

Esta misma galaxia ubicada en Virgo tendría $B(\text{vir})=15.13$ por lo que sería algo más brillante que la media de las dE de Binggeli y otros (1985).

A esa magnitud, además, cerca del 75% de las dE de Virgo son nucleadas (van den Bergh 1986).

Por otra parte, con un brillo superficial central (visual) $\mu_0(v)=20.87$, N3115-D2 se ubica entre las dE más brillantes en el gráfico $\mu_0(v)$ contra M_{e-} de Kormendy (1985), ajustándose bien a la correlación. También concuerda con una relación similar que obtuvo Caldwell (1983). El $(B-V)$ de D2 es similar al de las dE más rojas del último trabajo mencionado.

Vigroux y colaboradores (1984) efectuaron fotometría CCD a M100-D5 , otra dE,N en Virgo. Esta galaxia es más débil, de menor tamaño y algo más azul que N3115-D2 aunque de brillo superficial central comparable (el halo) y tiene un núcleo más

azul que el resto de la galaxia y en posición algo excéntrica. Este tiene una luminosidad que es un 1.5% de la total. Sugieren que dicho núcleo es una zona de formación estelar reciente.

El caso de N3115-D2 es notablemente distinto. Comparando los colores del núcleo

$$\langle B-V \rangle = 0.87$$

$$\langle V-R \rangle = 0.55$$

$$\langle V-I \rangle = 1.11$$

con los del halo (tabla I), se nota que no hay diferencias significativas.

Además el núcleo de D2 es unas 4 magnitudes más brillante que el de M100-D5 y unas 3 veces más brillante en relación al total de la galaxia que lo aloja, y está ubicado en el centro de simetría de la galaxia.

Los colores de D2 (y los de su núcleo) son comparables a los de los cúmulos globulares galácticos de mayor metalicidad. Algo similar obtienen Bothun y otros (1985) con el $\langle J-K \rangle$ de galaxias dE en Virgo.

Bothun & Caldwell (1984) tampoco encuentran diferencias en el $\langle J-H \rangle$ fotoeléctrico del núcleo y sus alrededores para una muestra de elípticas enanas en Virgo.

Todo esto hace suponer que el núcleo de N3115-D2 (como los de otras dE) no es el resultado de un proceso de formación estelar reciente sino que se trataría, o bien de un fenómeno dinámico como sugieren Bothun & Caldwell, o de un evento de formación estelar antiguo tras la acreción de material, compatible con el modelo de Silk y otros (1987). En cualquier caso, parece claro que no hubo formación estelar importante en los últimos 3×10^9 años.

Quiero expresar mi agradecimiento a Carlos Feinstein,
Mariano Méndez e Irene Vega por el apoyo constante y la valiosa
ayuda que me brindaron durante la realización de este trabajo.

Referencias

- Altschuler D., Giovanardi C., Pantoja C.: 1987, *Astr.Ap.* 177,22
- Binggeli B., Sandage A., Tarenghi M.: 1984, *A.J.* 89, 64
- Binggeli B., Sandage A., Tammann G.: 1985, *A.J.* 90, 1681
- Binggeli B., Tammann G., Sandage A.: 1987, *ESO Sc.Prep.* No. 498
- Bothun G., Caldwell N.: 1984, *Ap.J.* 280, 528
- Bothun G. et al.: 1985, *A.J.* 90, 697
- Bothun G. et al.: 1986, *A.J.* 92, 1007
- Caldwell N.: 1983, *A.J.* 88, 804
- , 1987, *A.J.* 94, 1116
- Caldwell N., Bothun G.: 1987, *A.J.* 94, 1126
- Gerola H., Seiden P., Schulman L.: 1980, *Ap.J.* 242, 517
- Hanes D., Harris W.: 1986, *Ap.J.* 304, 599
- Hunter D., Gallagher J.: 1985, *Ap.J.Supp.* 58, 533
- Ichikawa S., Wakamatsu K., Okamura S.: 1986, *Ap.J.Supp.* 60, 475
- Ichikawa S.: 1987, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, 2nd Series 21, No 4
- Landolt A.: 1983, *A.J.* 88, 439
- Karachentseva V., Schmidt R., Richter G.: 1984, *Astron.Nachr.* 305, 59
- Karachentseva V. et al.: 1987, *Astron.Nachr.* 308, 247
- Klein U.: 1986, *Astr.Ap.* 168, 65
- Kormendy J.: 1985, *Ap.J.* 295, 73
- Nakamura A., Tosa M.: 1987, *Proc. of Japan-France Sem. on Chem. Evol. of Galaxies*, p.251
- Phillipps S. et al.: 1986, *MNRAS* 218, 289
- Reaves G.: 1983, *Ap.J.Supp.* 53, 375
- Sandage A., Binggeli B.: 1984, *A.J.* 89, 919
- Sandage A., Binggeli B., Tammann G.: 1985, *A.J.* 90, 1759
- Silk J., Wyse R., Shields G.: 1987, *Ap.J.(Letters)* 322, L59
- Tammann G.: 1980, *ESO/ESA Workshop on Dwarf Galaxies*, (Ed: Tarenghi-Kj r)

Thuan T.: 1985, Ap.J. 299, 881

van den Bergh S.: 1986, A.J. 91, 271

Vigroux L., Souviron J., Vader J.: 1984, Astr.Ap. 139, L9

Vigroux L. et al.: 1986, A.J. 91, 70

Wirth A., Gallagher J.: 1984, Ap.J. 282, 85

Figuras

Fig.1- Perfiles banda V (visual)

•: cielo = 75 [adu]
+: cielo = 81
o: cielo = 87
 μ en mag/(") (instrumental)

Fig.2- Derivada del perfil con cielo=75

El "salto" se debe a una estrella de campo (obj.#8)

Fig.3- Imagen sumada banda V

Fig.4- Imagen banda V luego de restar el halo

Fig.5- Magnitud visual (instrumental) en función del diafragma

a: obj.#6 (núcleo) c: obj.#10
b: obj.#2 d: obj.#11

Fig.6- Imagen banda V deconvolucionada. (halo restado)

Fig.7- Perfil del núcleo, a partir de un corte de la imagen visual deconvolucionada

Intensidad en adu.

Fig.8- Diagrama (B-V)o contra (V-R)o

+ : objetos remanentes en el campo de N3115-D2
o : cúmulos globulares (ordenados numéricamente por metalicidad creciente)
---: estrellas

Fig.9- Diagrama (B-V)o contra (V-I)o

(Idem fig.8)

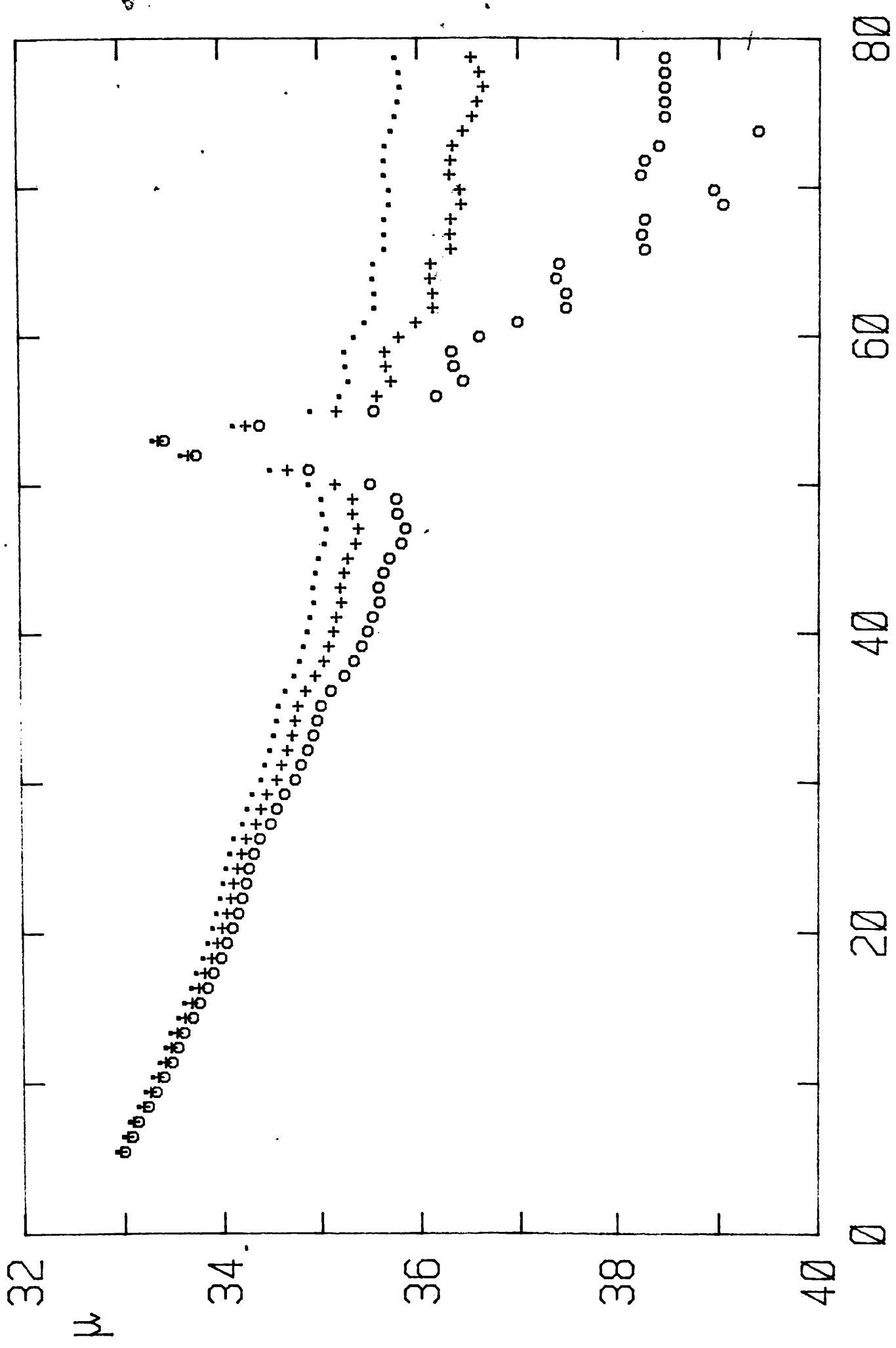


Fig. 1

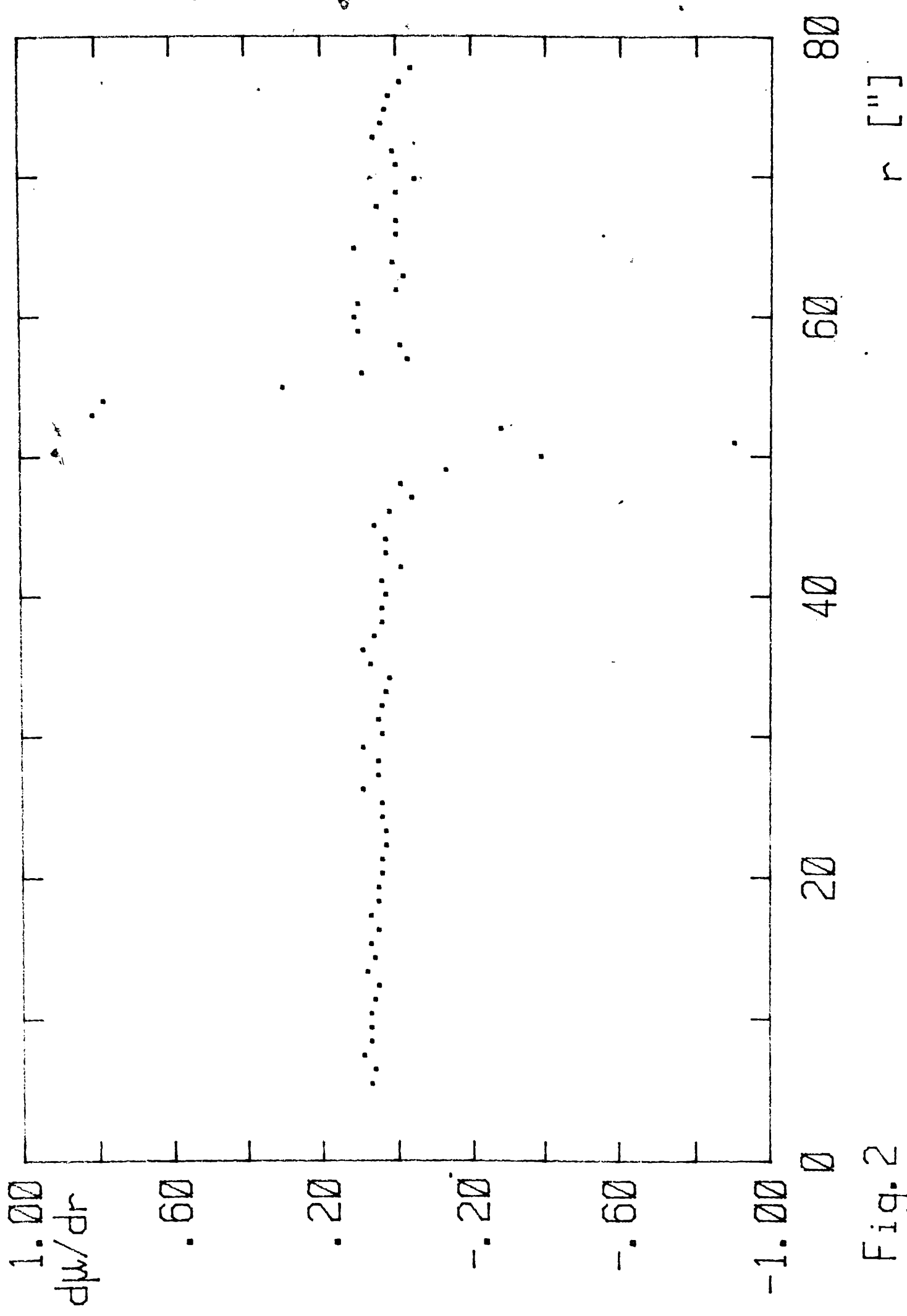
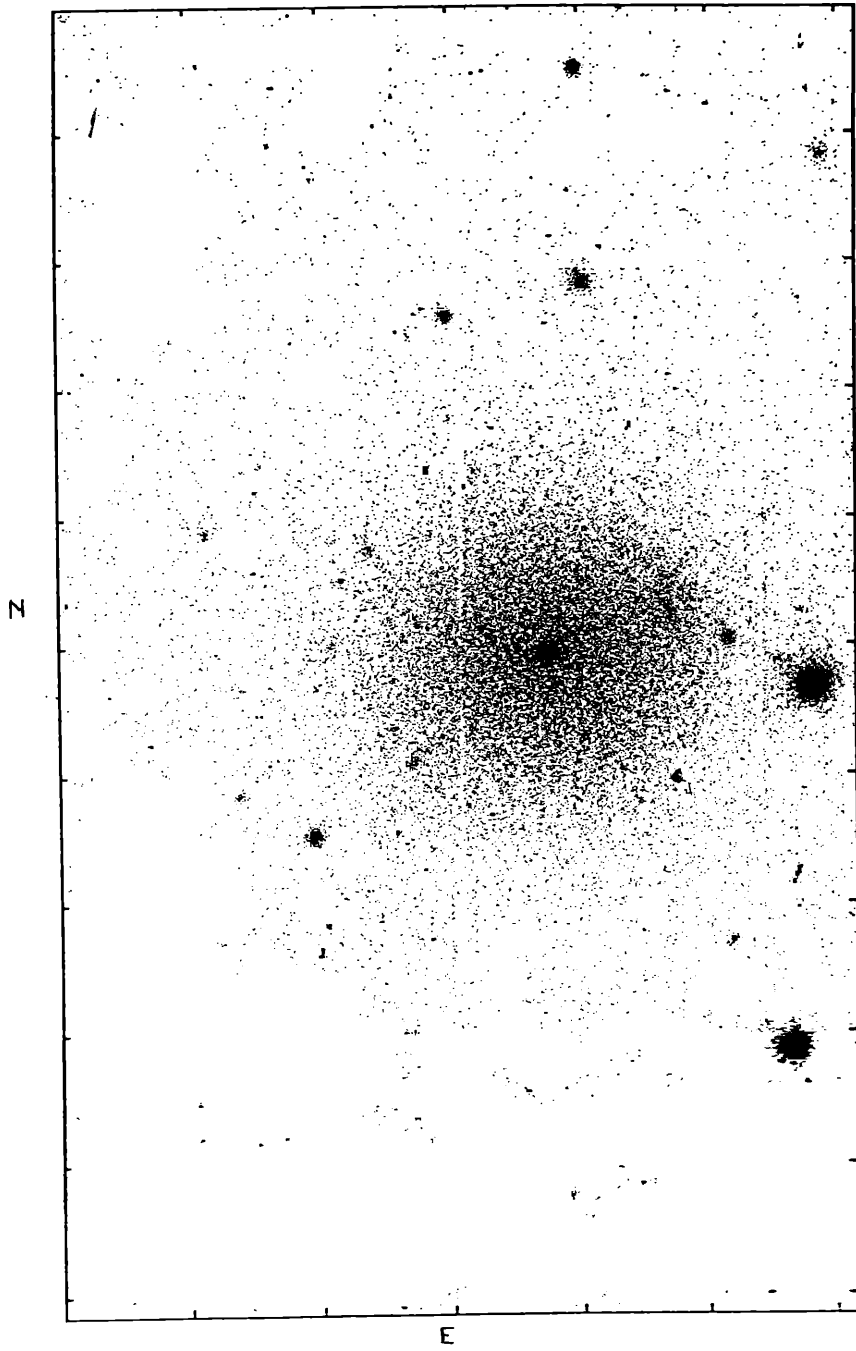


Fig. 2

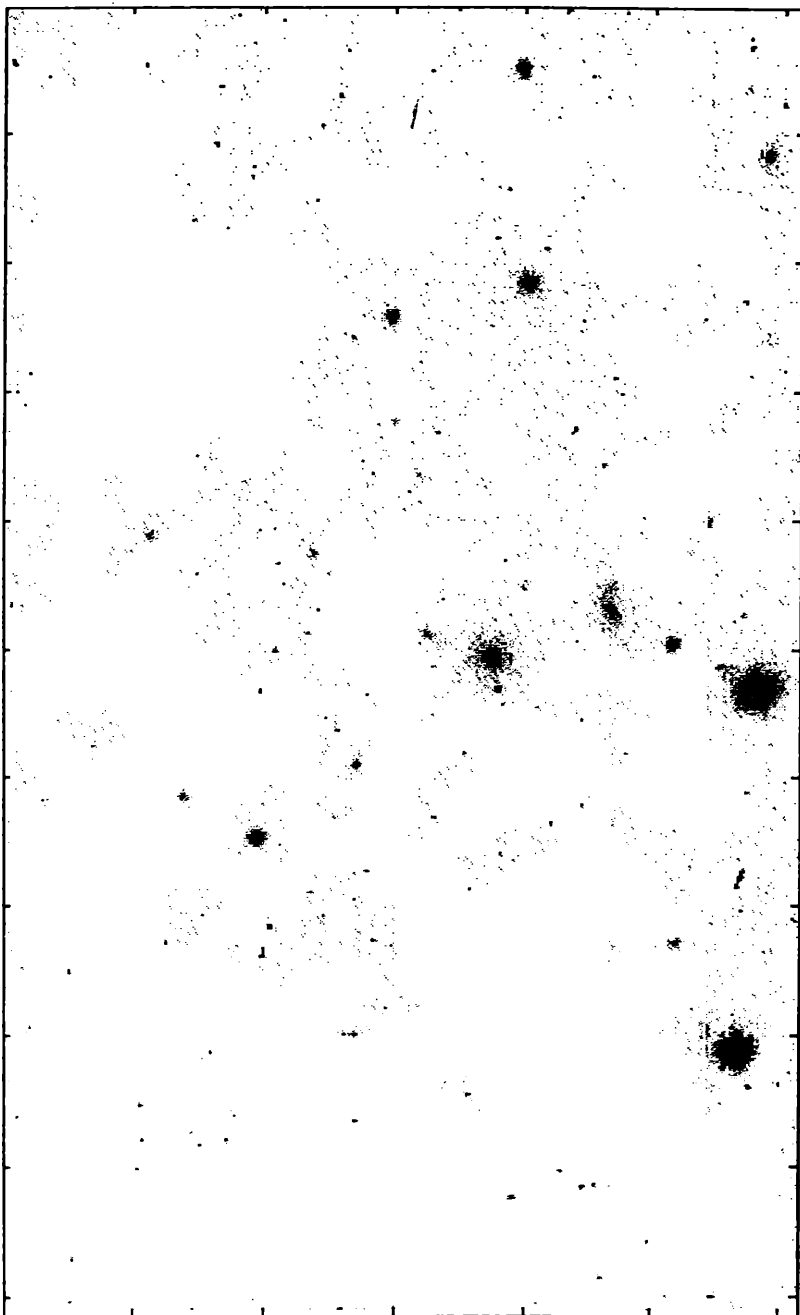
DWVSU:SC:PI
Fig.3 Imagen V (suma)
105 350

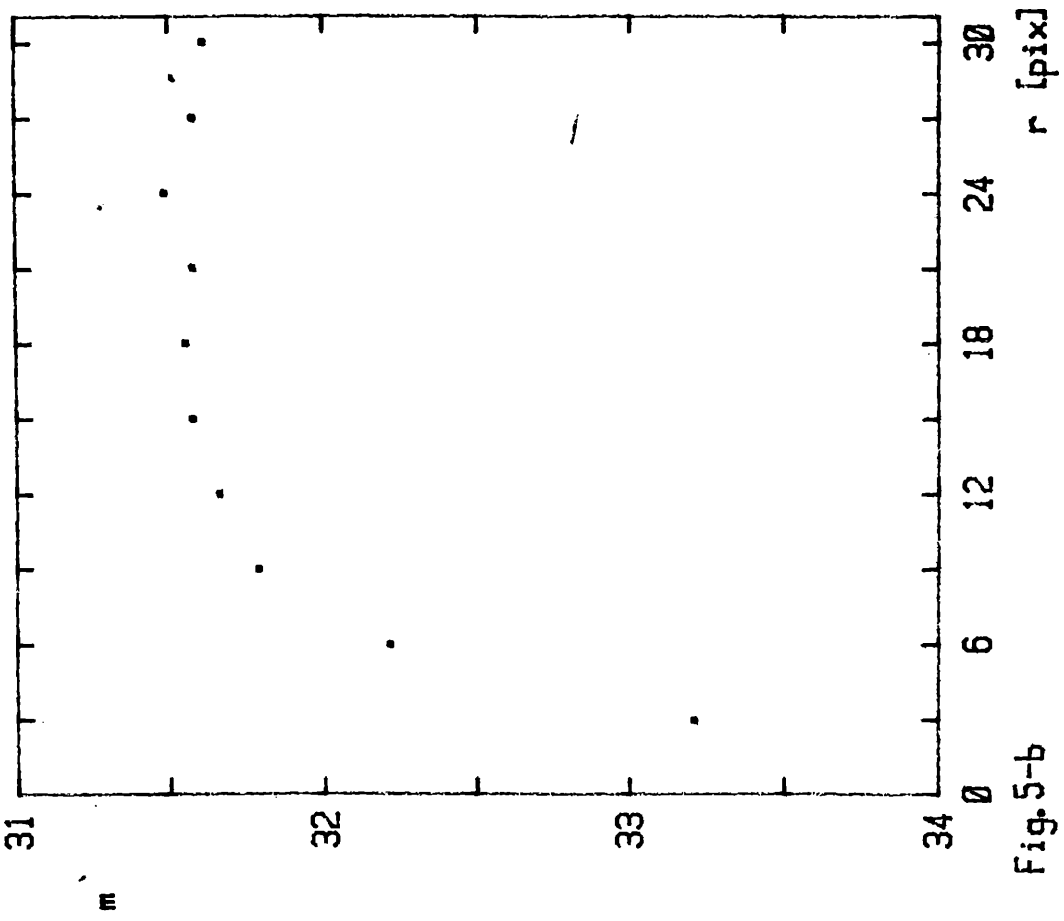
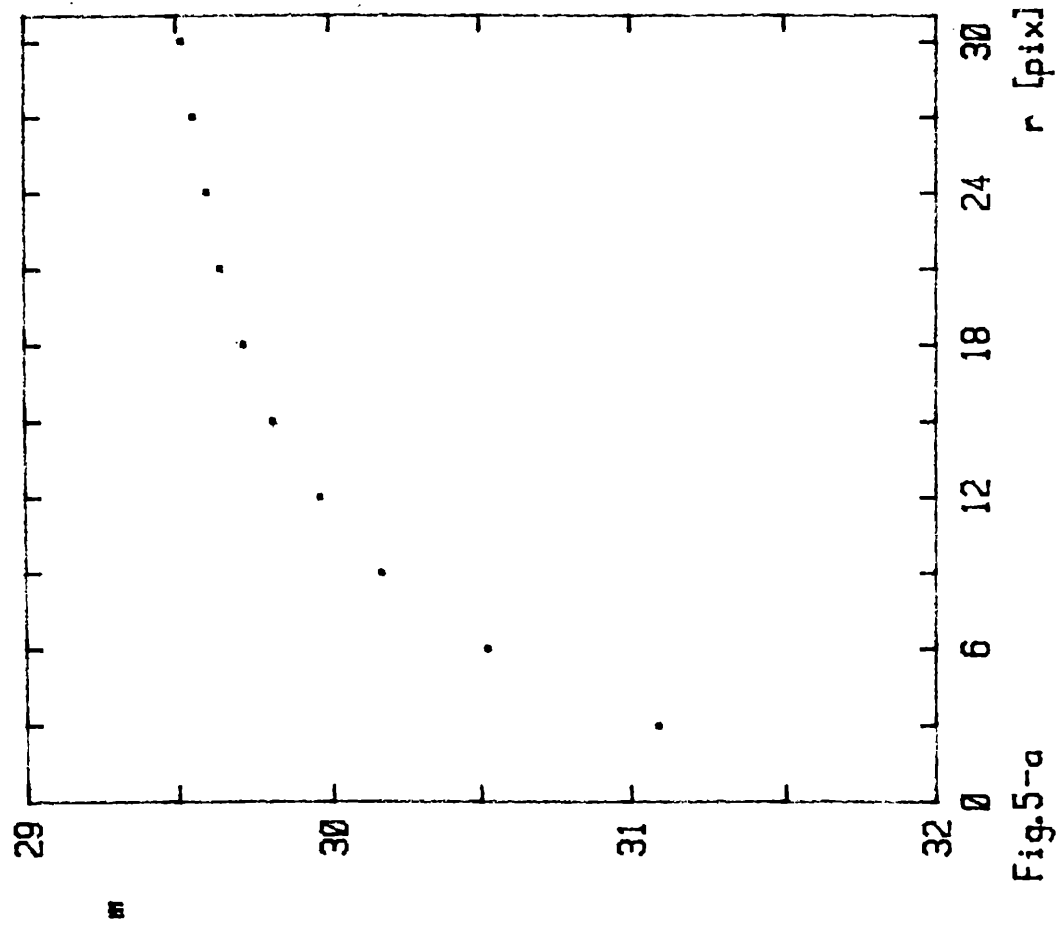


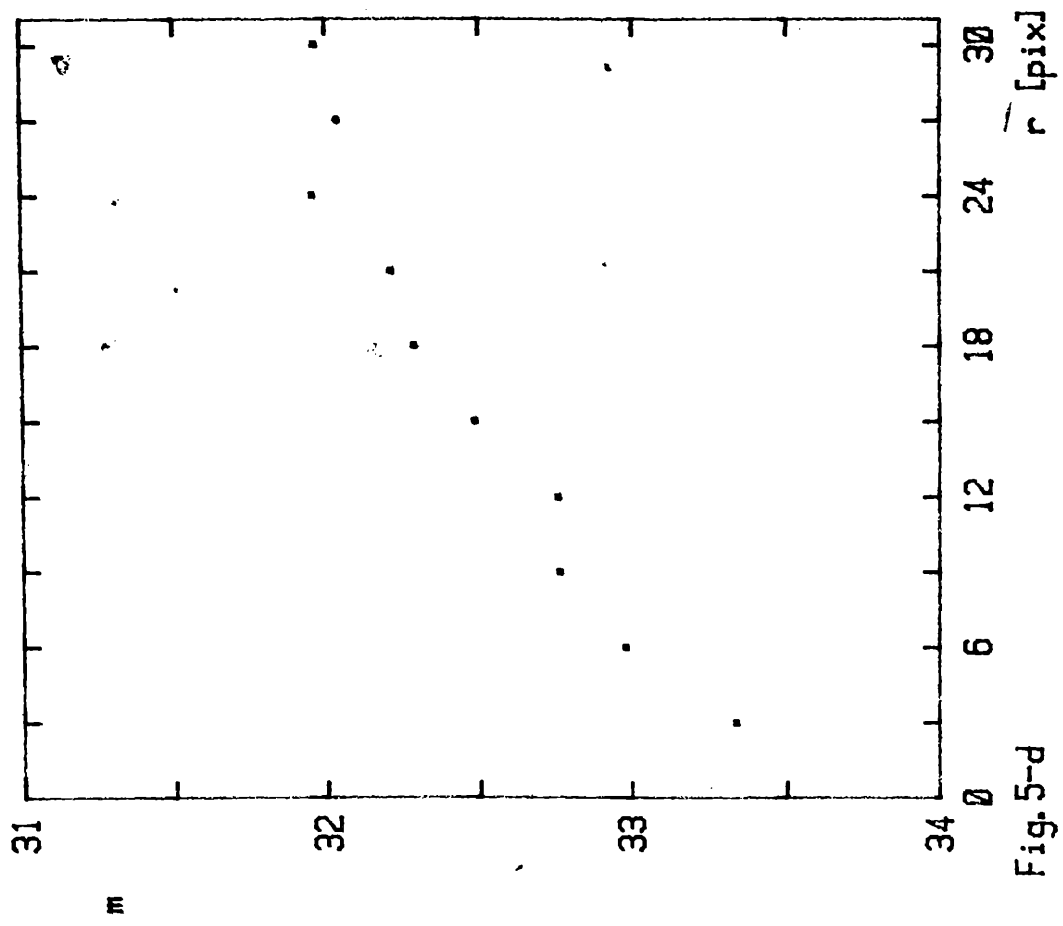
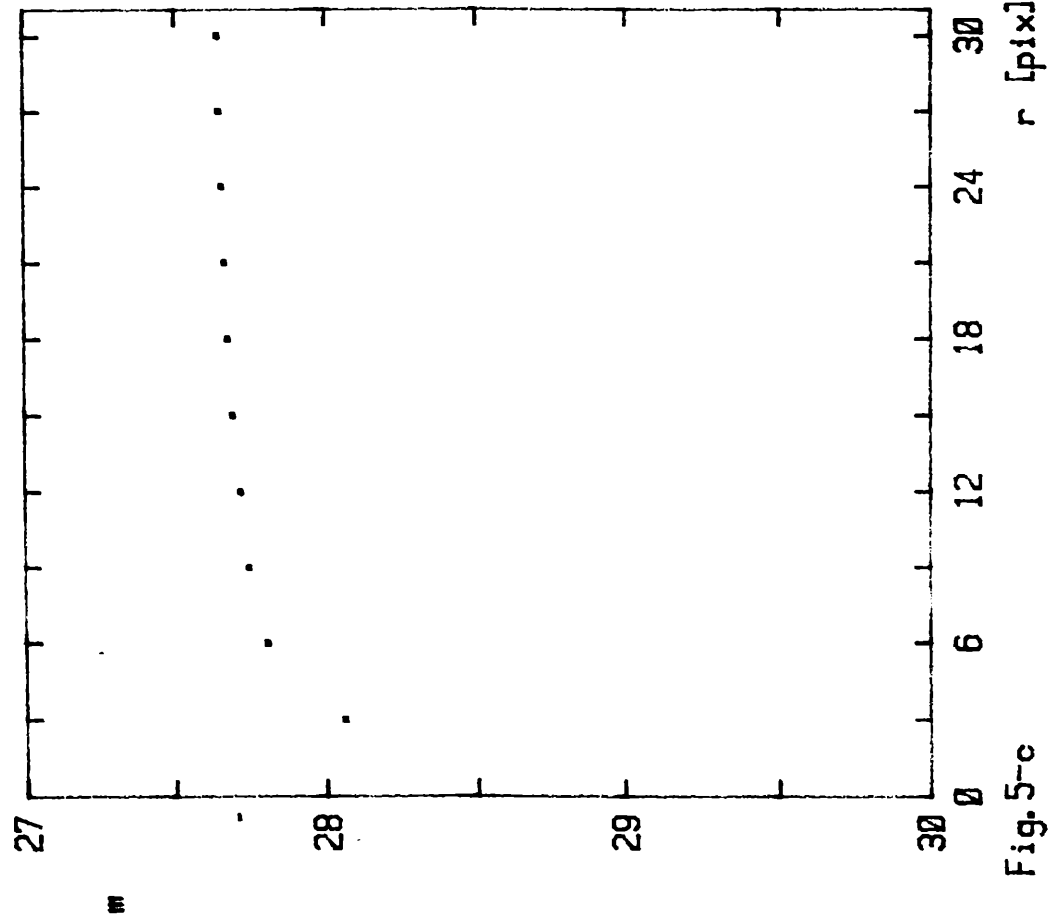
DWVN:SC:PI

Fig.4 Imagen V (halo restado)

25 150



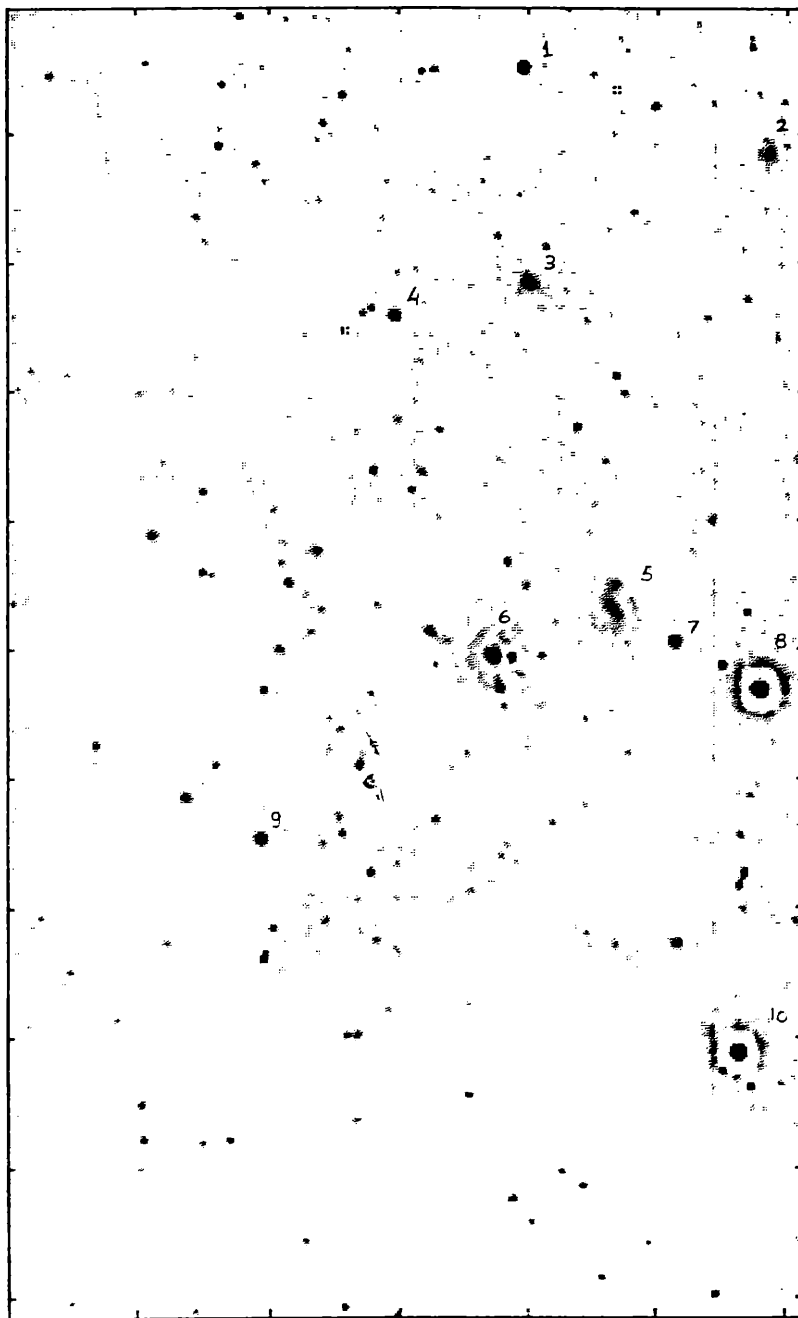




NDEC:SC:PI

Fig.6 Imagen V deconv. (halo restado)

50 500



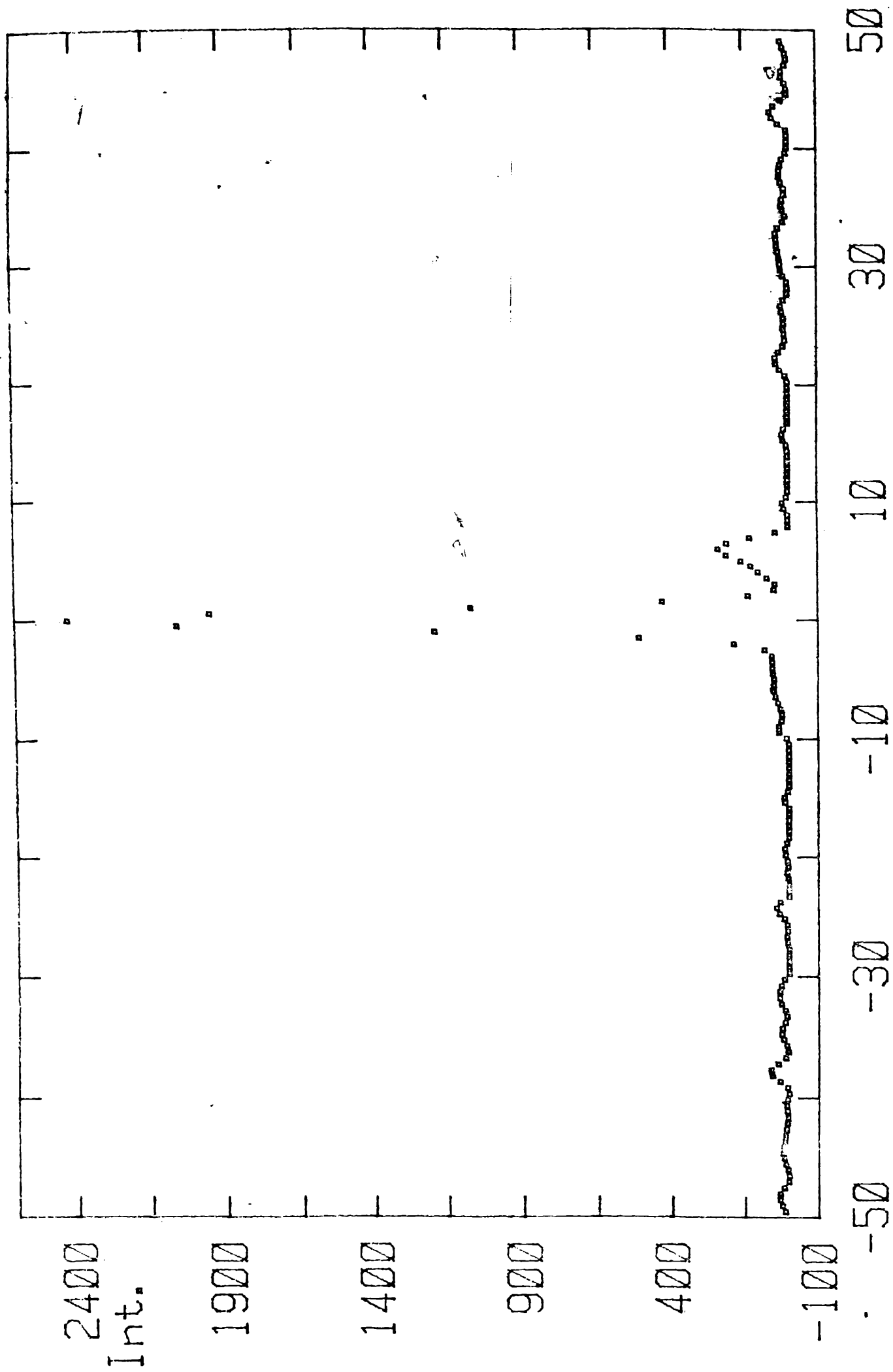


Fig. 7 r ["]

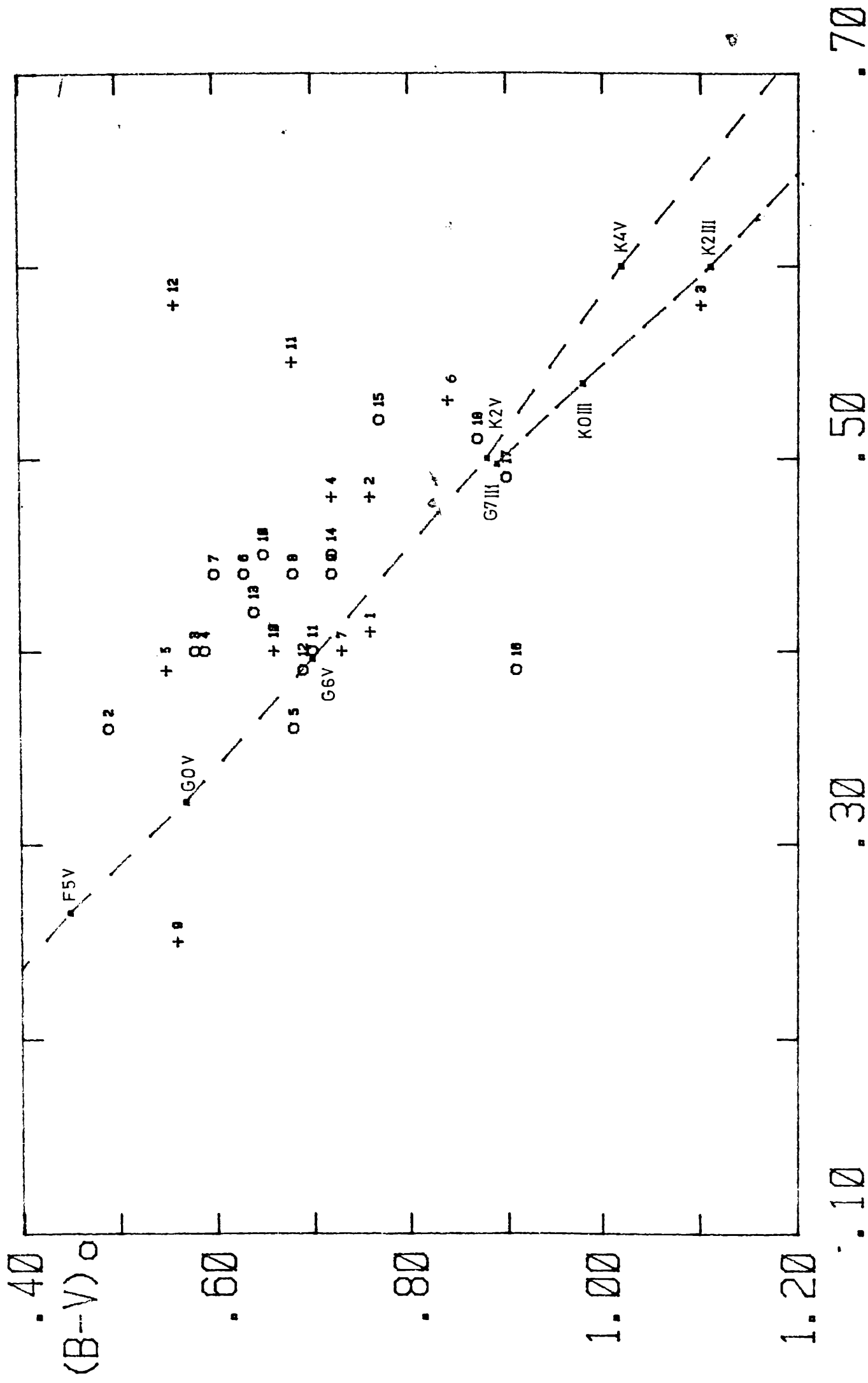


Fig. 8 (V-R) o

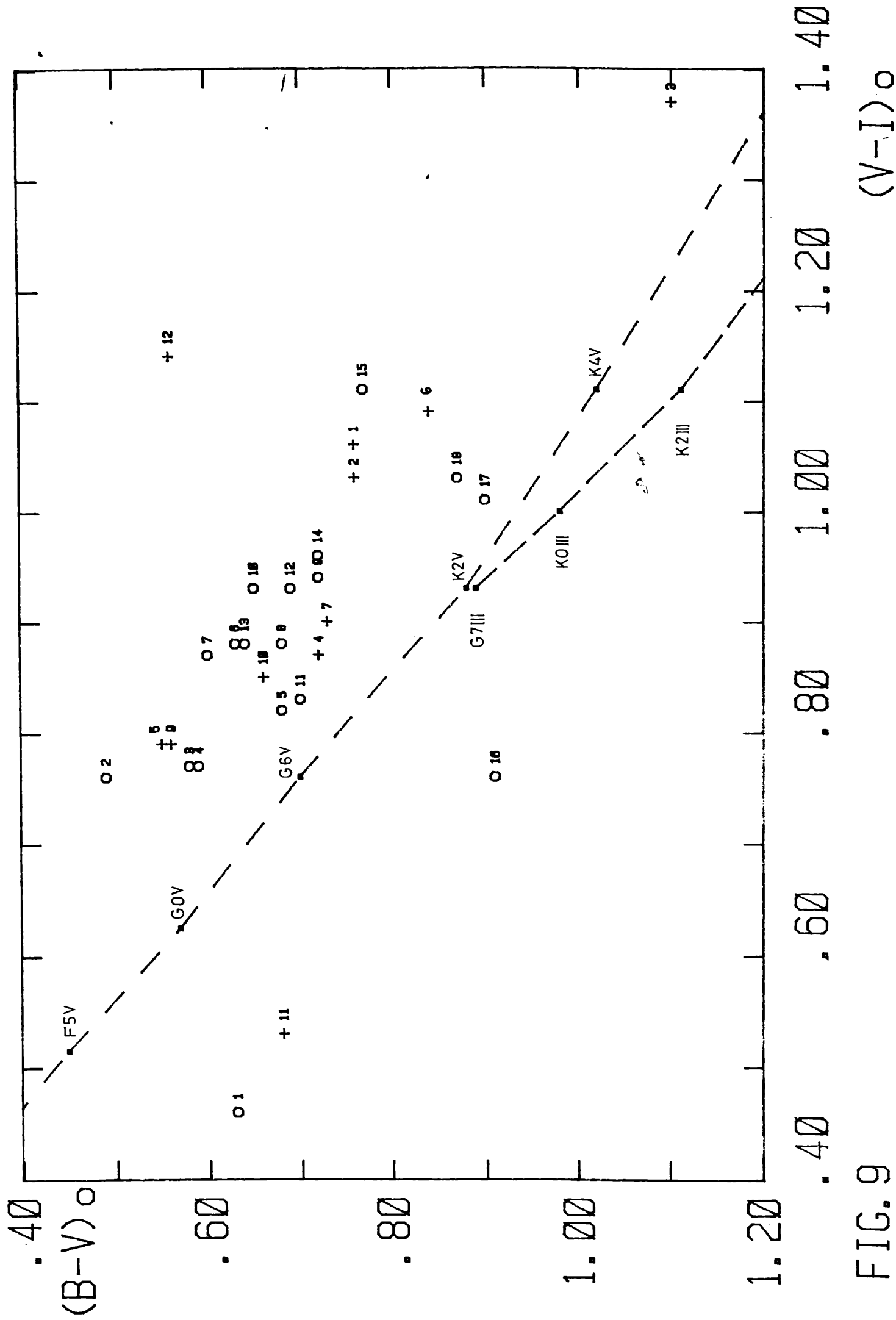


FIG. 9