

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS



**VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES ASTRONÓMICAS OBTENIDAS
MEDIANTE UN INTERFERÓMETRO DE FABRY-PEROT DE
BARRIDO EN UNA PLATAFORMA LINUX**

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de:

LIC. EN CIENCIAS COMPUTACIONALES

Presenta:

VERÓNICA BEATRIZ VALDEZ MARENKO

ENSENADA, B.C.

DICIEMBRE 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

**VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES ASTRONÓMICAS OBTENIDAS
MEDIANTE UN INTERFERÓMETRO DE FABRY-PEROT DE
BARRIDO EN UNA PLATAFORMA LINUX**

TESIS PROFESIONAL

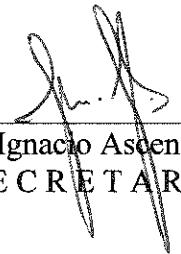
QUE PRESENTA:

VERÓNICA BEATRIZ VALDEZ MARENKO

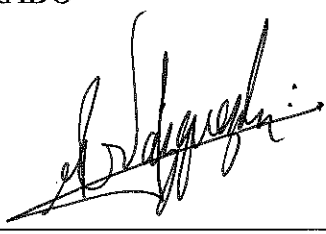
APROBADO POR:



Fís. Leonel Gutiérrez Albores
PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. José Ignacio Ascencio López
SECRETARIO



Dr. Roberto Vázquez Meza
1er. VOCAL

DEDICATORIA

A mi hijo Francisco Daniel que es el motor que me impulsa hacia el éxito. Gracias a ti, hijo mío, tengo planes y ambiciones que deseo con todo mi corazón compartir contigo. Muchas veces te tocó verme de mal humor porque el trabajo me tenía absorta, pero tu alegría, tu amor y tu inocencia han hecho que mi vida tenga un nuevo sentido. Espero que la culminación de este proyecto sea para ti motivo de orgullo y un estímulo para superarte profesionalmente cuando llegue tu momento.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera poder agradecer a todos los que me ayudaron a salir adelante en este largo proceso pero sería virtualmente imposible recordar a todas las personas de quienes tuve la dicha de recibir favores.

Antes que a nadie, deseo agradecer a Dios por concederme la vida que es de donde parten todas las cosas que yo puedo desarrollar. Mil gracias por darme la fuerza de voluntad, la perseverancia y la inteligencia necesaria para lograr mis objetivos. Gracias por levantarme cuando creí que ya no podría seguir adelante; por tomarme de la mano para guiarme y que no perdiera de vista la meta.

El segundo agradecimiento es para mi asesor por su infinita paciencia, comprensión y fe en mi capacidad. Estos han sido los elementos más fuertes que formaron en mí un sentido de responsabilidad que me ayudó a llegar al final de este recorrido. Ha sido para mí, más que un asesor, un amigo y un padre. Me ha aconsejado y se ha interesado por mi bienestar dentro y fuera del ámbito de trabajo. Mil gracias también para su familia con quienes he tenido algún acercamiento, son todos personas de excelente calidad humana y moral. Su influencia ha sido muy valiosa en mi vida y es uno de los mayores tesoros que llevo conmigo.

Quiero agradecer a mis amigas Imelda Castro, Chuyita Germán, Cecilia Cárdenas, Janet Bañuelos, Patricia Hernández, Hortensia Riesgo, Lupita Tirado, Adriana Nava,

Tania López, Noemí López, Hilaria Terríquez, Aixa Cárdenas, Amalita de la Toba, Alejandra Jauregui, Urania Ceseña, Delia Mayoral y Eva Moreno (y familia) por apoyarme siempre de mil maneras, desde apoyo moral y económico hasta ayudarme con mi hijo. Todas ellas son el cimiento sobre el cual he construido mi vida, a su lado he aprendido y enseñado cosas, muchas veces tuvieron que aguantar mi mal humor y también nos reímos a carcajadas en los buenos tiempos; me ayudaron a superar los momentos más difíciles de mi vida y me hicieron ver mis errores y mis aciertos. Espero tener la dicha de contar con su amistad sin importar la distancia y el tiempo, son excelentes seres humanos a quienes considero como parte de mi familia.

Por supuesto, no podían faltar los amigos: Francisco Murillo Bracamontes, José Manuel Rodríguez (alias "el greñas"), Pedro Francisco Guillén (Paco Beretta) y Rafael Jiménez Arce. Juntos pasamos momentos hermosos y también momentos terribles (excepto con Rafa....con él es puro cotorreo bien sabroso), pero al final nos hicimos más fuertes y más unidos. Les doy las gracias con la esperanza de que el tiempo permita que nuestra amistad continúe a pesar de la adversidad y que nos esperen muchos momentos agradables para recordar.

También les doy las gracias a Roberto Vázquez, José Ignacio Ascencio, Omar Xochihua y Urania Ceseña por su interés en mi proyecto. Tuve el privilegio de contar con sus opiniones las cuales me sirvieron para aumentar en gran manera la calidad de mi trabajo.

Quiero dedicar un agradecimiento muy especial a una personita que acaba de entrar en mi vida (¡y por poco no le toca entrar en mi tesis!): mi novio, Igareff. Amor, tal vez no lo sepas pero la alegría que me da tener a alguien como tú a mi lado es un estímulo muy grande para lograr muchas de mis metas y una de ellas es la culminación de esta tesis. Saber que soy importante en la vida de alguien es un sentimiento que me llena de energía para vivir cada día con más intensidad... ¡Gracias!

Finalmente, quiero decir que a pesar de todo lo que se realizó en este trabajo, siempre voy a sentir que pude haber hecho mucho más, sin embargo, hay quienes piensan que es admirable lo que he logrado. Quiero agradecer a quienes me han levantado el ánimo y disculparme con quienes piensen que les he fallado. Tal vez no hice todo lo que soy capaz de hacer pero hice mi mejor esfuerzo y lo hice con amor, con pasión y sobre todo con perseverancia...sin ese ingrediente nada de esto hubiera sido posible. Por momentos, la meta parecía inalcanzable y estuve a punto de darme por vencida. Sin las palabras de aliento de quienes me aman, no estaría aquí en este momento...gracias por siempre desde lo más profundo de mi corazón y en especial deseo agradecer a mi hermano Sergio Cisneros y su esposa Laura Hernández.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
<i>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....</i>	<i>7</i>
<i>II.1 Interferómetros de Fabry-Perot en astronomía</i>	<i>7</i>
II.1.1 Importancia de un sistema interferométrico en el OAN-SPM	8
<i>II.2 Software existente en la actualidad para Interferometría</i>	<i>10</i>
<i>II.3 Necesidad de un nuevo sistema de visualización.....</i>	<i>12</i>
<i>CAPÍTULO III. OBJETIVOS.....</i>	<i>13</i>
<i>III.1 Objetivo general</i>	<i>13</i>
III.1.1 Objetivos específicos	13
<i>CAPÍTULO IV. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS.....</i>	<i>15</i>
<i>IV.1 CCD's.....</i>	<i>17</i>
IV.1.1 Las características más importantes de un CCD.....	18
IV.1.2 Técnicas para mejorar la sensibilidad en los CCDs.....	21
IV.1.3 Binning.....	25
IV.1.4 Defectos de los CCDs	26
IV.1.5 Fuentes de ruido en una imagen de CCD.....	28
IV.1.6 Dos tipos de CCD	32

IV.1.7 Tipos de calibración.....	34
IV.1.8 Cámaras de mosaico	37
IV.1.9 Controlador de un CCD	39
IV.1.10 La adquisición de los datos	40
IV.1.11 Procesamiento de los datos obtenidos mediante un CCD.....	41
IV.2 Formatos para almacenamiento de datos astronómicos	42
IV.2.1 FITS	43
IV.2.2 IRAF	46
IV.2.3 CIGALE.....	47
IV.2.4 ADHOC (AD2 y AD3).....	49
CAPÍTULO V. MANIPULACIÓN DE IMÁGENES POR COMPUTADORA.....	52
V.1 Procesamiento de imágenes	52
V.2 Elementos para la representación de los datos.....	54
V.3 Consideraciones para el despliegue de imágenes	58
V.3.1 Despliegue y profundidad del pixel	60
V.3.2 Un poco sobre <i>Truecolor</i>	61
V.4 Esquema de definición de colores	62
V.4.1 Descripción de los espacios de color	64
V.4.2 Representación del color.....	66
V.5 almacenamiento de imágenes en formato PPM.....	68

<i>CAPÍTULO VI. DESARROLLO DEL SISTEMA ADHOCI</i>	71
VI.1 Recopilación de información	71
VI.1.1 Selección del modelo para el sistema	72
VI.1.2 Selección de las herramientas de implementación.....	72
VI.2 Metodología	76
VI.2.1 Definición del problema	77
VI.2.2 Definición de requerimientos del sistema ADHOCI	77
VI.2.3 Diseño e implementación.....	81
<i>CAPÍTULO VII. RESULTADOS</i>	122
VII.1 Prototipo del sistema ADHOCI	123
VII.2 Pruebas realizadas al sistema ADHOCI	142
VII.3 Aplicaciones	150
VII.4 Trabajo a futuro	151
VII.5 Experiencia personal	151
<i>CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES</i>	153
<i>APÉNDICE A. INTERFEROMETRÍA DE FABRY-PEROT</i>	155
A.1 Principios básicos de un interferómetro de Fabry-Perot.	155
A.1.1 Descripción del interferómetro de Fabry-Perot.....	155
A.1.2 Definiciones y formulación básica [Wyant, 2001].	156
A.1.3 El Fabry-Perot de Barrido.	158

APÉNDICE B. ESPECTRÓGRAFO INTEGRAL DE CAMPO “PUMA”.....	160
B.1 Especificaciones del espectrógrafo integral de campo “PUMA”	160
B.2 Características de las componentes	161
B.2.1 Sistema de calibración.....	161
B.2.2 Filtros.....	161
B.2.3 Interferómetro Fabry-Perot de barrido	162
B.2.4 Detector	163
APÉNDICE C. MANUAL DE USUARIO PARA ADHOC.....	164
C.1 El sistema ADHOC.....	164
C.1.1 Historia	164
C.1.2 Características.....	165
C.2 Instalación del sistema ADHOC.....	167
C.2.1 Requerimientos.....	167
C.2.2 Consejos prácticos	169
C.3 Entorno de visualización de ADHOC.....	170
C.3.1 Pasos principales que se realizan en una sesión	172
C.3.2 Inicio y salida de una sesión.....	172
C.3.3 Componentes del entorno de visualización	174
APÉNDICE D. GLOSARIO.....	214
REFERENCIAS.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura IV.1. Gráfica que ilustra la transmisión de la atmósfera cuando se observa un objeto en el cenit.	20
Figura IV.2. Reflectividad de un CCD EEV 42-80.	23
Figura IV.3. Reducción de corriente oscura en un CDD TEK1024 mediante enfriamiento.	30
Figura IV.4. Estructura de un archivo FITS.	45
Figura IV.5. Estructura del archivo con formato CIGALE.	48
Figura V.1. Los dos principios básicos para generar datos vectoriales.	576
Figura V.2. Datos bitmap.	57
Figura V.3. Píxeles físicos y píxeles lógicos.	60
Figura V.4. Uso de una paleta para especificar un color.	63
Figura VI.1. Modelo general del sistema.	81
Figura VI.2. Tablas de color disponibles para el sistema ADHOC/.	91
Figura VI.3. Diagrama general del sistema ADHOC/ 2D.	94
Figura VI.4. Diagrama de flujo de datos para <i>abrir un archivo</i>	96
Figura VI.5. Diagrama de flujo de datos para <i>parámetros de despliegue</i>	97
Figura VI.6. Diagrama de flujo de datos para las <i>secciones cruzadas</i>	98
Figura VI.7. Diagrama de flujo de datos para <i>perfiles de integración</i>	99
Figura VI.8. Diagrama de flujo de datos para <i>modificar imagen</i>	99

Figura VI.9. Diagrama de flujo de datos para <i>cinemática de las galaxias</i>	100
Figura VI.10. Diagrama general del sistema ADHOC/ 3D.	101
Figura VI.11. Diagrama de flujo de datos para <i>sum or individual channels</i>	103
Figura VI.12. (a) Algoritmo del módulo para abrir un archivo, (b) algoritmo para extraer la información del archivo.	106
Figura VI.13. Algoritmo para la asignación de la paleta de colores.	107
Figura VI.14. Algoritmo para seleccionar los puntos extremos de la recta para las secciones cruzadas.	108
Figura VI.15. Algoritmo para calcular los puntos medios de la recta y la visualización de la gráfica en secciones cruzadas.	110
Figura VI.16. Valores posibles para la pendiente m	111
Figura VI.17. Algoritmo para calcular el promedio de las sub-rectas en secciones cruzadas.	112
Figura VI.18. Algoritmo para desplegar las gráficas de perfiles sobre la imagen principal.	113
Figura VI.19. Algoritmo para seleccionar las celdas en perfiles de integración.	114
Figura VI.20. Algoritmo para calcular el baricentro de una imagen.	115
Figura VI.21. Porción de los pixeles considerados para calcular (a) baricentro, (b) absorción.	116
Figura VI.22. Algoritmo para modificación de la imagen.	117
Figura VI.23. Algoritmo para crear una gráfica.	118

Figura VI.24. Algoritmo para dibujar las líneas que delimitan el área graficable a partir del centro de rotación.	119
Figura VI.25. Algoritmo para generar una lista de velocidades y crear una gráfica a partir de ella.....	121
Figura VI.26. Prototipo para el inicio de una sesión ADHOC/.	124
Figura VI.27. Prototipo para abrir un archivo en 2D.....	126
Figura VI.28. Prototipo para la ventana principal de ADHOC/.	128
Figura VI.29. Prototipo para secciones cruzadas.....	131
Figura VI.30. Prototipo para perfiles de integración.	132
Figura VI.31. Prototipo de la ventana para modificar un perfil.....	134
Figura VI.32. Prototipo de la ventana para la modificación de la imagen.	135
Figura VI.33. Prototipo de la ventana para <i>cinemática de galaxias</i>	137
Figura VI.34. Prototipo de la ventana para la pestaña de parámetros.	138
Figura VI.35. Prototipo de la ventana para el despliegue de cubos (imágenes 3D). ...	139
Figura VI.36. Prototipo de la ventana para la pestaña utilizada en el despliegue de un canal individual o suma de todos los canales.....	141
Figura A.1. Etalón de Fabry-Perot.	156
Figura A.2. Perfil de emisión producido por un IFPB.....	159
Figura B.1. Vista general del instrumento.	160
Figura C.1. Menú de entrada.	175
Figura C.2. Ventana del visualizador 2D para elegir el formato del archivo que se va a abrir.	176

Figura C.3. Ventana para elegir y abrir un archivo.	176
Figura C.4. Ventana principal para el despliegue en 2D.	177
Figura C.5. Funciones generales de ADHOC/ 2D.....	178
Figura C.6. Parámetros de despliegue.	180
Figura C.7. Módulo para secciones cruzadas.	183
Figura C.8. Ejemplo de una sección cruzada con grosor igual a 2.	184
Figura C.9. Superposición de perfiles sobre la imagen principal.	186
Figura C.10. Módulo para perfiles de integración.	187
Figura C.11. Ventana para modificar manualmente un perfil.	188
Figura C.12. Opciones para modificar la imagen.	191
Figura C.13. Ventana para modificar la imagen.	193
Figura C.14. Opciones para la cinemática de galaxias.	195
Figura C.15. Ventana para hacer cálculos sobre la cinemática de galaxias.....	196
Figura C.16. Ventana para la pestaña de parámetros.....	199
Figura C.17. Ventana para elegir el tipo de archivo 3D que se va a abrir.	203
Figura C.18. Ventana principal del visualizador 3D	204
Figura C.19. Funciones generales de ADHOC/ 3D.....	2065
Figura C.20. Datos generales del despliegue.	206
Figura C.21. Barra de funciones que se pueden efectuar sobre la imagen.	208
Figura C.22. Pestaña <i>sum or individual channels</i> dentro de ADHOC/ 3D.	210
Figura C.23. Acciones principales de <i>sum or individual channels</i>	211
Figura C.24. Elementos para crear una película de los canales de un cubo.	212

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla VI.I. Tabla de color empleada por E. LeCoarer.	89
Tabla VI.II. Figuras utilizadas en los diagramas de flujo.....	104
Tabla VI.III. Resultados de compatibilidad obtenidos en SPM.....	143
Tabla VI.IV. Resultados de las pruebas aplicadas al sistema ADHOC <i>l</i>	147
Tabla VI.V. Diferencias entre ADHOC <i>w</i> y ADHOC <i>l</i>	149
Tabla B.I. Lámparas de calibración.	161

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A través de los años las computadoras han demostrado ser de gran utilidad en innumerables áreas, desde la ciencia y la industria hasta los asuntos domésticos. Hoy en día, en cualquier establecimiento, oficina e incluso en los hogares es común encontrarse con algún equipo de cómputo. Es tal la importancia que ha adquirido, que se ha vuelto casi indispensable tener al alcance esta tecnología para estar a la altura de las exigencias de la vida moderna.

En un principio, la función principal de las computadoras consistía en facilitar el procesamiento de grandes cantidades de datos numéricos, que a un ser humano tomaría mucho tiempo realizar. La comunicación entre el usuario y la máquina se efectuaba mediante caracteres (números, letras y otros símbolos). Paulatinamente fueron evolucionando y, así, encontrando nuevas funciones como el procesamiento de texto y el manejo de hojas de cálculo, aunque en una presentación muy rudimentaria.

El verdadero salto llegó con la introducción de ambientes gráficos. Al tener la posibilidad de manejar imágenes, las aplicaciones de las computadoras se han multiplicado impresionantemente y siguen en aumento.

Los ambientes gráficos han permitido el crecimiento de algunas áreas como el Diseño asistido por computadora, el Procesamiento de imágenes médicas (con las cuales los diagnósticos se facilitan), las Bases de datos, etc.

Este trabajo de tesis se enfocará precisamente en una de las áreas con mayor impacto: la ciencia y de manera más particular dentro del área de astronomía donde el procesamiento de datos es vital. Como es bien sabido, la astronomía se fundamenta en la observación de objetos celestes. Esto se realiza ahora mediante modernos equipos que transforman la luz en señales digitales que se pueden almacenar para su estudio posterior.

Al introducir elementos gráficos en las computadoras, los investigadores tienen la capacidad de visualizar sus datos digitales y además pueden manipularlos para obtener animaciones, gráficas, etc., que conforman una valiosa herramienta para inferir resultados de una manera más sencilla, en interfaces amigables e intuitivas y con poco entrenamiento en su manejo.

En un principio, contar con esta tecnología era casi un lujo debido a los elevados precios de los elementos básicos para la graficación por computadora (memoria, velocidad de procesamiento, monitores CRT's, etc). Afortunadamente, en la actualidad estas comodidades están al alcance de casi cualquier usuario; sin embargo, la adquisición de la paquetería necesaria para tareas específicas sigue representando un gasto importante.

Por otra parte, la evolución que ha sufrido la computación en las últimas décadas ha sido tan rápida que en ocasiones ha sido difícil seguirle el paso, tanto en lo que respecta al equipo físico (hardware) como al sistema operativo y los paquetes para tareas específicas (software). Las primeras máquinas eran enormes y su uso se limitaba a las áreas militar y científica; hoy en día lo que predomina son computadoras personales, aunque aún existen equipos grandes para el cómputo de alto rendimiento.

El sistema operativo es una parte esencial para que una computadora personal pueda funcionar ya que es el encargado de administrar los recursos de la misma. Los más conocidos actualmente son Windows (más amigable pero vulnerable y costoso) y los de tipo Unix (más robusto y económico, pero menos intuitivo).

Tradicionalmente en el ambiente científico, especialmente en astronomía, se han preferido sistemas operativos tipo UNIX (como Linux), ya que este tipo de sistemas cuentan con numerosas ventajas entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- 1 UNIX es un sistema operativo multiusuario y multitarea. Esto quiere decir que fue diseñado para ser usado por varios usuarios y para mantener varios procesos en ejecución simultáneamente.
- 1 Es estable y robusto. Está preparado para independizar los diferentes programas en ejecución, de manera que el fallo de uno no afecte a los demás.

- ✦ Permite el trabajo distribuido ya que es posible desarrollar trabajo con redes de computadoras logrando conexiones remotas.
- ✦ Permite trasladar el código fuente a un nuevo sistema. Es decir, los sistemas operativos tipo UNIX son compatibles entre sí a nivel de código fuente [Catalina y Catalina, 1999].
- ✦ Maneja un sistema de memoria virtual con páginas que permiten ejecutar programas mucho más grandes que la capacidad disponible en RAM [Hall, 1999].

A pesar de que el uso de Linux ofrece excelentes ventajas para la investigación científica, todavía existen algunos centros de investigación que hacen uso de software desarrollado para Windows. Lo anterior se debe a lo cómodas y amigables que resultan sus interfaces de usuario. Sin embargo, esto genera la necesidad de transportar datos de una plataforma a otra (Windows a Linux y viceversa) ya que en una sola plataforma no existe todo el software requerido por los investigadores, lo que representa un problema.

Afortunadamente, el desarrollo de Linux es muy dinámico y a través del tiempo ha incorporado herramientas robustas y cada vez más amigables para el usuario. Los comandos en línea siguen siendo ampliamente utilizados pero los ambientes gráficos, con apariencia similar a Windows, han ido ganando terreno y aumentando la aceptación de Linux.

Por todo lo anterior, no es de sorprenderse que los centros de investigación estén buscando la manera de emigrar completamente hacia un sistema operativo Linux. Un

caso particular es el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir (OAN-SPM) donde, debido a los enormes beneficios que brinda Linux, se ha decidido implementar en este sistema operativo muchas de las aplicaciones que antes estaban en los sistemas operativos DOS y Windows (en sus diversas versiones).

Para el caso particular del procesamiento de imágenes astronómicas obtenidas en interferómetros de Fabry-Perot (ver apéndice A), en el mundo existen principalmente dos paquetes ampliamente utilizados: CIGALE y ADHOC_w. CIGALE está diseñado para funcionar en una plataforma tipo UNIX pero no es en lo absoluto amigable; es decir, el usuario interactúa con el sistema básicamente mediante comandos en línea. En cambio, ADHOC_w es bastante amigable pero trabaja bajo el ambiente Windows. En otras palabras, no se cuenta con un sistema amigable para trabajar en Linux.

En este trabajo de tesis se presenta el desarrollo, sobre Linux, de un sistema para analizar y procesar las imágenes astronómicas obtenidas en observaciones con un CCD (ver capítulo IV) en un interferómetro de Fabry-Perot de barrido.

Con el sistema descrito en este trabajo se procesarán y analizarán las imágenes obtenidas para extraer información tal como la composición química de los objetos astronómicos y su velocidad de rotación o desplazamiento. Este sistema también será útil como un medio para la visualización de las imágenes mientras se van adquiriendo a fin de que el usuario (astrónomo) pueda determinar de manera visual las propiedades del objeto que esté estudiando. Para esto se presentarán diversos histogramas e información diversa, además de la imagen original.

Para desarrollar este nuevo sistema se ha utilizado el lenguaje de programación Tcl/Tk (en el capítulo VI se explica con mayor detalle este lenguaje) ya que brinda una gran facilidad para el manejo del ambiente gráfico en diversas plataformas. También se hizo uso de la programación en lenguaje C, en particular para la manipulación de los datos.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

II.1 INTERFERÓMETROS DE FABRY-PEROT EN ASTRONOMÍA

La interferometría es la rama de la ciencia dedicada al estudio y la medición de la interacción entre ondas, tales como ondas electromagnéticas y ondas acústicas. La interferencia entre ondas coherentes da como resultado regiones de alta señal (interferencia constructiva) cuando las ondas están en fase y regiones sin señal (interferencia destructiva) cuando las ondas están exactamente fuera de fase. En el caso de la luz, el efecto usualmente produce una serie de bandas luminosas y bandas oscuras llamadas *franja*s. Un registro del patrón de franjas se denomina *interferograma*.

Un interferómetro es un instrumento que utiliza el principio de interferencia de ondas electromagnéticas para propósitos de medición.

En general, los interferómetros se pueden utilizar para medir una gran variedad de variables físicas, tales como desplazamiento (distancia), temperatura, longitud de onda, estructura espectral fina, índices de refracción, presión y tensión.

La interferometría de Fabry-Perot es un enfoque particular para la medición de desplazamientos con alta precisión y permite realizar espectroscopía de objetos extendidos sobre un amplio campo de visión. El interferómetro de Fabry-Perot (IFP)

ofrece ventajas únicas sobre otros sistemas de alto rendimiento geométrico tales como el espectrómetro de transformada de Fourier. Adicionalmente, el IFP se puede combinar con grismas o rejillas para satisfacer requerimientos tanto espectrales como espaciales, en un solo instrumento.

Un interferómetro de Fabry-Perot consiste, fundamentalmente, en un par de placas de vidrio semiplatedadas que forman una cavidad. Este arreglo se denomina etalón y se comporta básicamente como un filtro de frecuencias cuya frecuencia de transmisión está relacionada íntimamente con su longitud (ver apéndice A). Conforme cambia la longitud del etalón, cambian las frecuencias en las que se produce el máximo de la interferencia. Mediante el monitoreo de la frecuencia de transmisión óptica se pueden resolver cambios muy pequeños en la longitud de la cavidad.

II.1.1 Importancia de un sistema interferométrico en el OAN-SPM

Existe una gran variedad de problemas astronómicos que requieren de la obtención de datos espectroscópicos con una alta resolución, tanto espectral como espacial y un gran campo de visión en el cielo. Se puede estudiar la cinemática de regiones de formación estelar, remanentes de supernovas, las diferentes envolventes de las nebulosas planetarias, chorros de alta velocidad, la interacción de pares de galaxias y el desencadenamiento de la actividad en los núcleos de éstas, así como la posible deformación de la estructura espiral a causa de este tipo de interacciones.

Para realizar este tipo de estudios, entre la instrumentación existente en el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B. C. (OAN-SPM), se encuentra el sistema llamado PUMA. Este sistema ha sido usado exitosamente en el foco Cassegrain del telescopio de 2.1m en su configuración $f/7.5$.

PUMA es un instrumento que está compuesto por un reductor focal (colimador y cámara objetivo) y está diseñado para permitir, mediante un posicionador, la integración de diversos elementos ópticos dispersivos (grismas, rejillas, etc.) en el haz colimado. Actualmente funciona con un interferómetro Fabry-Perot de barrido (IFPB) CS-100 de Queensgate, al cual se le puede cambiar la longitud del etalón de manera dinámica. El instrumento cuenta también con una rueda de filtros de interferencia, un sistema de lámparas de calibración y un detector tipo CCD [Rosado et al, 1997].

El sistema incluye el instrumento, el controlador CS100 del IFPB, sus programas de control y accesorios. Las partes móviles de este instrumento se controlan remotamente desde el cuarto de observación (el Apéndice B contiene una breve descripción de las componentes del instrumento).

Los programas, que funcionan en una PC con Linux creando una interfaz gráfica, fueron desarrollados con los paquetes Tcl/Tk. Cuentan con dos secciones que son: adquisición de imágenes y control del instrumento, lo cual se realiza desde el cuarto de observación. Para el procesamiento de las imágenes, hace uso del paquete CIGALE [Plana et al, 2000].

Dado que es posible remover o insertar el etalón en el sistema óptico, el PUMA es capaz de proporcionar:

- ✦ Imágenes directas de objetos cósmicos extensos en varias líneas de interés astronómico ($H\alpha$ ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$) y las líneas prohibidas de $[NII]$ ($\lambda = 6584 \text{ \AA}$), $[SII]$ ($\lambda = 6717$ y $6731 \text{ \AA}$) y $[OIII]$ ($\lambda = 5007 \text{ \AA}$)).
- ✦ Imágenes directas de objetos extragalácticos en donde la longitud de onda de las líneas mencionadas cambia debido al movimiento, a escala cosmológica del objeto en cuestión.
- ✦ Interferogramas en las mismas líneas, que permiten obtener el campo de velocidades radiales.

Así como este instrumento, existen otros en el mundo. Un ejemplo es el observatorio de Hawaii, donde se encuentra el instrumento OASIS en sus modos Pytheas, MOS y OSIS.

II.2 SOFTWARE EXISTENTE EN LA ACTUALIDAD PARA INTERFEROMETRÍA

Una vez adquiridas las imágenes, deben ser procesadas para obtener información útil. Sería casi imposible para los astrónomos realizar ellos mismos la infinidad de cálculos matemáticos sin la ayuda de un programa de computadora adecuado. Para

cubrir esta necesidad, existen algunos paquetes de software alrededor del mundo que permiten realizar los cálculos requeridos para la reducción de datos, muchos de estos paquetes son de uso local por lo que no son conocidos fuera del laboratorio donde fueron desarrollados. Sin embargo, algunos desarrolladores han permitido que sus paquetes se difundan y sean distribuidos entre usuarios. Entre los más conocidos para Fabry-Perot podemos encontrar a CIGALE y ADHOC_w.

CIGALE (por *cinemática de galaxias*) es un programa para reducción de datos obtenidos por un interferómetro de Fabry-Perot con un determinado número de canales de barrido. Este paquete fue elaborado por el Dr. Etienne Le Coarer del Observatorio de Grenoble, Francia. Se encuentra instalado en varias estaciones de trabajo del Instituto de Astronomía de la UNAM y se corre en Openwindows y en Linux [Arias et al, 1994].

ADHOC_w (Analizador de Datos Homogéneos de Observaciones CIGALE para Windows) es el principal software utilizado por el Grupo de Interferometría del Observatorio de Marsella, Francia, para reducir datos en 3D (ver apéndice A, sección A.1.3) provenientes de diferentes instrumentos. También contiene útiles módulos de visualización para imágenes en dos dimensiones. El sistema ADHOC fue diseñado en 1987 por Jacques Boulesteix con la finalidad de reducir los datos obtenidos del instrumento Fabry-Perot CIGALE integrado en el Observatorio de Marsella. Hasta 1998, las sucesivas versiones de ADHOC corrían en el sistema operativo DOS. ADHOC_w cuenta ya con varias versiones que corren bajo el ambiente Windows, tomando los beneficios de las multitareas, archivos compartidos y las redes. ADHOC ha

permitido reducir datos de varios grandes telescopios: 3.6 m CFHT (Hawaii), 3.6 m ESO (Chile), 1.5 m ESO (Chile), 6 m SAO (Rusia), 1.93 m OHP (Francia), 2.6 m Byurakan (Armenia), 2 m San Pedro Mártir (México), 1.5 m Bosque Alegre (Argentina), 1.6 m Mt. Megantic (Canadá), etc. El concepto de ADHOC radica en minimizar el entrenamiento de los usuarios. Toda la interfaz del sistema es gráfica y muy amigable; además, cuenta con una guía de ayuda en HTML [Boulesteix, 1999].

II.3 NECESIDAD DE UN NUEVO SISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Actualmente, en el OAN-SPM, los programas de visualización y análisis de datos obtenidos en otros instrumentos se manejan en una plataforma Linux, con el fin de aprovechar las ventajas de este sistema operativo.

Por lo tanto, para el procesamiento de imágenes obtenidas con interferómetros de Fabry-Perot en el OAN-SPM se decidió construir un programa que funcione en Linux tomando como base el ADHOCw. Los beneficios de un sistema así serían aprovechados, no sólo a nivel nacional (en el OAN-SPM), sino también a nivel internacional entre los usuarios que prefieren utilizar Linux.

CAPÍTULO III

OBJETIVOS

Como resultado del análisis de la situación mencionada en el capítulo anterior, en la que surgió la necesidad de desarrollar un nuevo software bajo Linux para el procesamiento y análisis de imágenes obtenidas mediante observaciones con interferómetros de Fabry-Perot, se plantearon los siguientes objetivos:

III.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema en una plataforma Linux para visualizar y analizar las imágenes obtenidas en observaciones astronómicas con un CCD en un interferómetro de Fabry-Perot de barrido, con el fin de cubrir las necesidades que han surgido en el proceso de migración a una plataforma Linux en el OAN-SPM.

III.1.1 Objetivos específicos

1. Desarrollar un sistema de visualización de imágenes en 2 y 3 dimensiones.
2. Desarrollar las herramientas necesarias para el análisis de las imágenes.

-
3. Desarrollar un sistema con una interfaz que sea sencilla de entender y manejar por los usuarios.
 4. Establecer un nivel de compatibilidad con algunos otros paquetes ya existentes, en particular ADHOC_w y CIGALE con el fin de poder utilizar la información adquirida y analizada en épocas anteriores.
 5. Estructurar el sistema de manera que se facilite su comprensión y el mantenimiento sea más sencillo.
 6. Proporcionar la documentación adecuada para la operación y el mantenimiento del sistema.

CAPITULO IV

ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

Un detector de luz es simplemente un transductor de energía luminosa, que convierte ésta en una forma electrónicamente medible. Los detectores de luz pueden usarse en una gran variedad de aplicaciones en los ámbitos militar, científico, industrial y comercial. Actualmente, en astronomía, la adquisición de las imágenes se realiza con diversos detectores, dependiendo de la longitud de onda de la luz que se pretende recibir. En la región infrarroja del espectro se utilizan los llamados arreglos infrarrojos o “IR-FPAs” (arreglos en plano focal, por sus siglas en inglés), tales como los siguientes:

- ✦ NICMOS3, sensible entre 1 y 2.5 micras, fabricado por Rockwell Scientific en HgCdTe (ahora, estos detectores han sido desplazados por los PICNIC, también de Rockwell, casi idénticos a los NICMOS3, pero con un mejor comportamiento).
- ✦ InSb (antimoniuro de indio), sensible en el intervalo de 1 a 5 micras, fabricado por Hughes Santa Bárbara.
- ✦ BIB (Blocked Impurity Band), sensible de 2 a 28 micras, construido por la Boeing y el Lawrence Semiconductor Research Laboratory en silicio “contaminado” con Arsénico (Si:As).

-
- 1 BST o microbolómetros, sensibles de 8 a 14 micras y frabricados en arreglos de diferentes formatos como los comerciales de 120x120 y 320x240 pixeles. Estos detectores, a diferencia de los anteriormente mencionados, tienen la ventaja de que pueden operar a temperatura ambiente.

Gran cantidad de la radiación infrarroja (IR) no es aprovechable por los sistemas de detección, ya que es absorbida por el agua o el dióxido de carbono de la atmósfera. Sin embargo, hay varias bandas en longitud de onda con muy buena transmisión en la atmósfera:

La banda IR lejana (LWIR) que va de 8 a 14 micras, con casi el 100% de transmisión en la banda de 9 a 12 micras. Esta banda ofrece excelente visibilidad para muchos objetos terrestres y estelares. La banda del infrarrojo medio (MWIR o MIR) que va de 3.3 a 5 micras también ofrece un pico de transmisión cercano al 100% con el beneficio agregado de menor ruido de fondo ambiente. La banda visible y del infrarrojo cercano (SWIR o NIR), que va desde 0.35 hasta 2.5 micras, corresponde a una alta transmisión atmosférica y al pico de iluminación solar, obteniéndose en los detectores la más alta claridad y resolución de las tres bandas. En la zona visible del espectro, el desarrollo de detectores basados en el silicio ha llevado a la invención de los llamados CCDs (dispositivos por acoplamiento de carga, por sus siglas en inglés), los cuales son sensibles desde 400 hasta 800 nanómetros, con máximos muy cercanos ya al 100%. Dado que las imágenes obtenidas con el interferómetro de Fabry-Perot en el OAN-SPM

son imágenes obtenidas con CCDs, en la sección siguiente se describirá con detalle este tipo de detectores (existe en el OAN-SPM también un interferómetro de Fabry-Perot que opera en el infrarrojo cercano, cuyas imágenes son obtenidas con un detector NICMOS3. Pero su uso es muy restringido, por lo que no se abordará ese tema. Además, el tratamiento de las imágenes es independiente del detector empleado en su adquisición).

IV.1 CCD'S

Los Dispositivos por Acoplamiento de Carga (CCDs, por sus siglas en inglés) fueron inventados en la década de 1970 y originalmente encontraron aplicación como dispositivos de memoria. Sus propiedades de sensibilidad a la luz fueron explotados rápidamente para la adquisición de imágenes y produjeron una gran revolución en la astronomía y, posteriormente, también en los sistemas de video comerciales. Los CCDs permitieron a los telescopios aumentar su poder de captación de luz por casi dos órdenes de magnitud. Hoy en día, un astrónomo amateur con una cámara con CCD y un telescopio de 15 cm puede coleccionar tanta luz como un astrónomo de los 60's equipado con una placa fotográfica y un telescopio de 1 m. Los CCDs funcionan convirtiendo la luz en un patrón de paquetes de carga electrónica en un circuito integrado (*chip*) de silicio. Este patrón de carga es convertido en un patrón de voltajes, que es digitalizado y almacenado como un archivo de imagen en una computadora. A cada paquete de carga

se le denomina “píxel”. Se puede considerar que un CCD es una matriz formada por píxeles en un arreglo de columnas y renglones.

Aunque los CCDs tienen ya un uso muy amplio en diversas aplicaciones comerciales, esta sección se enfocará en las aplicaciones científicas de los CCDs [Gutiérrez et al].

IV.1.1 Las características más importantes de un CCD

a) Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es el principio físico en el que se fundamenta la operación de un CCD. Los átomos en un cristal de silicio tienen electrones acomodados en bandas discretas de energía. La banda de energía más baja es llamada la Banda de Valencia; la banda superior es la Banda de Conducción. La mayoría de los electrones ocupan la banda de valencia pero pueden ser excitados para pasar a la banda de conducción por calentamiento o mediante la absorción de un fotón. La energía requerida para esta transición es de 1.26 electrón-volts. Una vez en la banda de conducción, el electrón es libre de moverse en la red del cristal de silicio. El electrón deja detrás un “agujero” en la banda de valencia que actúa como un portador cargado positivamente. En ausencia de un campo eléctrico externo, el agujero y el electrón se recombinan rápidamente y se

pierden como portadores. En un CCD, se introduce un campo eléctrico para “barrer” estos portadores de carga y evitar que se recombinen.

Los electrones generados térmicamente son indistinguibles de los electrones generados por el efecto fotoeléctrico. Esos constituyen una fuente de ruido conocida como “Corriente Oscura”, por lo que es importante que los CCDs para uso científico se mantengan fríos para reducir el número de estos electrones.

b) Estructura

En un telescopio, la superficie sensible del CCD se coloca en el plano focal (plano donde se forma la imagen). El patrón luminoso se convierte allí en un patrón de cargas eléctricas. Al final de la exposición, este patrón es transferido, un pixel a la vez, por medio del “registro serie”, al amplificador interconstruido en el chip. Las conexiones eléctricas al mundo exterior se hacen a través de pequeñas paletas metálicas y alambres de oro muy delgados colocados en la periferia del chip.

Los CCDs se fabrican con tabletas de silicio usando la misma técnica foto-litográfica usada para fabricar los chips, como los que se utilizan en circuitos electrónicos y en computadoras. Los CCDs de uso científico generalmente son grandes y de muy alta calidad. En una tableta de silicio sólo caben unos pocos CCDs grandes y, de esos pocos, sólo un pequeño porcentaje califica como de grado científico, lo que aumenta su costo de producción.

c) Respuesta espectral

La gráfica inferior (Figura IV.1) muestra la transmisión de la atmósfera cuando se observa un objeto en el cenit. La atmósfera absorbe fuertemente abajo de los 330nm, en la región del cercano ultravioleta del espectro.

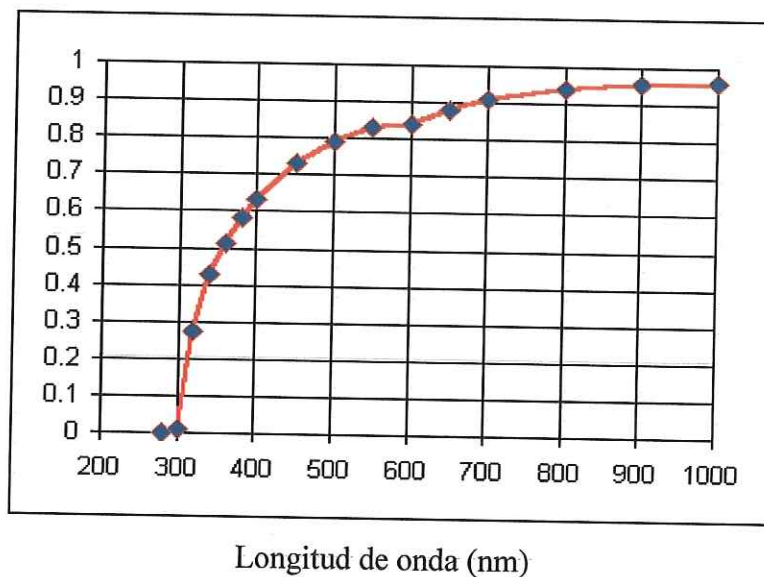


Figura IV.1. Gráfica que ilustra la transmisión de la atmósfera cuando se observa un objeto en el cenit.

Un CCD ideal debería tener una buena sensibilidad desde los 330nm hasta aproximadamente una micra, donde el silicio (de lo que están hechos los CCDs) se vuelve transparente y, por tanto, insensible.

Los CCDs iluminados de manera frontal son los menos costosos de construir usando técnicas convencionales de fabricación de obleas. Éstas se utilizan generalmente en

aplicaciones comerciales. Aunque no todos los fotones se detectan, estos dispositivos son todavía más sensibles que la película fotográfica. Tienen una eficiencia cuántica baja debido a la reflexión y la absorción de la luz en los electrodos superficiales. También tienen una respuesta pobre en el azul. La estructura de los electrodos evita el uso de películas antirreflejantes, que podrían mejorar su rendimiento.

El astrónomo aficionado, con un presupuesto limitado, podría considerar el uso de CCDs gruesos, así como para muchas aplicaciones comerciales; pero para un observatorio profesional, el costo de la operación demanda que los detectores sean tan sensibles como sea posible.

A lo largo de los más de 25 años de desarrollo, la sensibilidad de los CCDs ha sido mejorada enormemente, hasta el punto de que casi todos los fotones incidentes en el espectro visible son detectados. La sensibilidad de los CCDs se ha mejorado usando dos técnicas principales: mediante el adelgazamiento y usando películas anti-reflejantes.

IV.1.2 Técnicas para mejorar la sensibilidad en los CCDs

a) Películas antirreflejantes

El silicio tiene un índice de refracción muy alto (denotado por n). Esto significa que los fotones son reflejados fuertemente en su superficie. El índice n del aire o del vacío es 1.0; del vidrio es 1.46; del agua 1.33 y del silicio 3.6. Se puede demostrar que el

vidrio de ventana en aire refleja 3.5% y que el silicio en aire refleja 32%. Entonces, a menos que se tomen acciones, el CCD de silicio detectará, en el mejor de los casos, a lo más 2 de cada 3 fotones.

La solución es depositar una capa delgada de material dieléctrico transparente en la superficie del CCD. El índice de refracción de este material debería estar entre el del silicio y el del aire y debería tener un espesor mínimo ($\sim \frac{1}{4}$ de la longitud de onda de la luz). De manera típica, se escogen 550nm como longitud de onda típica, que está muy cerca de la mitad de la parte óptica del espectro.

Con una película antirreflejante, tenemos ahora tres medios a considerar. Para el silicio, se requiere un material con $n = 1.9$. Afortunadamente, tal material existe: es el dióxido de Hafnio. Este material se usa comúnmente para recubrir CCDs astronómicos.

En la Figura IV.2 se muestra la reflectividad de un CCD EEV 42-80. Estos CCDs fueron diseñados para tener una respuesta óptima en el azul y tiene una película antirreflejante optimizada para trabajar a 400nm. En esta longitud de onda la reflectividad cae a aproximadamente 1% [Gutiérrez et al].

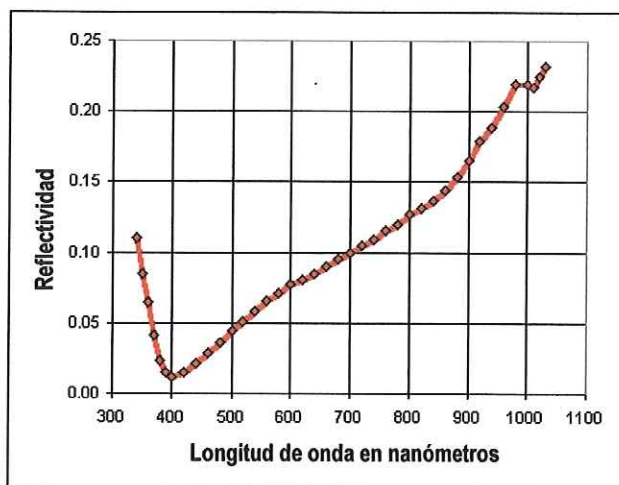


Figura IV.2. Reflectividad de un CCD EEV 42-80.

b) CCDs adelgazados iluminados por atrás

En estos CCDs, el silicio se adelgaza químicamente y se pule hasta tener un espesor de aproximadamente 15 micras. El CCD se instala de tal manera que la luz entre ahora por la parte trasera para que los electrodos no obstruyan a los fotones. La eficiencia cuántica (QE) puede elevarse hasta casi el 100 %.

La producción de estos CCDs es muy cara, ya que el adelgazamiento no es un proceso estándar.

Por otra parte, estos CCDs son transparentes a la luz en el cercano infrarrojo y su respuesta en el rojo es pobre. Su respuesta puede amplificarse aplicando una película antirreflejante en la parte trasera del CCD. Estas películas no funcionan tan bien en los CCDs gruesos debido a las irregularidades producidas por los electrodos. Casi todos los

CCDs astronómicos son ahora adelgazados e iluminados por atrás, los cuales están muy cerca de ser detectores de luz visible prácticamente ideales.

c) CCDs de agotamiento profundo

El adelgazamiento es esencial con los CCDs iluminados por atrás si se busca una buena respuesta en el azul. La mayoría de los foto-electrones azules se crean a unos pocos nanómetros de la superficie y si esta región está libre de campo eléctrico no habrá respuesta en el azul. Idealmente, requerimos todos los beneficios de un CCD adelgazado más una buena respuesta en el rojo. La solución es usar un CCD con un adelgazamiento intermedio de unas $40\mu\text{m}$ construido con silicio de alta resistividad. Este espesor hace al dispositivo opaco a los fotones rojos y el uso de silicio de alta resistividad significa que no hay regiones libres de campo a pesar de su grosor mayor. Hay ahora un campo eléctrico alto a través de todo el CCD. Los CCDs fabricados de esta manera son conocidos como CCDs de agotamiento profundo (deep depletion CCDs). El nombre implica que la región de campo eléctrico alto, también conocida como la “zona de agotamiento”, se extiende más profundamente en el dispositivo.

IV.1.3 Binning

En algunas aplicaciones, existen ocasiones en que podría ser más eficiente para el astrónomo cambiar a un detector con pixeles más grandes, ya que sería más rápido de leer y el archivo resultante de la imagen sería más pequeño, ocupando menos espacio en disco. Existe una manera de leer un CCD incrementando el tamaño efectivo del pixel: se llama “binning”. Con el binning podemos incrementar el tamaño de un pixel casi arbitrariamente. En el límite, podríamos leer el CCD completo como si fuera un solo super pixel. Un binning muy usado por los astrónomos es 2x2, lo que significa que la carga de cada cuadrado de 2x2 pixeles adyacentes se sumará en el chip antes de salir al amplificador de salida.

Una ventaja importante del binning in-situ es que es un proceso libre de ruido.

El binning se hace en dos maneras diferentes: vertical y horizontal. Cada uno puede hacerse de manera independiente pero se obtienen pixeles rectangulares.

IV.1.3.1 Tipos de binning

a) Binning vertical

Esto se hace sumando la carga de renglones consecutivos. La suma se hace en el registro serie. En el caso de binning 2x2, dos renglones de la imagen se depositarán consecutivamente en el registro serie antes de que éste sea leído.

b) Binning horizontal

Esto se realiza combinando cargas de pixeles consecutivos del registro serie en un electrodo especial colocado entre el registro serie y el amplificador de salida llamado Punto Suma (Summing Well, SW). El paquete de carga combinado puede empujarse luego al nodo de salida para su medición.

IV.1.4 Defectos de los CCDs

A menos que uno pague una enorme cantidad de dinero, generalmente es difícil obtener un CCD libre de defectos. La primera clase de defectos es una “columna oscura”. Las columnas oscuras son originadas por “trampas” que bloquean la

transferencia vertical de carga durante la lectura de la imagen. Las trampas pueden ser causadas por las fronteras cristalinas en el silicio del CCD o por defectos de fabricación.

Aunque las columnas oscuras marcan cosméticamente el CCD, no deberían ser un gran problema para los astrónomos, cuando son relativamente pocas. Por ejemplo, en un CCD de 2048 columnas, 7 columnas malas representan una pérdida de datos muy pequeña.

Existen otros tres tipos de defectos comunes en las imágenes de los CCDs [Davenhall et al 2001]:

Las columnas brillantes: Son causadas por trampas en las que los electrones contenidos pueden derramarse durante la lectura, causando una marca vertical.

Los puntos calientes: Son pixeles con una corriente oscura mayor de lo normal. Su brillo crece linealmente con el tiempo de exposición.

Los rayos cósmicos: Son partículas cargadas procedentes del espacio o de trazas radioactivas en el material de la misma cámara o de objetos circundantes, pueden producir ionización en el silicio. Los electrones producidos son indistinguibles de los electrones fotogenerados. Una tasa de aproximadamente 2 rayos cósmicos por cm^2 por minuto puede ser una situación normal. Un evento típico puede afectar unos pocos pixeles adyacentes y contener varios miles de electrones. Los rayos cósmicos son inevitables.

Defectos de emisión: Son puntos calientes que actúan como pequeños leds que producen un halo luminoso en el chip. Algunos defectos pueden surgir de la electrónica de procesamiento aunque es raro que se presenten.

Otro problema encontrado comúnmente en los CCDs adelgazados es el “fringing”. Este efecto se reduce notablemente en los CCDs de agotamiento profundo. El fringing es originado por reflexiones múltiples dentro del CCD. A longitudes de onda más largas, donde los chips adelgazados empiezan a ser transparentes, la luz puede penetrar el CCD y reflejarse en la superficie posterior, interfiriendo entonces con la luz que entra. Esto puede dar origen a patrones de interferencia constructiva y destructiva con una serie de franjas donde hay pequeñas diferencias en el grosor del chip.

En aplicaciones espectroscópicas, el fringing puede hacer inútiles algunos CCDs adelgazados, aún cuando tengan una eficiencia cuántica considerable en el azul. Entonces, para espectroscopía, se prefieren los CCDs de agotamiento profundo, que tienen un grado mucho menor de reflexiones internas y, por tanto, menos fringing.

IV.1.5 Fuentes de ruido en una imagen de CCD

a) Ruido de lectura

Éste es originado principalmente por electrones inducidos térmicamente en el amplificador de salida del CCD. Esto hace que aparezcan pequeños voltajes de ruido a

la salida. Esta fuente de ruido, conocida como Ruido de Johnson, puede reducirse enfriando el amplificador de salida o disminuyendo el ancho de banda electrónico. Disminuir el ancho de banda significa que tomará más tiempo medir la carga de cada pixel, de manera que existe un compromiso entre un ruido bajo y la velocidad de lectura. Otros problemas de interferencia producidos por la electrónica del observatorio también puede contribuir al Ruido de Lectura, pero pueden eliminarse mediante un diseño cuidadoso. El ruido de Johnson es el más fundamental y, en algún grado, siempre estará presente. El ruido de lectura pone un límite fundamental al rendimiento de un CCD; este ruido puede reducirse incrementando el tiempo de lectura. Los CCDs científicos tienen actualmente un ruido de lectura típico de 2-3 electrones RMS.

b) Corriente oscura

En un pixel pueden generarse electrones sea por el movimiento térmico de los átomos de silicio o por la absorción de fotones. Los electrones producidos por estos dos efectos son indistinguibles. La corriente oscura es análoga al efecto que puede ocurrir en una emulsión fotográfica si a la cámara se le filtra luz. La corriente oscura puede reducirse o eliminarse enfriando el CCD ya que las cámaras se enfrían típicamente con nitrógeno líquido hasta el punto donde la corriente oscura cae abajo de un electrón por pixel por hora, donde es prácticamente inmedible. Las cámaras enfriadas termoeléctricamente pueden tener una corriente oscura substancial. En la Figura IV.3 se muestra cómo puede reducirse la corriente oscura de un CCD TEK1024 enfriándolo.

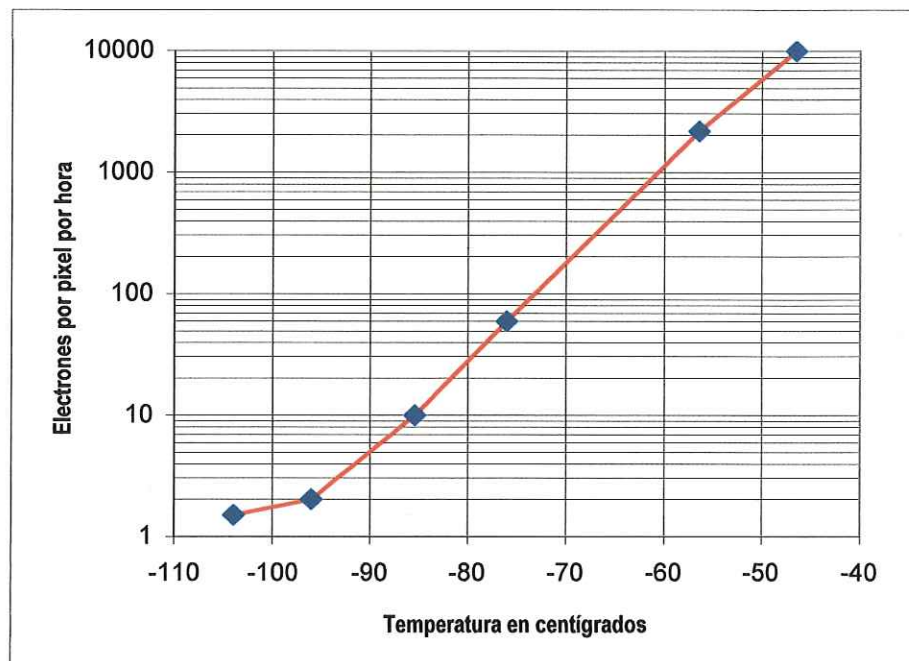


Figura IV.3. Reducción de corriente oscura en un CDD TEK1024 mediante enfriamiento.

c) Ruido de fotones

Llamado también ruido de disparo. Se debe al hecho de que el CCD detecta fotones. Los fotones llegan de manera impredecible descrita por la estadística de Poisson. Esta “impredecibilidad” causa ruido.

En una analogía de gotas de lluvia cayendo sobre un arreglo de cubetas, las cubetas son los pixeles y las gotas de lluvia los fotones. Tanto las gotas de lluvia como los fotones llegan discretos e independientemente y al azar, estando esto descrito por la estadística de Poisson. Si las cubetas son muy pequeñas y la lluvia cae muy dispersa,

algunas cubetas pueden recolectar una o dos gotas, mientras que otras pueden no obtener nada. Si permitimos que la lluvia caiga suficiente tiempo, todas las cubetas medirán el mismo valor, pero para tiempos cortos de medición la dispersión en los valores medidos es grande. Este escenario es esencialmente el de un CCD astronómico donde los pequeños pixeles están recolectando flujos muy bajos de fotones.

La estadística de Poisson nos dice que la incertidumbre RMS (ruido RMS) en el número de fotones por segundo detectados por un pixel es igual a la raíz cuadrada del flujo medio de fotones (el número promedio de fotones detectados por segundo). Por ejemplo, si se obtiene la imagen de una estrella en un pixel, produciendo, en promedio, 10 foto-electrones por segundo, y se observa la estrella durante 1 segundo, entonces, la incertidumbre de nuestra medición de su brillo será la raíz de 10, o sea, 3.2 electrones. Este valor es el “ruido de fotones”. Aumentando el tiempo de exposición a 100 segundos aumentará el ruido de fotones a 10 electrones (la raíz de 100), pero al mismo tiempo aumentará la “razón Señal a Ruido” (SNR por sus siglas en inglés). En ausencia de otras fuentes de ruido, la “razón Señal a Ruido” aumentará como la raíz cuadrada del tiempo de exposición. En astronomía, generalmente se procura maximizar la SNR [Davenport et al 2001].

d) No-Uniformidad en la respuesta de los píxeles (PRNU por sus siglas en inglés)

Los defectos del silicio y pequeños defectos de manufactura pueden hacer que algunos pixels tengan una sensibilidad mayor que sus vecinos. Esta fuente de ruido puede removerse mediante el “aplanamiento”, una técnica de procesamiento de imágenes.

Si tomamos una exposición de campo plano muy profunda (al menos unos 50,000 electrones de carga fotogenerada por pixel), la contribución del ruido de lectura y del ruido de fotones se vuelve muy pequeña. Si graficamos, entonces, el valor de los pixeles a lo largo de un renglón de la imagen podremos ver una variación en la señal causada por las ligeras variaciones en sensibilidad entre los pixeles. Las variaciones en un CCD de uso científico pueden ser tan grandes como $\pm 2\%$. Afortunadamente, estas variaciones son constantes y se pueden remover fácilmente dividiendo una imagen de ciencia, pixel a pixel, por una imagen de campo plano [Davenport et al 2001].

IV.1.6 Dos tipos de CCD**1. Cámaras con capacidad de integrar**

Existen diferencias en la geometría de una cámara con capacidad de integración comparada con una cámara para video. Una cámara con capacidad de integración, como

las usadas en la mayoría de las aplicaciones astronómicas, se diseña para permanecer en un objeto durante un tiempo de exposición de varios minutos. Cuando la lectura empieza y se transfiere la carga hacia afuera del área de imagen, línea por línea hacia el registro serie, el área de imagen permanece sensible a la luz. Debido a que la lectura puede tomar hasta un minuto o más, si no cuenta con un obturador, cada imagen estelar se “escurrirá” a lo largo de las líneas. Por tanto, es esencial la presencia de un obturador externo para evitar este escurrimiento. Esta clase de CCDs se conoce como de “barrido lento” [Gutiérrez et al].

2. CCDs de video

Una cámara de video necesita ser leída mucho más rápidamente. Un CCD de video puede ser usado por los astrónomos como “buscador” para localizar sus objetos de interés y asegurarse de que el telescopio está apuntando al lugar deseado o puede usarse para guiar. Estas cámaras deben leerse mucho más rápidamente, tal vez varias veces por segundo. Un obturador mecánico operando a esa frecuencia es impráctico. La geometría de un CCD de video, sin embargo, incorpora un tipo de obturador electrónico en el CCD y no se requiere un obturador externo.

En un CCD de lectura segmentada, la carga de cada mitad del área de imagen puede desplazarse de manera independiente. Si la parte inferior del área de imagen se cubre con una máscara opaca (una capa de aluminio depositado en la superficie del CCD o una

máscara externa), se tiene un CCD de transferencia de campo que se usa para aplicaciones de alta velocidad de lectura. El área disponible para imagen se reduce a la mitad y la parte inferior del CCD se convierte en el “área de almacenamiento”.

La operación de un CCD de video con el campo segmentado empieza con la integración de la imagen en el CCD. Una vez que la exposición se completa, la carga del área de imagen se desplaza hacia abajo al área de almacenamiento, debajo de la máscara a prueba de luz. Este desplazamiento es rápido: del orden de unos pocos milisegundos para un CCD grande. Lo que podría “embarrarse” la imagen en este tiempo es mínimo (suponiendo que no hay obturador externo).

Una vez que la imagen se ha guardado debajo de la máscara, puede leerse tranquilamente. Ya que las fases de reloj de las áreas de imagen y de almacenamiento se pueden controlar de manera independiente, la siguiente imagen se puede integrar en el área de imagen durante la lectura. El área de imagen puede mantenerse integrando de manera continua y el detector tendrá solamente un pequeñísimo tiempo muerto durante el desplazamiento de la imagen. No se requiere un obturador externo, pero el tamaño efectivo del CCD disminuye a la mitad [Gutiérrez et al].

IV.1.7 Tipos de calibración

En los siguientes incisos se describen brevemente los tres tipos de exposiciones de calibración que deben tomarse con una cámara de uso científico, generalmente antes y

después de cada sesión de observación. Éstas se almacenan junto con las imágenes científicas y se combinan con ellas durante el procesamiento de las imágenes. Estas exposiciones de calibración nos permiten compensar ciertas imperfecciones del CCD. Al obtener estas imágenes debe ponerse el mismo cuidado que para adquirir las imágenes científicas, ya que aplicar campos planos y bias de baja calidad a los datos científicos puede degradarlos en lugar de mejorarlos [Gutiérrez et al].

a) Bias

Una imagen de bias es una exposición de duración cero tomada con el obturador de la cámara cerrado. Representa el punto cero o la señal de línea base del CCD. En lugar de ser completamente plano, un bias puede contener algo de estructura. Por supuesto, cualquier defecto brillante en el CCD aparecerá aquí, así como ligeros gradientes en la imagen causados por limitaciones en la electrónica de procesamiento de señales de la cámara. Es normal tomar unas 5 imágenes de bias antes de una noche de observación. Éstas luego se combinan usando un algoritmo de procesamiento de imágenes que promedie las imágenes, pixel a pixel, despreciando aquellos valores que son notablemente diferentes de los otros 4 correspondientes.

Esto puede ocurrir si un pixel en una imagen de bias está afectado por un evento de rayos cósmicos. Es poco probable que el mismo pixel en las otras 4 imágenes resulte afectado de forma similar, de manera que el “bias maestro” resultante debería estar libre

de rayos cósmicos. Tomar un número de biases y luego promediarlos también reduce la cantidad de ruido en las imágenes de bias. Promediar 5 imágenes reducirá el ruido de lectura (ruido electrónico del amplificador del CCD) en la imagen por un factor de raíz de 5.

Algunos CCDs cuentan con una región de bias, un área del CCD que no es sensible a la luz. El valor de los pixeles en una región de bias está determinado por la electrónica de procesamiento de la señal y constituye el nivel de señal cero en el CCD. Los pixeles de una región de bias están sujetos sólo al ruido de lectura. Estas regiones de bias pueden producirse “sobre-barrido” el CCD, es decir, leyendo más pixeles que los que en realidad están presentes. Diseñar un CCD con un registro serie más largo que el ancho del área de imagen también creará franjas de bias vertical a la derecha o a la izquierda de la imagen. Estas franjas se conocen como regiones de “pre-barrido X” y “sobre-barrido X”. También es posible generar imágenes de bias leyendo el CCD sin abrir el obturador y con tiempo de exposición igual a cero, siempre y cuando la corriente oscura sea despreciable.

Una imagen de campo plano con regiones de bias puede proporcionar información valiosa, no solamente sobre las fuentes de ruido presentes en el CCD, sino también acerca de la ganancia de la electrónica de procesamiento de la señal, es decir, el número de fotoelectrones representados por cada unidad digital (ADU) entregada por el Convertidor Analógico Digital de la cámara [Gutiérrez et al].

b) Campos planos (Aplanamiento)

Esto involucra la exposición del CCD a una fuente de luz muy uniforme que produzca una iluminación muy pareja en todo el chip. Puede obtenerse una “imagen de campo plano” exponiendo el CCD hacia el cielo en el crepúsculo o hacia una superficie blanca iluminada muy cercana a la apertura del telescopio (por ejemplo, el interior de la misma cúpula, aunque se recomiendan más los campos planos de cielo). Las exposiciones de campo plano son esenciales para la reducción de datos astronómicos [Gutiérrez et al].

IV.1.8 Cámaras de mosaico

Cuando los CCDs se introdujeron por primera vez a la astronomía, una desventaja principal, comparando con la placa fotográfica, era su tamaño pequeño. Los CCDs todavía están restringidos en tamaño por las obleas de silicio que se usan en su producción. La mayoría de las fábricas sólo pueden manejar obleas de 6” de diámetro. Las placas fotográficas más grandes son del orden de 30x30 cm y cuando se usan con telescopios de campo amplio pueden obtenerse imágenes de una región del cielo de hasta 6x6 grados. Para cubrir la misma área del cielo con un CCD se requerirían muchas imágenes y sería extremadamente ineficiente el uso del tiempo de los telescopios. Es poco probable que los CCDs algún día alcancen el mismo tamaño de las placas fotográficas, de manera que para aplicaciones que requieren campos grandes, la única

solución son las cámaras con mosaicos de CCDs. Estas son cámaras que contienen hasta 30 chips y ya son de uso común hoy en día, con mosaicos todavía más grandes planeados para telescopios de mapeo en el futuro cercano. Un desafío técnico interesante asociado con el diseño de estas cámaras es tratar de mantener todos los chips en el mismo plano (o sea, en el plano focal del telescopio) con una precisión de unas pocas decenas de micras. Si existen escalones entre chips adyacentes, la imágenes estarán en foco en un chip, pero no necesariamente en sus vecinos.

La mayoría de los CCDs se diseñan para poder colocarlos juntos y construir mosaicos. Esto se logra usando paquetes con conexiones eléctricas de un solo lado, dejando los otros tres lados libres para poder juntarlos. El siguiente reto es construir CCDs que tengan las conexiones en la parte trasera del envase para poder juntarlos por los cuatro lados. Esto permitirá construir mosaicos sin zonas muertas, y aprovechar de la mejor manera posible su poder de captación de luz.

Actualmente, cuando se colocan, por ejemplo, dos CCDs EEV42-80, puede quedar entre ellos una pequeña separación de unas 50 micras. La luz que cae en esta separación, obviamente se pierde, pero generalmente esta pérdida no importa demasiado a los astrónomos ya que representa sólo el 1 % de los datos totales en la imagen [Gutiérrez et al].

IV.1.9 Controlador de un CCD

En esta primera aplicación, la computadora es un sistema embebido que funciona en un “controlador”. Este controlador, típicamente contendrá una sección analógica de bajo ruido para la amplificación y el filtrado de la señal de video del CCD, un convertidor analógico a digital, un procesador de alta velocidad para la generación de las formas de onda y uno o varios dispositivos para la recepción de mandos y para la transmisión de los datos.

Un sistema astronómico podría requerir la generación de señales de reloj con resoluciones de unas pocas decenas de nanosegundos. Esto se hace típicamente ahora usando un Procesador de Señales Digitales (DSP) de alta velocidad. Las señales de reloj se generan por software y salen del DSP por medio de los puertos paralelos interconstruidos en el chip. El diseño más básico para un CCD requiere un mínimo de 7 señales de reloj y varias más para coordinar la operación de la electrónica periférica. Las tablas para la generación de las señales se almacenan generalmente en la memoria del DSP. Otra zona de la memoria se emplea para almacenar el código que interpreta los mandos y que inicializan la cámara, aunque estos procesos, por lo general, no son críticos en el tiempo. Esta computadora, pues, es muy rápida y de diseño muy simple. Un procesador de muy bajo rendimiento aquí puede resultar en una lectura demasiado lenta y, por tanto, un bajo rendimiento en el uso global del telescopio. Cuando se lee un CCD, el obturador se encuentra cerrado y no es posible adquirir más datos en este

intervalo. Por supuesto, si se usa un CCD pequeño, un controlador lento puede no ser una desventaja, ya que no hay demasiados píxeles para procesar [Gutiérrez et al].

IV.1.10 La adquisición de los datos

El sistema, generalmente, está en computadoras personales (PCs) o estaciones de trabajo tipo SUN. Y los sistemas operativos utilizados pueden ser Linux, Windows o UNIX (Solaris). Los datos de los píxeles se reciben del controlador mediante un cable dedicado o mediante conexiones con fibra óptica. En estos últimos, la electrónica involucrada no es cara e involucra componentes de uso regular, excepto, quizá la tarjeta trancptora para las fibras ópticas. Generalmente, las tareas de adquisición se construyen en el mismo observatorio y esto representa el mayor costo de estos sistemas. La meta es proporcionar una interfaz de usuario de uso fácil, típicamente en modo gráfico, para que el usuario la intercale con la del instrumento. Su complejidad puede incrementarse por la necesidad de comunicar la interfaz del CCD con otros sistemas como el de control del telescopio, ruedas de filtros, etc., pero esto permite tener en los archivos de imágenes información como las coordenadas del telescopio. Para guardar las imágenes, existen diversos formatos, pero el más usado es el formato FITS, el cual permite guardar las imágenes junto con información diversa como la fecha, la hora, el formato de la imagen (columnas, renglones, bits por píxel), así como varios otros datos sobre el telescopio y el instrumento utilizado [Gutiérrez et al].

IV.1.11 Procesamiento de los datos obtenidos mediante un CCD

Una vez que el sistema de adquisición obtuvo los datos es necesaria la manipulación de los mismos ya que, como se menciona anteriormente, existen algunos efectos del instrumento que deben ser corregidos. El procedimiento de reducción (procesamiento) no es en lo absoluto trivial y debe ejecutarse con cuidado para evitar que se estropeen los datos. Las etapas típicas para reducir datos involucrados con un CCD son:

- ✚ Leer la información del dispositivo de almacenamiento (disco o cinta).
- ✚ Transformar los datos a un formato que sea compatible con el software que se está utilizando para el análisis.
- ✚ Inspeccionar las imágenes originales y descartar aquellas que tengan errores.
- ✚ Marcar todos los pixeles con errores o reemplazarlos con valores razonables.
- ✚ Crear imágenes maestras bias y de corriente oscura para usarlas subsecuentemente en la eliminación de señales bias y corrientes oscuras de las imágenes crudas de los objetos astronómicos.
- ✚ Para cada filtro, crear un marco de campo plano maestro para definir las variaciones de sensibilidad de pixel a pixel y después aplicar el campo plano a cada una de las imágenes.
- ✚ Para cada filtro, alinear y agregar imágenes individuales de cada objeto astronómico para generar una imagen maestra del objeto.

IV.2 FORMATOS PARA ALMACENAMIENTO DE DATOS ASTRONÓMICOS

Una vez adquirida la imagen astronómica mediante alguno de los dispositivos mencionados en las secciones anteriores, es posible almacenar los datos para su posterior análisis. Virtualmente cualquier formato se puede utilizar para guardar las observaciones [Davenhall et al, 2001]. La elección dependerá solamente de lo que sea práctico y conveniente para el observatorio involucrado.

En la actualidad, hay una proliferación de diferentes formatos para el almacenamiento de datos astronómicos [Davenhall et al 2001]. Esto se debe en parte a que cada laboratorio cuenta con instrumentos diferentes; como consecuencia, el software también es diferente y, en muchos de los casos, es desarrollado dentro del mismo laboratorio con el fin de disponer de un sistema computacional que permita al usuario realizar las tareas específicas que requiere en un determinado momento y para lo cual no existe a su alcance otra herramienta.

Intentar mencionar o desarrollar un software que sea compatible con todos los formatos que existen hasta el día de hoy sería una tarea virtualmente imposible. Sin embargo, existen paquetes de software que tienen la capacidad de importar datos de diferentes formatos y, en algunos casos, pueden procesar datos que no son de su formato nativo, aunque con cierta pérdida de eficiencia. Gracias a éste tipo de software ya no es tan problemática la transferencia de un formato a otro [Davenhall et al 2001].

Hay algunos formatos que son utilizados en diversos laboratorios o que circulan a través del Internet con lo cual se han hecho más “populares” y son manejados por varios paquetes de software. En las siguientes secciones se mencionan algunos de los formatos más conocidos para almacenamiento de datos astronómicos obtenidos con interferómetros de Fabry-Perot.

IV.2.1 FITS

El formato FITS (*Flexible Image Transport System*) inicialmente se desarrolló a finales de los 70's como un formato de intercambio de datos entre varios observatorios astronómicos. Desde entonces, FITS se ha convertido en el formato estándar de datos por defecto y es usado por la mayoría de los paquetes de software para el análisis de datos astronómicos.

Un archivo FITS consiste de uno o más bloques de información con *Encabezado* + *Unidad de Datos* (EUD), donde el primer EUD se denomina “EUD primario” o “arreglo primario”. El arreglo primario contiene un arreglo N-dimensional de pixeles, tal como un espectro de 1D, una imagen 2D o un cubo de datos 3D. Este formato soporta cinco diferentes tipos de datos primarios: bytes sin signo (8 bits), enteros con signo de 16 y 32 bits, y reales de punto flotante de 32 y 64 bits [Boulesteix, 1999].

Cualquier cantidad de EUD's adicionales pueden seguir al arreglo primario; estos EUD's adicionales se conocen como “extensiones” FITS. Actualmente existen tres tipos de extensiones definidas en el estándar de FITS [Boulesteix, 1999]:

Extensión de imagen. Un arreglo N-dimensional de pixeles, semejante al arreglo primario.

Extensión de tabla ASCII. Renglones y columnas de datos en caracteres con formato ASCII.

Extensión de tabla binaria. Renglones y columnas de datos en representación binaria.

En cada caso, el EUD consiste en una Unidad de Encabezado ASCII seguido por una Unidad de Datos opcional. Por razones históricas, cada unidad debe tener una longitud que sea un múltiplo exacto de 2880 bytes. El espacio que no sea utilizado debe rellenarse con caracteres tales como el espacio en ASCII o NULL dependiendo del tipo de unidad. La Figura IV.4 muestra la estructura de un archivo FITS.

Cada Encabezado consiste de cualquier cantidad de registros de 80 caracteres con palabras clave o “tarjetas fits” (esta definición se debe a que, cuando inicialmente se desarrolló el formato FITS, aún prevalecía el uso de las tarjetas perforadas de 80 columnas) las cuales tienen la siguiente forma:

$$\text{PALABRA_CLAVE} = \text{valor} / \text{cadena con comentarios}$$

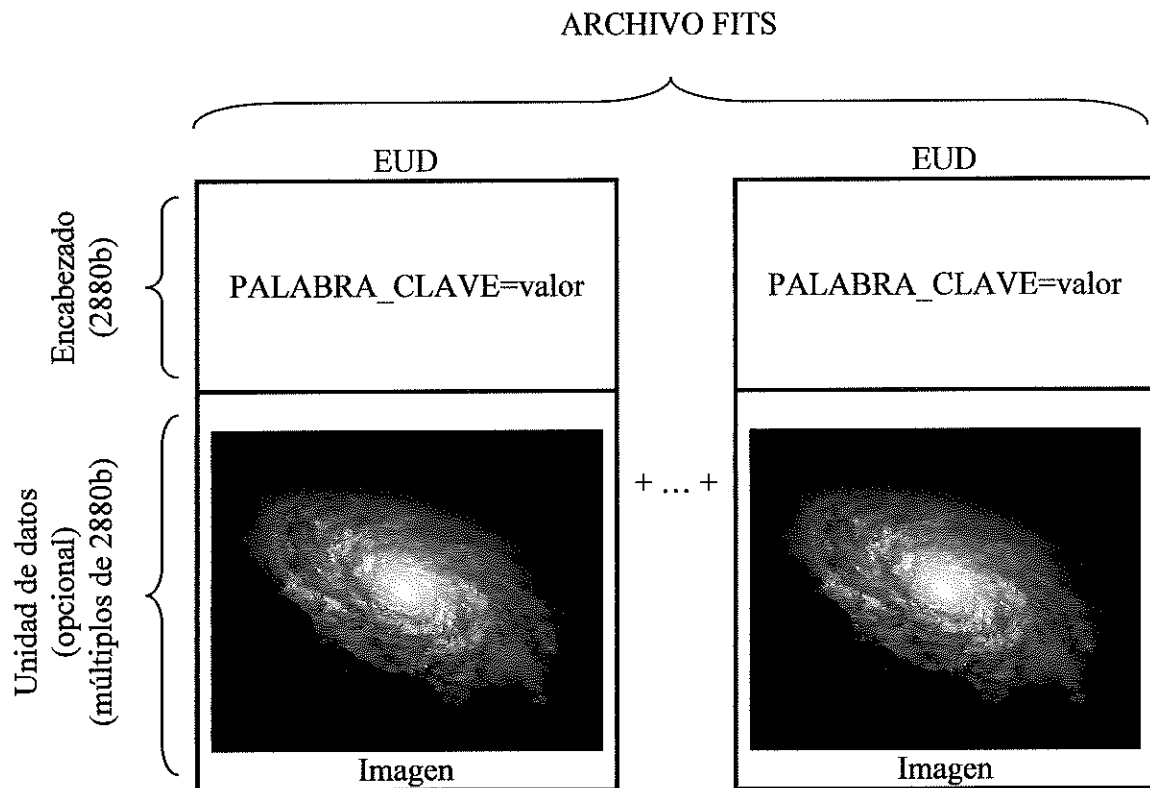


Figura IV.4. Estructura de un archivo FITS.

Los nombres de las palabras clave pueden ser de hasta 8 caracteres de largo y solo pueden contener letras mayúsculas, los dígitos 0-9, el guión y el guión bajo. El nombre de la palabra clave usualmente es seguida del signo igual y caracter de espacio (=) en las columnas 9-10 del registro, seguido por el valor de la palabra clave, el cual puede ser un entero, un número de punto flotante, una cadena de caracteres (encerrada entre comillas) o un valor booleano (la letra T o F). La última palabra clave en el encabezado es siempre "END" la cual no tiene valor ni campo de comentarios. Existen muchas reglas que gobiernan la forma exacta de un registro así que es mejor apoyarse en un

software de interfaz estándar para construir correctamente los registros en vez de tratar directamente con el formato FITS a bajo nivel.

Cada Unidad Encabezado comienza con una serie de palabras clave requeridas, las cuales dependen del tipo de EUD. Estas palabras clave requeridas especifican el tamaño y formato de la Unidad de Datos que sigue. El encabezado puede contener otras palabras clave opcionales para describir otros aspectos de los datos. Otras palabras clave para comentarios (COMMENT) o historia (HISTORY) se agregan con frecuencia para documentar más ampliamente el archivo de datos.

La Unidad de Datos opcional sigue inmediatamente después del bloque de 2880 bytes de encabezado (36 renglones de 80 caracteres). Algunos EUD's no tienen Unidad de Datos y sólo consisten de una Unidad de Encabezado.

Si hay más de un EUD en el archivo FITS, entonces el encabezado de la siguiente EUD empieza inmediatamente al final del último bloque de 2880 bytes de la Unidad de Datos anterior (o Unidad de Encabezado, según el caso) [Boulesteix, 1999].

IV.2.2 IRAF

IRAF es el acrónimo para “*Image Reduction and Analysis Facility*”. La distribución principal de IRAF incluye una buena selección de programas gráficos y para procesamiento de imágenes, además de un gran número de programas para la reducción y el análisis de datos de astronomía óptica e infrarroja. Hay otros paquetes disponibles

para realizar tareas tales como la adquisición o manipulación de datos obtenidos en otros observatorios. El sistema IRAF también incluye un ambiente de programación muy completo para aplicaciones científicas [Walter, 2001].

En el formato nativo de IRAF, un conjunto de datos, típicamente una imagen o un espectro, consiste en dos archivos: un archivo de encabezado con extensión *.imh* y un archivo de pixeles con extensión *.pix*. Estos archivos usualmente se almacenan en localidades estándar dentro de los directorios de IRAF. Los archivos *.pix* son grandes y se pueden almacenar en el mismo directorio con los archivos de encabezado, o en otro directorio. El archivo de encabezado contiene las dimensiones del arreglo de datos, el nombre del archivo de pixeles y, opcionalmente, cualquier otra información auxiliar que describa la imagen, expresada como una serie de palabras clave y sus valores. Estas palabras clave tienen deliberadamente una sintaxis similar a las palabras clave de FITS. Las dimensiones de la imagen y el nombre del archivo de pixeles se almacenan en formato binario, pero las palabras clave se almacenan como simples caracteres ASCII. Por lo tanto, se pueden revisar los valores de las palabras clave abriendo un archivo de encabezado en la terminal [Morris, 1999]. En la actualidad, IRAF también funciona con archivos FITS.

IV.2.3 CIGALE

CIGALE (por cinemática de galaxias) es un programa para reducción de datos obtenidos con un interferómetro de Fabry-Perot de barrido con un determinado número

de canales. Este paquete fue elaborado por el Dr. Etienne Le Coarer del Observatorio de Grenoble. Se encuentra instalado en varias estaciones de trabajo del Instituto de Astronomía y funciona en Openwindows y en Linux. Los datos en CIGALE se presentan en forma de archivos con la siguiente estructura: las tres primeras letras representan la función, las cuatro siguientes se refieren al objeto observado y las restantes son libres y permiten diferenciar dos archivos de la misma categoría. Estos archivos son llamados también cubos por la triple dimensión, una de ellas correspondiente al número n de canales de barrido del interferómetro y las otras dos están dadas por el tamaño del detector en pixeles ($k \times m$) [Arias et al, 1994]. La interacción entre el usuario y el sistema se realiza mediante comandos en línea; algunos comandos permiten procesar los datos y analizar la información, mientras que otros permiten visualizar las imágenes obtenidas.

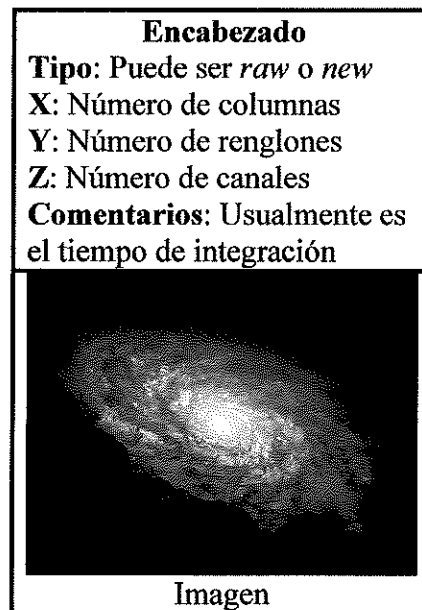


Figura IV.5. Estructura del archivo con formato CIGALE.

IV.2.4 ADHOC (AD2 y AD3)

El formato ADHOC_w es el formato por defecto de los archivos para el software ADHOC_w diseñado para funcionar sobre Windows 95/WindowsNT. En los siguientes incisos se describe la estructura de este formato [Boulesteix, 1999].

a) Principio:

El formato es idéntico para datos en 2D y 3D.

Los datos se almacenan mediante valores de punto flotante de 4 bytes (-3.4E381 a +3.4E381).

Los parámetros y comentarios se almacenan al final del archivo.

Los sufijos predeterminados para los archivos son *.AD2 (para 2D) y *.AD3 (para 3D)

b) Diferencias respecto a versiones anteriores del formato (ADHOC/VISU2/VISU3):

Los datos dinámicos ya no están limitados a [-32767, +32767].

Los comentarios ahora pueden ser de 127 caracteres (antes eran de 78).

Ya no se utilizan archivos separados para los parámetros.

El tamaño de los archivos es el doble con respecto a los anteriores.

c) Compatibilidad:

La estructura es simple con el fin de que los archivos ADHOC_w se puedan leer fácilmente desde programas hechos en Fortran o Basic por los usuarios (sin comentarios ni parámetros).

La estructura es compatible con IDL (sin comentarios ni parámetros).

d) Biblioteca C:

Hay una biblioteca en C++ (orientada a objetos) disponible para los usuarios (en forma binaria y en código C).

e) Estructura:

Datos: $l_x * l_y * l_z$ pixeles (l_x , l_y y l_z son las dimensiones del cubo; $l_z = 1$ para 2D).

Parámetros: 128 bytes.

Comentarios: 128 bytes.

Por lo tanto, la longitud total de un archivo es: $(l_x * l_y * l_z) * 4 + 256$ bytes.

f) Código:

Debido a que el formato de escritura de los números es diferente de máquinas PC a UNIX, los primeros 4 bytes de los parámetros se utilizan como información de prueba (contienen un valor entero que representa el número de dimensiones de los datos).

g) Parámetros:

Todos los valores ocupan 4 bytes (enteros, flotantes o bloques de caracteres).

Todos los enteros son enteros largos (4 bytes).

Los archivos 2D y 3D tienen en común los primeros 10 valores.

Los demás valores son específicos para el tipo de archivo.

Los valores son compatibles con archivos anteriores de ADHOC (*.DA2 y *.DA3).

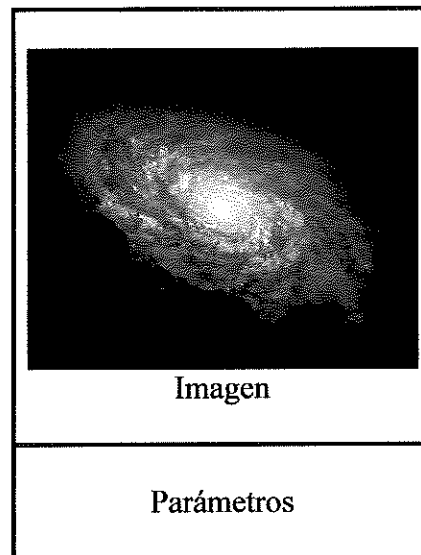


Figura IV.6. Estructura del archivo con formato ADHOC_w.

CAPÍTULO V

MANIPULACIÓN DE IMÁGENES POR COMPUTADORA

Las gráficas por computadora se han convertido en el elemento más común en las interfaces para usuario, la visualización de datos, los comerciales de televisión, las películas animadas, etc. Incluso se han desarrollado dispositivos de hardware y algoritmos para mejorar la efectividad, el realismo y la velocidad de la generación de las imágenes [Hearn y Baker, 1995].

Las computadoras se han convertido en una herramienta poderosa para producir imágenes en forma rápida y económica. De hecho, no existe ninguna área en que no se puedan aplicar las gráficas por computadora con algún beneficio. A pesar de que las primeras aplicaciones en la ingeniería y la ciencia debían depender de equipo costoso y complicado, los avances en la tecnología de la computación han hecho que las gráficas interactivas por computadora sean una herramienta práctica [Hearn y Baker, 1995]. En el caso particular de la astronomía, la importancia de manipular las imágenes astronómicas es vital para el desarrollo de esta ciencia.

V.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

La manipulación de imágenes por computadora es un área muy extensa, desde la creación y visualización hasta la modificación de una imagen. A veces se traslapan

entre sí los métodos que se emplean en cada área pero es útil conocer las diferencias que existen entre un área y otra. Por ejemplo, en la generación de gráficas, se utiliza la computadora para crear una imagen; por otro lado, en el procesamiento de imágenes se aplican técnicas para modificar o interpretar imágenes existentes, como fotografías y datos digitalizados [Hearn y Baker, 1995]. Una de las aplicaciones principales del procesamiento de las imágenes es el mejoramiento de su calidad. Para los propósitos de este proyecto, no nos interesan los métodos empleados en la generación de las imágenes sino los empleados en el procesamiento de las mismas, ya que son obtenidas por otros equipos y no creadas directamente por la computadora.

Para el procesamiento de las imágenes astronómicas se pueden aplicar métodos digitales para reordenar partes de imágenes, para mejorar separaciones de colores o para aumentar la calidad del sombreado. Estas técnicas también se utilizan en gran medida en aplicaciones de arte comercial que implican el retoque y el reorden de secciones de fotografías y otras obras de arte. Se emplean métodos similares para analizar fotografías de la Tierra por satélite.

V.2 ELEMENTOS PARA LA REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS

1. Interfaces gráficas para usuario

En la actualidad, es común que los paquetes de software ofrezcan una interfaz gráfica. Un componente importante de una interfaz gráfica es un administrador de ventanas que hace posible que un usuario despliegue áreas con ventanas múltiples. Cada ventana puede contener un proceso distinto que a su vez puede contener despliegues gráficos y no gráficos. Para activar una ventana en particular, sólo presionamos un botón del mouse mientras posicionamos el apuntador en dicha ventana [Hearn y Baker, 1995].

El propósito fundamental de cualquier programa computacional radica en facilitar o hacer posible un proceso. El uso del programa debe ser atractivo y debe adaptarse a las necesidades del usuario; además, su aprendizaje no debe representar un problema [Reyes, 1999].

Cuando es necesaria la visualización de imágenes y gráficas, el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario es fundamental para el uso del programa. Para facilitar, a su vez, el desarrollo de la interfaz, es necesario tener conocimientos básicos sobre el funcionamiento de las tarjetas de video, la representación del color en la computadora, la elaboración y uso de paletas de color y el formato de los archivos gráficos.

2. Archivos con formatos gráficos

Un formato gráfico es aquel mediante el cual se almacenan datos en un archivo, que describen una imagen. Los formatos gráficos han surgido de la necesidad de almacenar, organizar y recuperar datos gráficos de manera eficiente y lógica.

Los formatos gráficos pueden ser complejos. Se puede encontrar, por ejemplo, que la forma en que se almacena un bloque de datos es usualmente el factor más importante que determina la velocidad con que puede ser leído, el espacio que ocupa en disco y la facilidad con que puede ser accedido por una aplicación.

Prácticamente, todas las grandes aplicaciones crean y almacenan algún tipo de datos gráficos. Adicionalmente, los archivos gráficos constituyen un importante mecanismo de transporte que permite el intercambio de datos visuales entre aplicaciones de software y sistemas computacionales. Tradicionalmente, los datos gráficos se dividen en dos clases: *vectoriales* y *mapas de bits* [Murray et al, 1994].

a) Datos vectoriales

En graficación, el concepto de *datos vectoriales* usualmente se refiere a la manera de representar imágenes mediante definiciones matemáticas. Cada línea, polígono o curva individual, se compone de una vasta colección de puntos interconectados por líneas o se especifican numéricamente algunos *puntos clave* que se conectan usando *curvas de*

bezier (este método es el que brinda mejores resultados y por ello es más usado). El trabajo del programa que restituye este conjunto de puntos clave radica en regenerar las líneas conectando de alguna manera tales puntos. Asociado a los datos vectoriales, se encuentra siempre información de sus atributos (tales como color y grosor de la línea) y un conjunto de reglas o convenciones que permiten al programa dibujar los objetos deseados. Existen cientos de programas que permiten manipular datos vectoriales, Adobe Illustrator, Corel Draw y Macromedia Freehand son los más populares. Algunos formatos para el almacenamiento de datos vectoriales son: EPS (es el formato más popular para el intercambio de datos vectoriales, aunque también puede contener *datos bitmap*, los cuales se explican en el siguiente inciso) y PDF (es un formato muy versátil que puede contener prácticamente cualquier tipo de datos incluyendo páginas completas; aunque no se emplea solamente para intercambio de imágenes). La Figura V.1 muestra dos ejemplos de datos vectoriales.

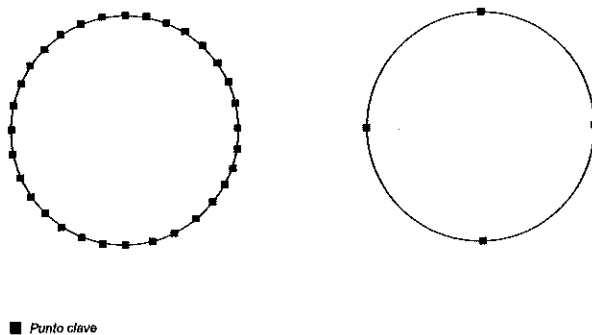


Figura V.1. El dibujo muestra los dos principios básicos para generar datos vectoriales. A la izquierda se observa un círculo dibujado a partir de numerosos puntos unidos por líneas rectas; a la derecha se tiene un círculo dibujado a partir de 4 puntos (nodos) que se unen mediante curvas de bezier.

b) Datos bitmap

Los *datos bitmap* (mapa de bits) están formados por un conjunto de valores numéricos que especifican el color de *pixeles* individuales. Los pixeles son puntos de color distribuidos en una cuadrícula regular en un patrón que representa la forma que se está desplegando [Murray et al, 1994]. La Figura V.2 muestra un ejemplo de datos bitmap.

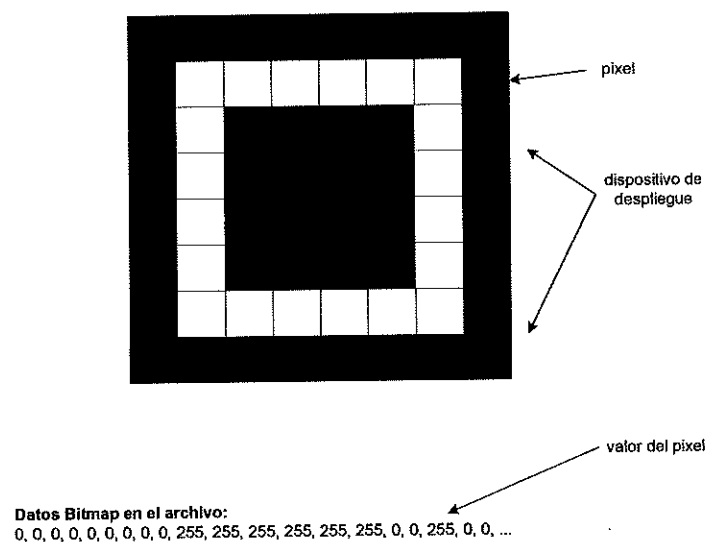


Figura V.2. Datos bitmap.

Los archivos gráficos también pueden incluir datos que consten de información estructural, color y otra información descriptiva. Esta información se incluye primordialmente como una ayuda para la aplicación restituyente en su función de reconstruir y desplegar una imagen [Murray et al, 1994]. Los datos bitmap llegan a

ocupar mucho espacio y tienen desventaja, respecto a los datos vectoriales, al cambiar el tamaño de la imagen (se pierde definición); sin embargo, son fáciles de manejar. Algunas aplicaciones que utilizan datos bitmap son Adobe PhotoShop y Microsoft Paint. Entre los formatos para almacenar datos bitmap se encuentran: BMP y PPM (éstos almacenan la información de manera muy sencilla, sin compresión), GIF (utilizado principalmente para gráficos en Internet), JPEG y TIFF.

V.3 CONSIDERACIONES PARA EL DESPLIEGUE DE IMÁGENES

En graficación, las localidades se almacenan como coordenadas matemáticas, pero la superficie de despliegue de un dispositivo de salida es en sí un objeto físico. Por lo tanto, es importante tener en mente la distinción entre píxeles físicos y píxeles lógicos [Murray et al, 1994].

a) Píxeles físicos

Los *píxeles físicos* son los puntos desplegados en un dispositivo de salida. Cada uno ocupa una pequeña porción de espacio en la superficie del dispositivo. Los píxeles físicos se manipulan directamente por el hardware de despliegue y constituyen el elemento independiente programable más pequeño sobre la superficie de despliegue. Al

menos ese es el ideal. Sin embargo, en la práctica, el hardware puede sobreponer varios puntos más pequeños para formar un pixel individual. Esto se cumple en el caso de la mayoría de los dispositivos CRT (*Catodic Ray Tube*) análogos de color, los cuales usan varios puntos de diferente color para desplegar lo que para el ojo, a una distancia normal de visualización, percibe como un único pixel con color uniforme.

Debido a que los pixeles físicos cubren un área fija sobre la superficie de despliegue, hay límites prácticos para la distancia que puede existir entre dos pixeles adyacentes. Pedir que un hardware de despliegue proporcione una resolución muy alta —demasiados pixeles sobre una superficie de despliegue dada— ocasionará que se obtenga una imagen borrosa y otras formas de deterioro en la calidad si los pixeles se sobreponen o chocan [Murray et al, 1994].

b) Pixeles lógicos

En contraste con los pixeles físicos, los *pixeles lógicos* son como puntos matemáticos: especifican una localidad, pero se asume que no ocupan un área. Por lo tanto, el mapeo entre los pixeles lógicos dentro de un mapa de bits y pixeles físicos en una pantalla debe tomar en cuenta el tamaño y arreglo de los pixeles físicos. Por ejemplo, una imagen muy densa y colorida puede perder su vivacidad al desplegarse sobre un monitor muy grande porque los pixeles se esparcirían para poder cubrir la

superficie [Murray et al, 1994]. La Figura V.3 ilustra la diferencia entre pixeles físicos y lógicos.

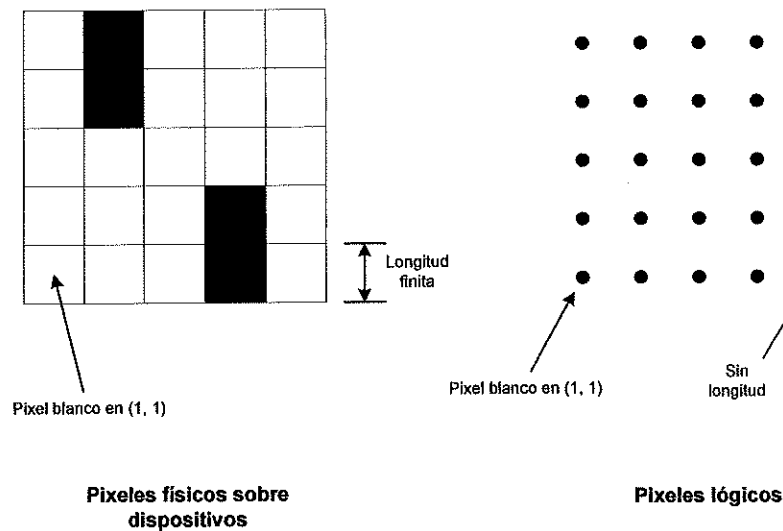


Figura V.3. Píxeles físicos y píxeles lógicos.

V.3.1 Despliegue y profundidad del pixel

El número de bits usados para representar el valor de un pixel determina el número de colores que puede exhibir el pixel. Entre más bits tenga un pixel, será mayor el número de colores posibles. Usar más bits por pixel también significa que se necesitará mayor espacio para almacenar los valores de los pixeles que representan una imagen que cubre un área dada sobre la superficie de un dispositivo de despliegue. A medida que ha evolucionado la tecnología, se ha hecho posible adquirir dispositivos de despliegue que

manejan más colores a un menor precio, con lo cual ha incrementado la demanda de espacio de almacenamiento.

La mayoría de los dispositivos de salida modernos pueden desplegar entre 2 y más de 16 millones de colores simultáneamente, correspondiendo a uno y 24 bits de almacenamiento por pixel, respectivamente. Hay dispositivos de despliegue que utilizan un bit para almacenar el valor de un pixel, el cual sólo puede tener dos estados de color. Los dispositivos más comunes de este tipo son los monitores monocromáticos y, por supuesto, las impresoras en blanco y negro [Murray et al, 1994].

V.3.2 Un poco sobre *Truecolor*

Se dice que el ojo humano puede discriminar entre 2^{24} (16,777,216) colores, aunque muchos menos colores pueden percibirse simultáneamente. Naturalmente, hay gran desacuerdo sobre esta cifra y el número real varía de persona a persona bajo diferentes condiciones de iluminación, salud, genética y atención. De cualquier forma, es posible discriminar entre un gran número de colores, ciertamente más de unos cuantos miles. Un dispositivo capaz de igualar o superar el poder de resolución de color del ojo humano bajo la mayoría de las condiciones, se dice que despliega *truecolor* (color real). En la práctica esto significa 24 bits por pixel; sin embargo, por razones históricas los dispositivos capaces de desplegar 2^{15} (32,768) o 2^{16} (65,536) colores también han sido incorrectamente llamados *truecolor*.

Más recientemente, el término *hicolor* ha sido adoptado para dispositivos capaces de manejar hasta 2^{15} o 2^{16} colores. *Fullcolor* es un término utilizado principalmente para fines de mercadotecnia y su significado es poco menos claro [Murray et al, 1994].

V.4 ESQUEMA DE DEFINICIÓN DE COLORES

Obviamente los valores de pixel almacenados en un archivo corresponden a colores. Pero, ¿cómo se especifican estos colores en realidad?

Usualmente, los valores de los pixeles que consisten de más de un bit representan *valores índice* dentro de una *paleta de colores*, aunque en algunos casos hay una representación numérica directa del color en un *esquema de definición de color*.

Una paleta, que en algunos casos es referida como *mapa de color*, *mapa de índices* o *tabla de color*, es un arreglo unidimensional de valores de color. Esta tabla es la piedra angular para el método en donde los colores pueden referenciarse indirectamente, especificando sus posiciones en el arreglo. Utilizando este método, los datos de una imagen pueden manejarse como una serie de valores de índices, usualmente valores enteros pequeños, los cuales pueden reducir drásticamente el número de bits que representan a un pixel, cuando sólo se necesita representar una cantidad pequeña de colores. Algunos formatos de archivos gráficos manejan este esquema. Los mapas de bits que usan este método de representación del color se dice que usan almacenamiento

indirecto o pseudo-color. La Figura V.4 ilustra cómo se puede usar una paleta para especificar un color.

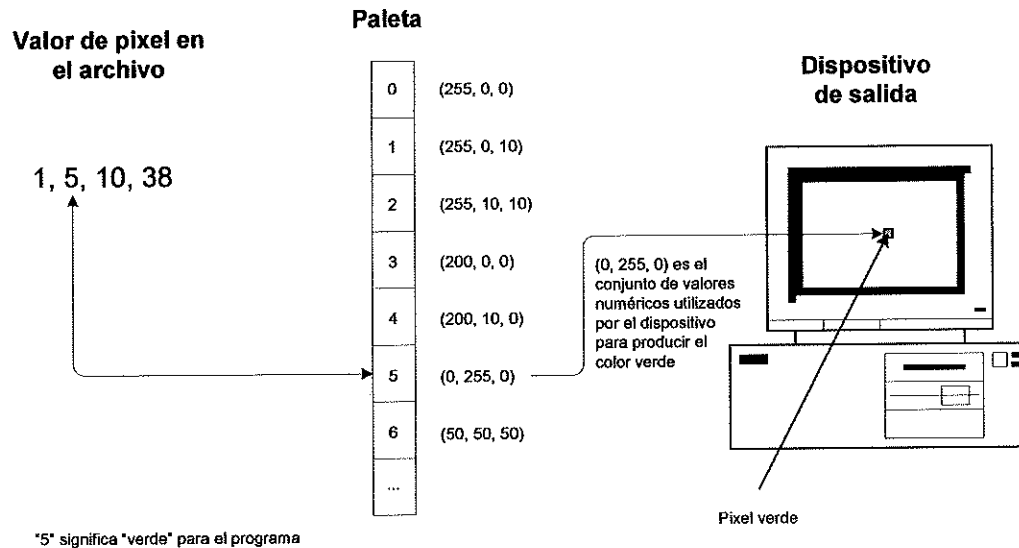


Figura V.4. Uso de una paleta para especificar un color.

La paleta es un arreglo de colores definida lo más preciso posible. En la práctica, cada elemento de la paleta consta de 24 bits, o tres bytes, de largo. Curiosamente, los modelos de color, muchos de los cuales existían previos a la era de las computadoras, frecuentemente se construyen a partir de la distribución equitativa, dentro de tres variables, de los colores posibles, acomodándose perfectamente en tres bytes de almacenamiento [Murray et al, 1994].

V.4.1 Descripción de los espacios de color

Los colores se definen especificando diversos valores, usualmente tres. Estos valores especifican la cantidad de cada color de un conjunto de colores fundamentales, también denominados *canales de color*, los cuales se combinan para formar colores compuestos. Un *color compuesto* se especifica como un conjunto ordenado de valores. Si “conjunto ordenado de valores” suena conocido (similar a “par ordenado”), de igual manera les sucedió a las personas que crearon las definiciones de color. Se dice que un color representa un punto en la gráfica de todos los colores posibles. Debido a esto, en ocasiones se refiere al color como un punto en un *espacio de color*.

RGB es una definición de color muy común, por lo cual la utilizaremos para ejemplificar lo que es un espacio de color. En el modelo de color RGB, los colores rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue) se consideran fundamentales e indivisibles. Un color se puede especificar proporcionando una tripleta RGB de la forma (R,G,B). Algunas veces se piensa en las tripletas en términos de porcentajes, aunque en realidad no se usan porcentajes para expresar la definición de los colores. Se puede caracterizar a los colores del modelo RGB de la siguiente manera:

(0%, 0%, 0%)	Negro
--------------	-------

(100%, 100%, 100%)	Blanco
--------------------	--------

(100%, 0%, 0%)

Rojo

(50%, 50%, 50%)

Gris claro

y así sucesivamente.

Existen muchos refinamientos sobre esto y siempre habrá desacuerdo sobre qué números especifican qué color. Sin embargo, esta es la idea básica. Cada una de estas tripletas RGB representan un punto en el espacio de color RGB.

Al almacenar datos sobre color en un archivo, resulta más práctico especificar el valor de cada componente de color, no como un porcentaje sino como un valor dentro de un rango predefinido. Si el espacio destinado a cada componente de color es un byte (ocho bits), el rango natural es de 0 a 255. Debido a que los colores comúnmente se definen usando 24 bits, o tres bytes, lo natural es asignar a cada uno de los tres bytes el valor de uno de los componentes de color del modelo. En color RGB, por ejemplo, al usar tres bytes para cada color, se almacenan los colores en tripletas RGB en un rango de 0 a 255, donde 0 representa cero intensidad y 255 representa máxima intensidad [Murray et al, 1994].

$RGB = ([0 - 255], [0 - 255], [0 - 255])$

Así, los valores de los píxeles en el ejemplo anterior serían:

(0, 0, 0)	Negro
(255, 255, 255)	Blanco
(255, 0, 0)	Rojo
(127, 127, 127)	Gris claro

V.4.2 Representación del color

Hay que tener en mente que la percepción del color es afectada por la psicología, la experiencia y las condiciones de visualización. Por estas razones, no se ha podido definir ninguna representación del color que sea satisfactoria bajo todas las circunstancias posibles [Murray et al, 1994].

Existen diversos sistemas matemáticos que se utilizan para describir los colores. En esta sección se describirán brevemente algunos de los más comunes.

a) RGB (Red-Green-Blue)

RGB es, probablemente, el sistema de color más utilizado en los formatos gráficos actualmente. Es un sistema aditivo en donde se suman al negro diferentes cantidades de

rojo, verde y azul, para producir nuevos colores. Los archivos gráficos que usan el sistema de color RGB representan cada pixel como una tripleta [Murray et al, 1994].

b) CMY (Cyan-Magenta-Yellow)

CMY es un sistema de color sustractivo utilizado por impresoras y fotógrafos para la representación de colores con tinta o emulsión, normalmente sobre una superficie blanca. Al iluminarse, cada uno de los tres colores absorbe la luz de su color complementario. El cyan absorbe al rojo; el magenta absorbe al verde; y el amarillo absorbe al azul.

Debido a la dificultad para obtener un negro perfecto mediante lo comentado en el párrafo anterior, se creó el sistema CMYK, donde K representa al color negro [Murray et al, 1994].

c) HSV (Hue, Saturation y Value)

HSV es uno de muchos sistemas de color cuyo principio consiste en variar el grado de las propiedades del color para crear nuevos colores, en lugar de realizar una mezcla de los mismos colores. *Hue* especifica el color en sí (rojo, anaranjado, azul, etc.). *Saturation* o saturación (también denominado *cromaticidad*) se refiere a la cantidad de

blanco contenido en *hue*. *Value* (también conocido como brillantez) representa el grado de luminiscencia de un color, es decir, cuánta luz emite.

Este sistema de color se asemeja en gran manera al sistema utilizado por pintores y otros artistas, los cuales crean nuevos colores agregando blanco, negro y gris sobre pigmentos puros para crear tintes, sombras y tonos [Murray et al, 1994].

V.5 ALMACENAMIENTO DE IMÁGENES EN FORMATO PPM

Este formato es un método conveniente para almacenar datos gráficos ya que es fácil de leer en aplicaciones desarrolladas por particulares. El formato PPM se hizo popular, junto con otros como PGM y PBM, gracias a la herramienta para imágenes **pbmplus**.

Un archivo PPM consta de dos partes: un encabezado y los datos gráficos. El encabezado consiste de al menos tres partes, las cuales están delimitadas normalmente por el caracter de “nueva línea” aunque la especificación de PPM sólo requiere un espacio en blanco. La primera “línea” es un identificador mágico del PPM, puede ser “P3” o “P6” (¡sin incluir las comillas!). La siguiente línea contiene el largo y ancho de la imagen en números ASCII. La última parte del encabezado indica el número máximo de componentes de color para los pixeles, esto permite al formato describir valores de más de un byte para cada color. Adicionalmente, se permite colocar comentarios siempre que se precedan con el caracter “#” al principio de cada línea.

A continuación se muestran algunos ejemplos de encabezados válidos para PPM [Bourke, 1997].

Encabezado, ejemplo 1

P6 1024 788 255

Encabezado, ejemplo 2

P6

1024 788

Un comentario

255

Encabezado, ejemplo 3

P3

1024 # ancho de la imagen

788 # altura de la imagen

Un comentario

1023

El formato de los datos gráficos dependen directamente del identificador mágico del PPM. Si es "P3" entonces la imagen está dada en texto ASCII, el valor numérico de cada pixel varía dentro del rango de 0 al máximo indicado en el encabezado. Las líneas no deben exceder los 70 caracteres.

Si el identificador mágico es “P6” entonces los datos gráficos están almacenados en formato de byte, un byte por cada componente de color (r, g, b). Los comentarios sólo pueden ocurrir antes del último campo del encabezado y sólo un byte puede aparecer después del mismo, normalmente es un caracter de “nueva línea”. Obviamente, los archivos gráficos “P6” son más pequeños y se leen con mayor rapidez [Bourke, 1997].

CAPÍTULO VI

DESARROLLO DEL SISTEMA ADHOC/

Al sistema desarrollado se le ha llamado ADHOC/ (para que se entienda que está relacionado con ADHOCw) y fue implementado sobre una plataforma Linux versión 2.2.16, slackware versión 7.1.0, en el ambiente gráfico KDE 1.1.2, utilizando el shell Wish 8.3 extendido y Tcl/Tk 8.3 para la aplicación e interfaz gráfica, respectivamente. Su función principal es la visualización y el análisis de imágenes astronómicas en 2 y 3 dimensiones obtenidas mediante observaciones con un interferómetro Fabry-Perot de barrido.

VI.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para desarrollar el sistema se tomaron en cuenta dos factores: En primer lugar, se consideró conveniente mantener la compatibilidad con los sistemas existentes más conocidos (ADHOCw y CIGALE). Para ello, el manejo de archivos con formato FITS será de gran utilidad. En segundo lugar, se trataba de proveer al usuario con un sistema amigable.

VI.1.1 Selección del modelo para el sistema

Haciendo uso de la información presentada en la sección anterior y analizando los sistemas descritos en la sección II.2, se concluyó que elegir el sistema ADHOC_w como nuestro modelo a seguir sería una buena opción. El sistema ADHOC_w es uno de los más utilizados en el tratamiento de datos interferométricos Fabry-Perot; además, es amigable y por lo tanto resulta un buen candidato para implementar algo parecido en Linux.

VI.1.2 Selección de las herramientas de implementación

Se optó por usar los lenguajes Tcl/Tk, ya que esto facilita el mantenimiento posterior del sistema, debido a su uso tan extendido entre el personal técnico del OAN. Estos lenguajes permiten desarrollar aplicaciones gráficas con gran facilidad y rapidez. En un párrafo posterior se explican con más detalle las virtudes de Tcl/Tk que lo convirtieron en un excelente candidato para resolver nuestro problema.

Sin embargo, algunas rutinas del sistema fueron codificadas en lenguaje C. Un comando implementado en C es más eficiente que un procedimiento equivalente en Tcl. Una razón aún más fuerte para escribir código en C es que puede no ser posible proporcionar la misma funcionalidad utilizando sólo Tcl. Tcl es un lenguaje de muy alto nivel y algunas manipulaciones de bajo nivel pueden resultar muy complicadas. Para

este proyecto en particular, el lenguaje C fue muy útil para el manejo de archivos binarios y la manipulación de datos en memoria compartida.

Ventajas de Tcl/Tk

Tcl es el acrónimo para *Tool Command Language*. Tcl en realidad es dos cosas: un lenguaje de *scripts*, y un intérprete para ese lenguaje que está diseñado para ser fácilmente implantado en una aplicación. Tcl está asociado a una herramienta para crear interfaces gráficas de usuario, llamada Tk. El intérprete Tcl ha sido llevado de ambiente UNIX a DOS, Windows y Macintosh. La herramienta Tk ha sido llevada del sistema X Windows a Windows y Macintosh.

Al crear el Tcl se tenía la visión de que se construirían aplicaciones que consistirían de largos bloques de código compilado y una mínima porción de Tcl utilizada para configuración y comandos de alto nivel. Mientras que este modelo sigue siendo válido, también se ha visto que es posible escribir aplicaciones enteras en Tcl. Esto es porque el shell de Tcl/Tk, *wish*, provee acceso a otros programas, al sistema de archivos y conexiones de red, además de la habilidad de crear una interfaz de usuario gráfica.

Como lenguaje de *scripting*, Tcl es similar a otros lenguajes *shell* para los sistemas operativos tipo UNIX tales como el Bourne Shell (sh), el C Shell (csh), el Korn Shell (ksh), y Perl. Los programas shell permiten ejecutar otros programas. Proporcionan la suficiente programabilidad (variables, flujo de control y procedimientos) para permitir la

construcción de complejos *scripts* que ensamblan programas existentes para formar nuevas herramientas que se amoldan a las necesidades del usuario.

Hay muchas extensiones para Tcl disponibles en la Internet. La extensión más notable es Tk, un conjunto de herramientas (*toolkit*) para interfaces gráficas de usuario. Tk define comandos en Tcl que permiten crear y manipular *accesorios gráficos* (*widgets*) de interfaz de usuario. Este enfoque de programación de interfaz de usuario basada en *scripts* tiene tres beneficios [Welch, 2000]:

- ✚ El desarrollo es rápido debido a que no hay que esperar a que se lleven a cabo largas compilaciones.
- ✚ Los comandos en Tcl proveen de una interfaz de alto nivel, más fácil y rápidamente que la mayoría de las bibliotecas estándar para interfaz de usuario en C.
- ✚ La interfaz de usuario puede fabricarse de manera independiente del resto de la aplicación. El desarrollador puede concentrarse en la implementación del núcleo de la aplicación y después, sin esfuerzo, construir una interfaz de usuario. El conjunto principal de *accesorios gráficos* de Tk es con frecuencia suficiente para satisfacer todas las necesidades de una interfaz de usuario.

Tcl tiene una arquitectura simple y una apariencia similar a C (ver Ejemplo VI.1). Tcl es tan fácil de aprender que se ha sabido de usuarios que han desarrollado proyectos

impresionantes en plazos cortos, aún cuando antes no habían utilizado Tcl [Welch, 2000].

(a) <pre>proc Factorial {x} { set i 1; set product 1 while {\$i <= \$x} { set product [expr \$product*\$i] incr i } return \$product }</pre>	(b) <pre>int factorial (int x) { int product, i; i = product = 1; while (i <= x) { product *= i++; } return product }</pre>
--	---

Ejemplo VI.1. Algoritmo que calcula el factorial de un entero para observar la similitud entre el código Tcl (a) y C (b).

Otro punto importante fue la selección del formato gráfico a emplear en el nuevo sistema. Debido a que Tk en su forma natural (sin extensiones) sólo maneja los formatos PPM y GIF, hubo que elegir entre uno de ellos. Por su sencillez se optó por usar PPM como formato gráfico, en la sección V.5 se describen las especificaciones del mismo.

Una vez definidos el modelo para el sistema y los lenguajes de programación para implementarlo, el siguiente paso fue hacer un análisis del sistema ADHOCw, desglosándolo de forma muy general para comprender su funcionamiento. Conforme se explique el desarrollo del sistema se presentarán las figuras que muestran este desglose.

También fue necesario aprender los lenguajes Tcl/Tk para comenzar la implementación del sistema, así como conocer el equipo ubicado en el OAN-SPM con el objeto de tener una idea más clara del problema.

VI.2 METODOLOGÍA

En esta sección se describen los pasos seguidos para el desarrollo del sistema, utilizando la metodología de ingeniería de software propuesta por Ian Sommerville (2001), que consta de los siguientes pasos:

- ✚ **Definición de requerimientos:** Especificar claramente las características del sistema, así como sus requerimientos (sección VI.2.2).
- ✚ **Diseño del software:** Llevar a cabo el modelado del sistema partiendo de los requerimientos.
- ✚ **Implementación:** Implementar el modelo en un lenguaje de programación.

- ✚ **Integración del sistema:** Integrar el sistema con los módulos de programas obtenidos a partir de la implementación.
- ✚ **Pruebas al sistema:** Realizar las pruebas que determinarán si el sistema brinda la funcionalidad y resultados esperados.
- ✚ **Operación y mantenimiento:** Una vez que el sistema esté en servicio se realizarán las mejoras necesarias para optimizar su funcionamiento.

VI.2.1 Definición del problema

Básicamente, el problema consiste en el desarrollo de un sistema en una plataforma Linux que permita visualizar y analizar las imágenes obtenidas en observaciones astronómicas con un CCD en un interferómetro de Fabry-Perot de barrido. El sistema debe tener las siguientes características generales:

- ✚ Ambiente gráfico amigable y de fácil uso
- ✚ Tener el máximo grado de compatibilidad con algún otro sistema existente

VI.2.2 Definición de requerimientos del sistema ADHOC/

A continuación se mencionan los requerimientos que fueron identificados para resolver el problema:

-
- a) **Plataforma Linux.** El nuevo sistema debe funcionar en Linux, para aprovechar las ventajas de este sistema operativo (ver Capítulo I).
 - b) **Lenguaje de programación.** El lenguaje de programación Tcl/Tk brinda muchas ventajas en la realización de este proyecto. Una de ellas es el hecho de que facilita el mantenimiento del sistema debido a que es muy utilizado en el OAN. Otra ventaja, de las más importantes, consiste en que tiene la posibilidad de usarse como base para implementar un nuevo y versátil sistema que corra en diversas plataformas sin hacer cambios significativos en el código (ver Sección VI.1.2). Esto no descarta el uso del lenguaje C donde sea necesario.
 - c) **Ambiente gráfico.** El sistema pretende presentar al usuario una interfaz amigable. Mediante el uso de ventanas, menús, botones y demás accesorios, se guiará al usuario a través del sistema el cual está estructurado de tal manera que es casi autodescriptivo con la finalidad de que el usuario no necesite mayor capacitación. Este conjunto de características permiten hacer más sencilla la labor del astrónomo usuario al momento de analizar sus datos.
 - d) **Compatibilidad con otros sistemas.** Tomar como base algún otro sistema que ya sea conocido por los usuarios. En este caso, ADHOCw es el modelo que se eligió por sus características y para no partir de cero pues no se trata de inventar un sistema que haga cosas que otros no hacen. Es importante tomar nota del hecho de que se toma como modelo ADHOCw; sin embargo, la programación es independiente y casi en su totalidad diferente, sólo se ha imitado la apariencia sin copiar el código. Se ha

puesto a trabajar cada parte del sistema fijándose en su funcionalidad y tratando de hacer mejoras. Por el momento, el sistema sólo cuenta con las partes básicas de ADHOCw porque es un sistema muy amplio y complejo. Aunque ADHOC/ no cuente, por el momento, con todas las funciones de ADHOCw, tiene características propias. Es importante que los usuarios del nuevo sistema puedan seguir utilizando los datos que tenían y por lo mismo, el nuevo sistema debe estar dotado de las herramientas que permitan a los usuarios manejar sus archivos antiguos (AD2, AD3, FITS, CIGALE) y darles la opción de manejar en el futuro formatos propios del sistema.

- e) **Idioma del sistema.** Desde un principio, la intención de este proyecto es que sea utilizado a nivel local y, si es posible, a nivel internacional. Sería difícil, por el momento, pensar en una herramienta que incorpore los idiomas de los diferentes países a donde llegará el sistema, sobre todo si se distribuye por internet (no se puede saber quién lo usará). Además, muchos de los astrónomos usuarios de sistemas como éste, que llegan al OAN-SPM, no hablan español. Así que el idioma inglés parece una elección razonable ya que es un idioma que en muchos países se maneja en el ámbito científico aunque sea en un nivel básico. Por lo tanto, todo el sistema se hizo en inglés, incluyendo el código (variables, comentarios, etc.).
- f) **Requerimientos computacionales.** Se sugiere que la computadora cuente con las siguientes características con el fin de garantizar un óptimo desempeño del sistema ADHOC/ en funcionalidad y tiempo de ejecución:

Hardware

Tarjeta gráfica SVGA de 32 bits.

Al menos 15 Mb de espacio libre en disco duro.

Velocidad de procesamiento de 450 MHz o superior.

Procesador Pentium III o superior.

Monitor SVGA que soporte resolución de 1280 x 1024 pixeles.

192 Mb de RAM.

Software

Linux 2.2.16 o superior.

Configuración del monitor para una resolución de 1280 x 1024 pixeles o superior.

Wish extendido 8.3 o superior.

Tcl 8.3 o superior.

Tk 8.3 o superior.

Ambiente gráfico de ventanas Gnome ó KDE (por el momento, el sistema ADHOC sólo se ha probado en estos ambientes pero es posible que también funcione en otros ambientes similares).

VI.2.3 Diseño e implementación

VI.2.3.1 Modelo general del sistema

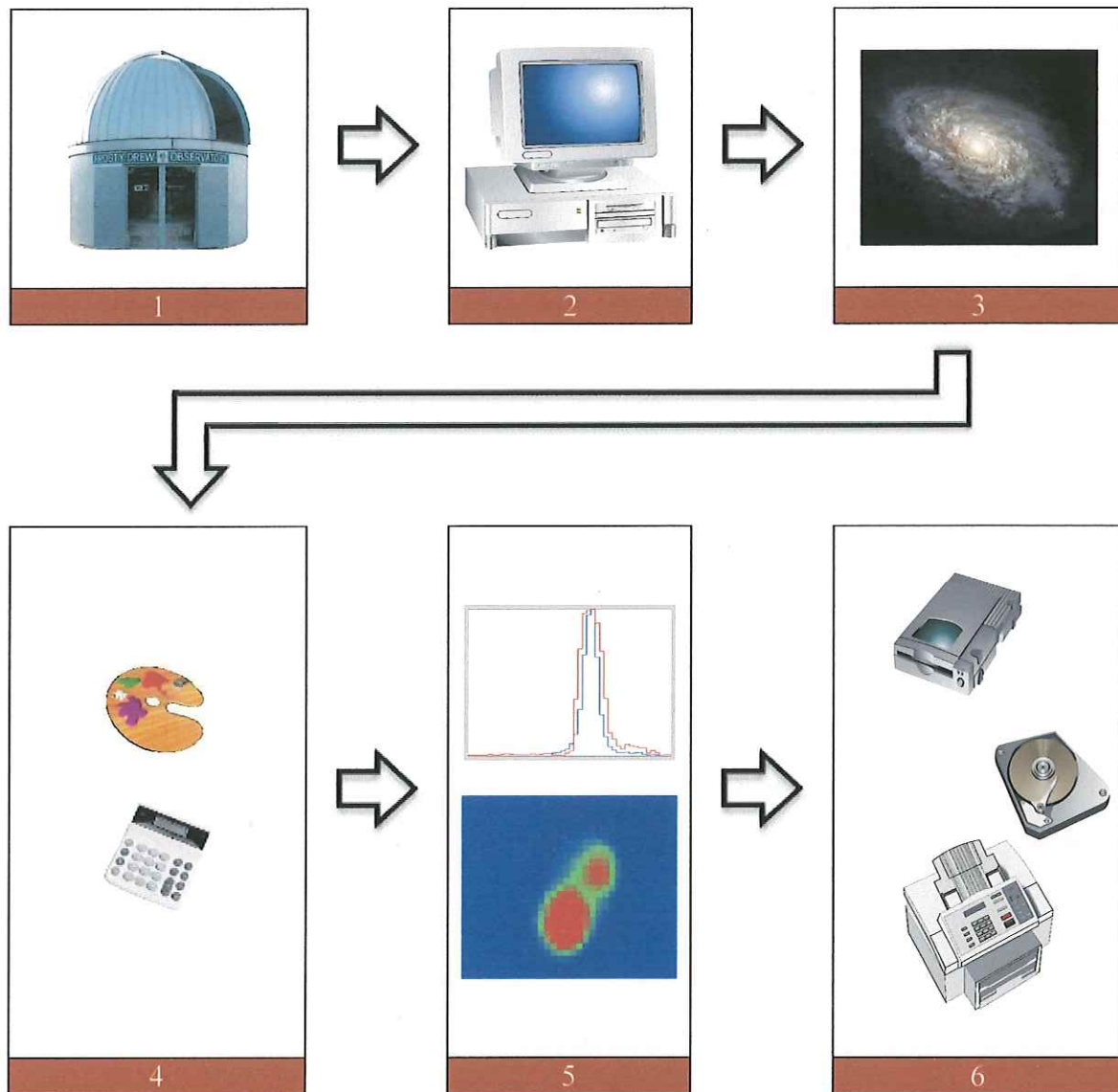


Figura VI.1. Modelo general del sistema

Considerando los requerimientos establecidos en la sección VI.2.2, se desarrolló un modelo general (Figura VI.1) en donde se ilustran, de manera sencilla y gráfica, los principales servicios que el usuario puede obtener mediante el sistema ADHOC/. A continuación se explica cada componente:

- 1. Adquisición de los datos:** La adquisición de los datos se lleva a cabo de manera independiente al sistema ADHOC/. Sin embargo, es de vital importancia que los datos existan para poder visualizarlos. El usuario los obtiene en sus observaciones mediante un CCD acoplado a un interferómetro Fabry-Perot en un telescopio.
- 2. Recuperación de los datos:** Después de las observaciones los datos se almacenan en disco con los formatos FITS o CIGALE. En otros casos, usuarios de sistemas anteriores (como ADHOC_w) tienen sus archivos en formato AD2 o AD3. Utilizando una PC con Linux y el sistema ADHOC/, se pueden abrir archivos con los formatos mencionados. En esta etapa, el sistema lee la información, la desglosa y la asigna a variables que permitan administrarla. Parte de la información se almacena en una sección de memoria compartida para acelerar la ejecución del programa.
- 3. Visualización:** En general, el sistema permite al usuario elegir entre la visualización y el análisis de archivos en 2D y 3D. Para esto se proporciona una ventana central desde donde se puede pasar de un sub-programa a otro; la dinámica para el acceso de la información es muy similar en ambos sub-programas. Cuando el usuario ha elegido la información que desea tener a su alcance (2D o 3D), el sistema,

automáticamente, le permite visualizar las imágenes y la información contenida en sus archivos.

- 4. Manipulación de las imágenes:** Una vez desplegadas las imágenes y sus datos, es posible realizar una serie de modificaciones que permitan analizarlos y obtener resultados.
- 5. Resultados:** Después de la manipulación adecuada de los datos, el sistema presenta gráficas e imágenes modificadas, que el usuario debe ser capaz de utilizar para deducir algunas condiciones físicas del objeto observado.
- 6. Almacenamiento:** Los datos (gráficas e imágenes) se pueden almacenar en dispositivos tales como discos duros o medios externos, como los discos compactos y otros; también se pueden imprimir o simplemente observar en el monitor (el usuario será quien determine el medio que le resulte más útil).

VI.2.3.2 Análisis del sistema

1. Visualizador 2D

Este programa permite visualizar y analizar imágenes en 2D que tengan formato .AD2, .FITS ó CIGALE. Después de modificar alguno de los archivos, pueden almacenarse los nuevos datos en archivos con cualquiera de los formatos mencionados, además de tener la posibilidad de imprimir la información. Las principales funciones son:

a) Parámetros. Esta sección del sistema permite al usuario tener abiertos simultáneamente seis diferentes archivos en 2D, aunque se puede visualizar uno a la vez. Para todas las imágenes es posible modificar los parámetros de despliegue (paleta de colores, umbrales, etc.).

Además, permite tener abiertos tres archivos en 3D con formato .AD3. Estos archivos en ningún momento se despliegan en pantalla, pero sirven para sobreponer información en la imagen 2D actualmente desplegada. Al igual que en las imágenes 2D, se pueden modificar los parámetros del archivo (color, dibujo, tamaño de la celda, normalización, fondo, primer canal, último canal, corrimiento de canal — *channel offset*— y corrimiento de intensidad —*intensity offset*).

b) Imagen. Esta parte es donde se despliega la imagen 2D para su visualización. Aquí se puede voltear horizontal o verticalmente, cambiar el tamaño del despliegue (*zoom*), ir a cierta parte de la imagen definiendo (X_0 , Y_0) (sólo se puede hacer cuando la imagen es lo suficientemente grande), cambiar la paleta de colores para resaltar ciertas características o propiedades de la imagen y cambiar los umbrales (*threshold*, *step*, *overlapping*).

c) Secciones cruzadas (*cross sections*). Se seleccionan dos puntos dentro de la imagen 2D y como resultado se obtiene una gráfica con las intensidades de los puntos intermedios de la recta formada. Si el grosor de la línea es mayor que 1 pixel, cada punto de la gráfica es el promedio de los valores adyacentes a cada punto en la línea. Al recorrer la gráfica con el cursor del mouse se pueden ver los valores de cada

punto. El usuario puede modificar la gráfica al cambiar los valores máximo y mínimo.

- d) Perfil de integración (*integration profile*).** Para usar esta opción se requiere abrir el correspondiente archivo 3D. Al hacerlo se despliegan, sobre la imagen 2D, las gráficas de los perfiles (en el Apéndice A se explica cómo se construyen los perfiles). Con el mouse se puede seleccionar una o varias gráficas y, mediante las opciones de esta sección, modificarlas, imprimirlas o grabarlas en un archivo, además de consultar información específica (número de canal, valor de longitud de onda, velocidad radial, intensidad del pixel, baricentro, etc.).
- e) Modificaciones a la imagen (*image modification*).** Aquí se le permite al usuario hacer modificaciones directamente a la imagen 2D. Los pixeles seleccionados serán reemplazados por nuevos pixeles cuya intensidad estará determinada mediante la ecuación,

$$\text{Nueva intensidad} = A * \text{intensidad anterior} + B \quad \text{Ec. VI.1}$$

donde A y B son valores que el usuario puede modificar. El valor por defecto es $A = 1$ y $B = 0$ con lo cual el pixel no tiene ningún cambio. Los cambios se realizan en archivos temporales, pero si el usuario lo desea se puede grabar en disco. También existe la posibilidad de deshacer los cambios con un límite de 20 pasos a deshacer.

- f) Cinemática de las galaxias (*kinematics of galaxies*).** Esta función permite obtener perfiles de velocidades y de distribución de masa a partir de un archivo 2D de

velocidades radiales. A continuación se mencionan las opciones que el usuario puede elegir, seguidas de la expresión con la que se calcula el perfil:

📌 Velocidad de rotación $V_{rot} = \frac{(RV - V_s)}{\text{sen } i \cos \theta'}$ **Ec. VI.2**

📌 Velocidad radial RV (obtenido directamente del archivo 2D)

📌 Rotación proyectada $PR = \frac{(RV - V_s)}{\cos \theta'} + V_s$ **Ec. VI.3**

donde, RV es la velocidad radial observada, V_s es la velocidad sistémica del objeto, i es el ángulo de inclinación, ρ' y θ' son las coordenadas polares en el plano de la galaxia, ρ y θ son las coordenadas polares en el plano del cielo. θ y θ' son los ángulos respecto al ángulo de posición. ρ , θ , ρ' y θ' están conectadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tan \theta' = \frac{\tan \theta}{\cos i} \quad \text{Ec. VI.4}$$

$$\rho' = \frac{\rho \cdot \cos \theta}{\cos \theta'} \quad \text{Ec. VI.5}$$

La principal ecuación general básica es:

$$RV = V_s + (V_{rot} \cdot \text{sen } i \cdot \text{sen } \theta') + (V_{exp} \cdot \text{sen } i \cdot \text{sen } \theta') + (V_z \cdot \cos i) \quad \text{Ec. VI.6}$$

donde V_{exp} es la velocidad de expansión (radial en el plano galáctico) y V_z es la velocidad en dirección perpendicular al plano galáctico.

2. Visualizador 3D

Este programa permite visualizar y analizar imágenes en 2D y 3D (principalmente 3D) que tengan formato .AD2, .AD3, .FITS o CIGALE. Consta de cinco funciones esenciales que son:

- a) **Interferogramas (*interferograms*):** Esta sección del sistema permite abrir un cubo para visualizar los canales (ver apéndice A.1.3 para tener una idea más clara de lo que es un cubo). Conforme el cursor se desliza sobre los canales, se muestra en una gráfica el perfil del pixel. El perfil puede calcularse a partir de un pixel o un conjunto de pixeles (una celda), según indique el usuario. Es posible cambiar la paleta de colores, los umbrales y el tamaño de la imagen. Esta sección está relacionada con la sección de *despliegue principal en 2D* ya que es posible visualizar imágenes en ella al abrir un cubo en ésta.
- b) **Mapas de longitud de onda (*wavelength maps*):** Esta sección es similar a la anterior; la diferencia radica, principalmente, en que los cubos se leen a partir de archivos de fase. Aquí también se muestran gráficas de los perfiles, se pueden cambiar la paleta, los umbrales y el tamaño de la imagen.

-
- c) **Fase (*phase*):** Permite abrir un archivo de fase en 2D (.AD2) el cual debe ser parabólico. Al abrirlo, se activan automáticamente las secciones de *mapas de ancho de banda* y *Mono/Cont/RV*. Aquí también se muestran gráficas de los perfiles, se pueden cambiar la paleta, los umbrales y el tamaño de la imagen.
- d) **Despliegue principal en 2D (*sum*):** Esta sección está relacionada con *interferogramas* y con *mapas de ancho de banda*. Aquí se pueden visualizar uno por uno los canales de los cubos abiertos en las secciones mencionadas y hacer cambios en la paleta, umbrales y tamaño, así como mostrar los perfiles. Una característica adicional es la posibilidad de ver una especie de película de los canales, donde el usuario puede indicar el tiempo de despliegue entre cada canal. Además, se pueden almacenar en disco los canales en forma de archivos de 2D y también se pueden abrir archivos en 2D que sean independientes del cubo que se esté visualizando en ese momento. Existe una opción para realizar la suma de todos los canales y desplegar el resultado de dicha operación.
- e) **Mono/Cont/RV:** Utilizando la información de la imagen 2D que se abrió en *fase*, se calculan mapas monocromáticos, de continuidad y de velocidad radial (*RV*). Se muestran perfiles y se realizan cambios en la paleta de colores, umbrales y tamaño de la imagen.

VI.2.3.3 Esquemas de color adoptados por ADHOC/

El astrónomo Jacques Boulesteix desarrolló el sistema ADHOC (como se menciona en el Capítulo IV, Sección II.2) en el cual se requirió de la integración de diversas paletas de colores para la visualización de las imágenes. Dichas paletas fueron tomadas del sistema desarrollado por el Dr. Etienne Le Coarer, CIGALE.

El Dr. Etienne Le Coarer desarrolló sus tablas de color basándose en sistemas existentes como el paquete MIDAS del Observatorio Europeo Austral (ESO por sus siglas en inglés). La idea general empleada en ESO, que se basaba en un esquema de 16 colores, le pareció interesante aunque los resultados eran pobres, desde su punto de vista, por lo que expandió la escala a 256 colores interpolando los valores de las tablas de color, obteniendo como resultado los valores ilustrados en la Tabla VI.I.

#	rojo	verde	azul
1	80	0	120
2	40	0	92
3	0	0	131
4	0	76	170
5	0	100	198
6	0	159	255
7	0	200	183
8	30	255	83
9	100	255	0
10	178	255	0
11	255	235	0
12	255	192	0
13	255	117	0
14	255	0	0
15	255	181	181
16	255	255	255

Tabla VI.I. Tabla de color empleada por E. LeCoarer.

El interés principal para elegir estas tablas de color radica en la habilidad de visualizar objetos tenues entre el ruido, en intensidades bajas (violeta). El azul turquesa es útil para visualizar la dinámica de los objetos para intensidades dentro de un rango intermedio. Por otra parte, se ha limitado el uso de los colores verde y amarillo debido a que no permiten ver con claridad los contrastes. Finalmente, se utiliza el rojo para representar las intensidades más altas, las cuales proporcionan valiosa información, por ejemplo, sobre la separación de un cúmulo estelar.

La paleta, en general, sirve para dar una impresión de color al objeto. Donde no hay color se rellena con píxeles negros o blancos. Las partes blancas indican saturación. En el observatorio ESO existe una tendencia a utilizar colores más candentes como marrón, anaranjado, amarillo y blanco que fungen de la misma manera que el negro y blanco en las paletas desarrolladas por el Dr. Etienne Le Coarer.

Otras paletas de color adoptadas en CIGALE que permiten tener otra percepción de los niveles de los diferentes píxeles, también se han implementado en ADHOC/, así como una paleta que varía como la raíz cuadrada del valor de la señal. Estas paletas se han implementado porque se consideran de utilidad en la visualización de las imágenes. En la figura VI.2 se muestran las diferentes tablas de color disponibles.

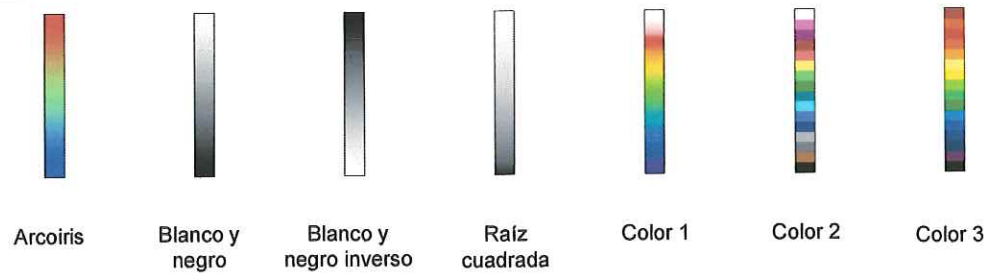


Figura VI.2. Tablas de color disponibles para el sistema ADHOC/.

VI.2.3.4 Organización de los archivos del sistema

El sistema de archivos de ADHOC/ es muy importante y de su uso correcto depende que el software funcione adecuadamente.

Linux cuenta con un sistema de archivos muy organizado y el objetivo de este proyecto es conservar y aprovechar al máximo éste y otros beneficios. Por lo tanto, al momento de instalar el software ADHOC/, el programa ejecutable se almacenará con el nombre *ADHOC/.tcl* en el directorio *ADHOC/*, ubicado en la trayectoria dada en el proceso de instalación. Por ejemplo, podría instalarse en la trayectoria */usr/local/ADHOC/* (en el Apéndice C se presenta el proceso de instalación). En esa misma trayectoria se crearán otros directorios cuyo contenido se describe a continuación:

-
- 📌 **Documents:** Este directorio contiene todos los documentos de ayuda y documentos técnicos que el usuario pueda requerir para aclarar sus dudas sobre el uso y mantenimiento del sistema.
 - 📌 **Source:** Aquí se localizan los archivos con el código fuente en C utilizado por el sistema ADHOC/.
 - 📌 **Bin:** Contiene los archivos compilados ejecutables que se obtuvieron a partir del código fuente proveniente del directorio *source*. De aquí son llamados por el programa en Tcl.
 - 📌 **Lib:** Todas las bibliotecas en Tcl se encuentran en este directorio, tanto las de aplicación como las de interfaz gráfica (en la mayoría de los archivos vienen combinadas estas dos cosas).

Otra característica que tiene ADHOC/ es que al momento de ejecutarlo requiere crear información temporal para la manipulación de las imágenes y sus parámetros, por lo que, al iniciar una sesión de ADHOC/, se genera un sistema de directorios en la trayectoria */tmp/adhoc/* y al salir de la sesión se borran automáticamente. Los directorios para el visualizador 2D, dentro de la trayectoria mencionada, son */file01*, */file02*, */file03*, */file04*, */file05* y */file06* para almacenar información en 2D y */file11*, */file12* y */file13* para almacenar cubos. En el caso del visualizador 3D se genera el directorio */file01* para las imágenes en 2D y */file11* para los cubos.

VI.2.3.5 Diagramas de flujo de datos

Estos diagramas documentan cómo los datos de entrada se transforman en datos de salida, donde cada etapa del diagrama representa una transformación diferente.

Los diagramas de flujo de datos constan de tres componentes [Sommerville, 2001]:

1. flechas con anotaciones,
2. burbujas con anotaciones,
3. los operadores $\star$ (AND) y $\oplus$ (OR).

Las burbujas con anotaciones representan centros de transformación en los que la anotación especifica la transformación ocurrida. Las flechas representan el flujo de datos hacia adentro y afuera de los centros de transformación, donde las anotaciones dan nombre al flujo de datos. Los diagramas de flujo de datos describen cómo una entrada se transforma en una salida. No deben incluir información de control o de secuencia de la información. Cada burbuja se puede considerar una caja negra independiente que transforma sus entradas en salidas. Los operadores se utilizan para unir flechas [Sommerville, 2001].

Ya que no hay reglas para determinar la estructura total del diagrama y para tener una idea más clara del funcionamiento del sistema, se presenta primero un diagrama

general seguido de una descripción que incluye la forma en que se subdivide en procesos más específicos.

a) Diagramas de flujo de datos para el sistema ADHOC/ 2D

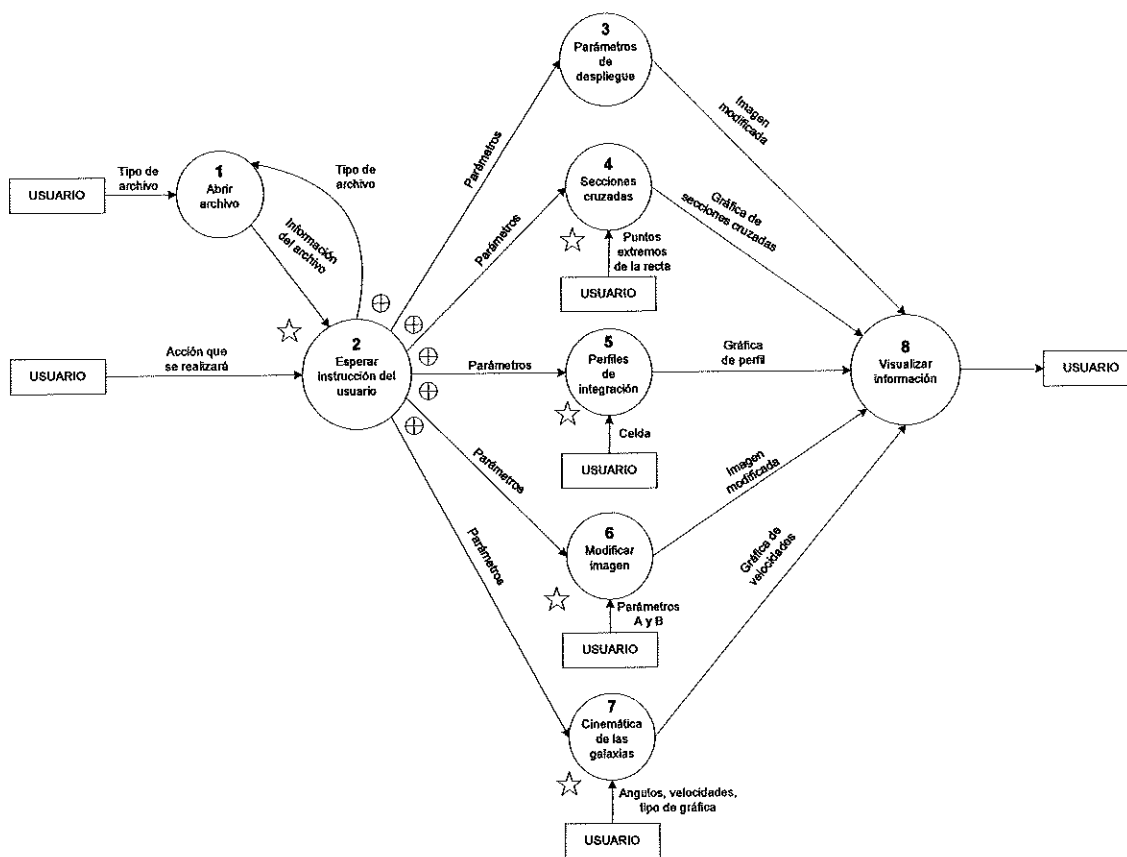


Figura VI.3. Diagrama general del sistema ADHOC/ 2D.

En la Figura VI.3 se muestra el diagrama general del sistema ADHOC/ 2D que consta de ocho partes principales que a continuación se describen:

-
1. **Abrir archivo.** Recibe el flujo de datos *tipo de archivo* el cual es proporcionado por el usuario y es transformado mediante los subprocesos ilustrados en la Figura VI.4. Cuando el usuario indica el tipo de archivo que desea abrir, el proceso *obtener nombre del archivo* le permite elegir un *nombre de archivo*, el cual manda en forma de flujo de datos al siguiente proceso, *leer archivo*. *Leer archivo* es el encargado de interactuar con el dispositivo de almacenamiento y enviar el *contenido del archivo* al proceso *clasificar contenido del archivo*, donde los datos serán separados para identificar la imagen y asignar las variables de ambiente. Una vez clasificados los datos, el siguiente proceso consiste en *crear archivos temporales* donde se almacenan los *parámetros y la imagen binaria*, que se recibieron en el flujo de datos correspondiente, con el fin de hacer modificaciones a través del sistema sin afectar la información original, salvo instrucción explícita del usuario. Después, los datos son enviados al proceso de visualización el cual solamente los despliega en la pantalla para ser vistos y modificados por el usuario.

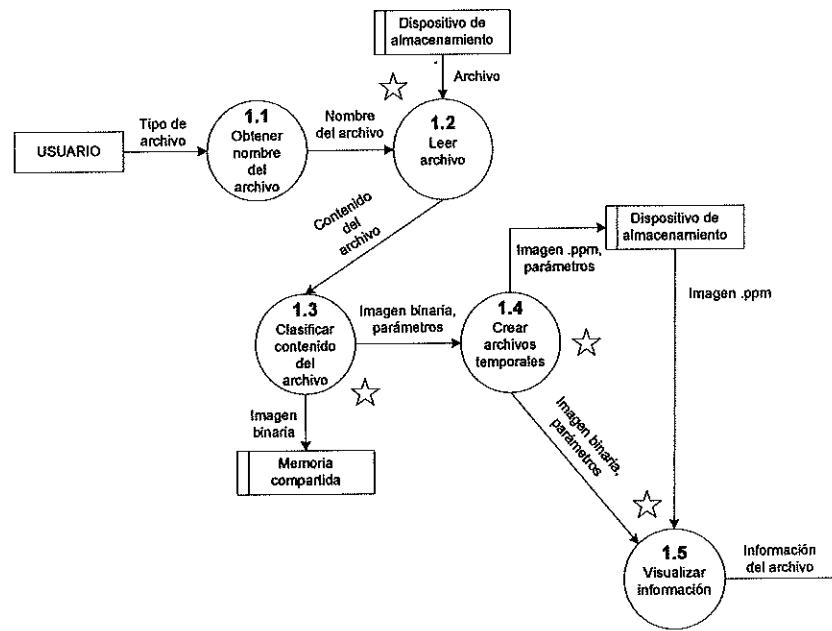


Figura VI.4. Diagrama de flujo de datos para *abrir un archivo*.

2. **Procesar información.** La función principal de este proceso es esperar a que el usuario envíe un mandato (*acción que se realizará*) a través del menú, el cual determinará el siguiente proceso a realizar, ya sea que modifique la imagen y/o sus parámetros o que elija abrir algún otro archivo.
3. **Parámetros de despliegue.** Como se muestra en la Figura VI.5, recibe el flujo de datos *parámetros*, el cual es utilizado en uno de los cinco subprocesos que lo conforman. Los subprocesos tienen en común los flujos de datos de entrada (*parámetros*) y salida (*imagen modificada*), la diferencia radica en el cambio que cada uno ejerce sobre los datos. *Paleta de colores* cambia el esquema de colores de la imagen por una de las siete opciones disponibles (en la Sección VI.2.3.3 se describen con más detalle); *tamaño de la imagen* incrementa el tamaño de la imagen

en múltiplos de 2; *umbrales* cambia la paleta de colores utilizando un color de despliegue mínimo y uno máximo establecidos por el usuario; *orientación de la imagen* permite voltear la imagen en sentido horizontal o vertical; y *traslapar la escala máxima de color* ocasiona que la paleta de colores se trasape cuando un color es mayor que el máximo indicado por los umbrales. Cuando el usuario ya ejecutó alguna de estas acciones, la imagen se visualiza en pantalla y entonces puede guardarse en un dispositivo de almacenamiento o imprimirse en papel.

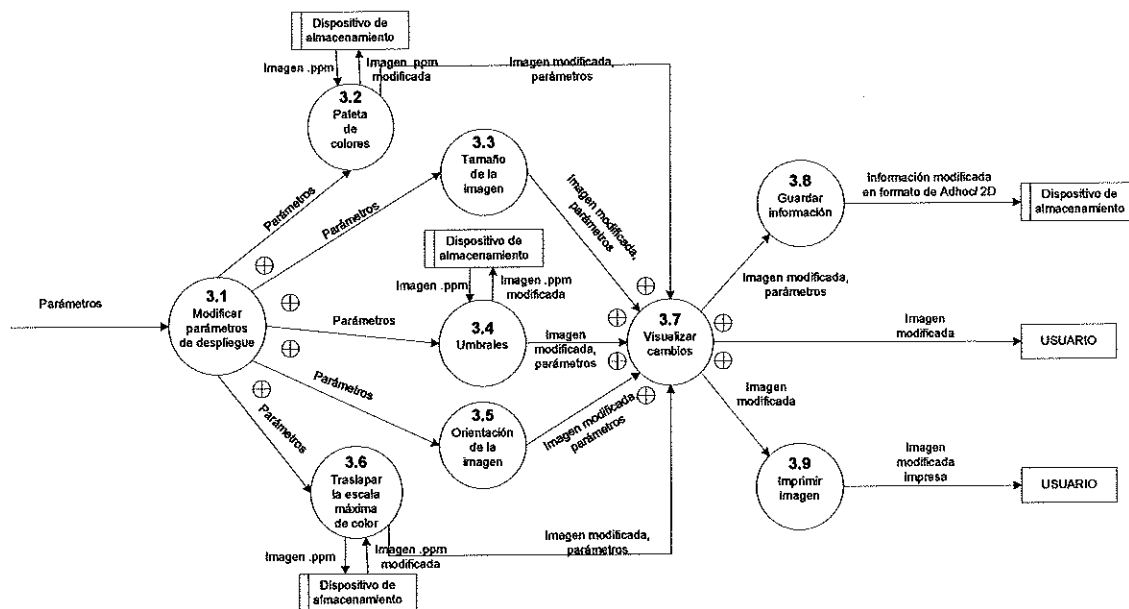


Figura VI.5. Diagrama de flujo de datos para *parámetros de despliegue*.

4. **Secciones cruzadas.** Recibe el flujo de datos *parámetros* proveniente del proceso *abrir archivo* y el flujo de datos *puntos extremos de la recta* que es proporcionado por el usuario, el cual los elige presionando el mouse sobre la imagen. En la Figura VI.6 se puede notar que estos flujos de datos son recibidos por un proceso llamado

calcular puntos intermedios de la recta y éste envía una lista de puntos y parámetros al proceso leer intensidades de los puntos. Una vez que se tienen las intensidades, se pasa la lista de intensidades al proceso que va a graficar intensidades para dar como resultado una gráfica de secciones cruzadas.



Figura VI.6. Diagrama de flujo de datos para las secciones cruzadas.

5. Perfiles de integración. Además de recibir los *parámetros* de la imagen, recibe también la *celda* seleccionada por el usuario. Enseguida se *leen las intensidades de la celda* y se envía la *lista de intensidades* al proceso *promediar intensidades con lecturas previas* con lo cual se obtiene una sola *lista de intensidades promediadas*, que luego se grafican en el proceso *graficar intensidades*. Como resultado se obtiene una *gráfica de perfil* que se puede *guardar en archivo, modificar o imprimir*. La Figura VI.7 nos da una idea más clara de este proceso.

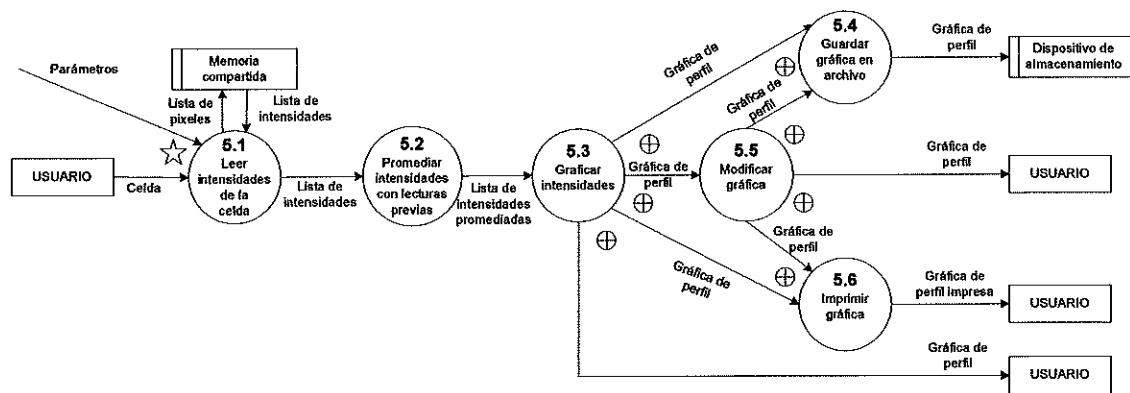


Figura VI.7. Diagrama de flujo de datos para *perfiles de integración*.

6. Modificar imagen. El proceso *seleccionar píxeles* recibe al flujo de datos *parámetros* (ver Figura VI.8). Su salida es el flujo de datos *píxeles* que se utiliza en el proceso *modificar intensidad de los píxeles* que, además, recibe *A* y *B* introducidos por el usuario con lo cual modifica la región de la imagen seleccionada y el resultado (*imagen modificada*) se despliega en pantalla con la opción de deshacer hasta un máximo de veinte cambios.

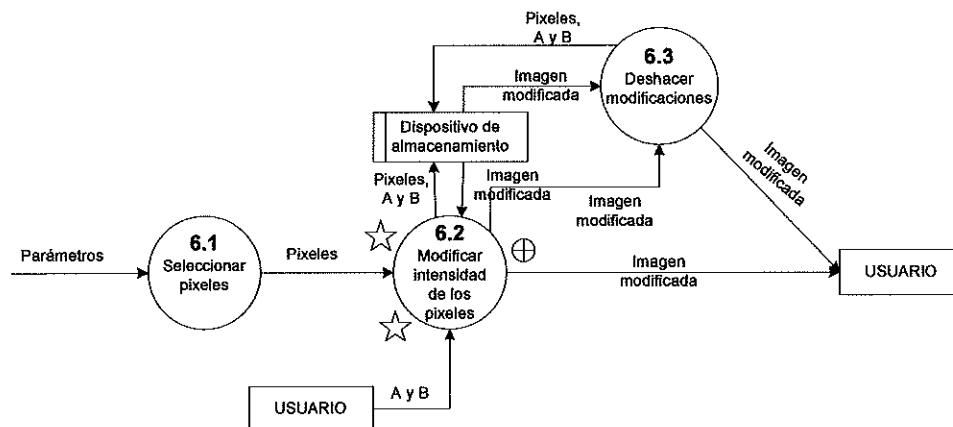


Figura VI.8. Diagrama de flujo de datos para *modificar imagen*.

7. Cinemática de las galaxias. El primer subproceso que se ejecuta dentro de la cinemática es *obtener lista de pixeles* el cual requiere que el usuario introduzca las *coordenadas y ángulos* necesarios para elaborar la gráfica. La salida *lista de intensidades* es recibida en el proceso *obtener lista de velocidades*, para lo que el usuario debe indicar las *velocidades y tipo de gráfica* que desea obtener (velocidad de rotación, velocidad radial o rotación proyectada). El resultado de este proceso es una *lista de velocidades* que es utilizada para *graficar velocidades* y la salida del proceso es una *gráfica de velocidades* que se puede *guardar en archivo, modificar o imprimir*. Esta secuencia de procesos se muestra en la Figura VI.9.

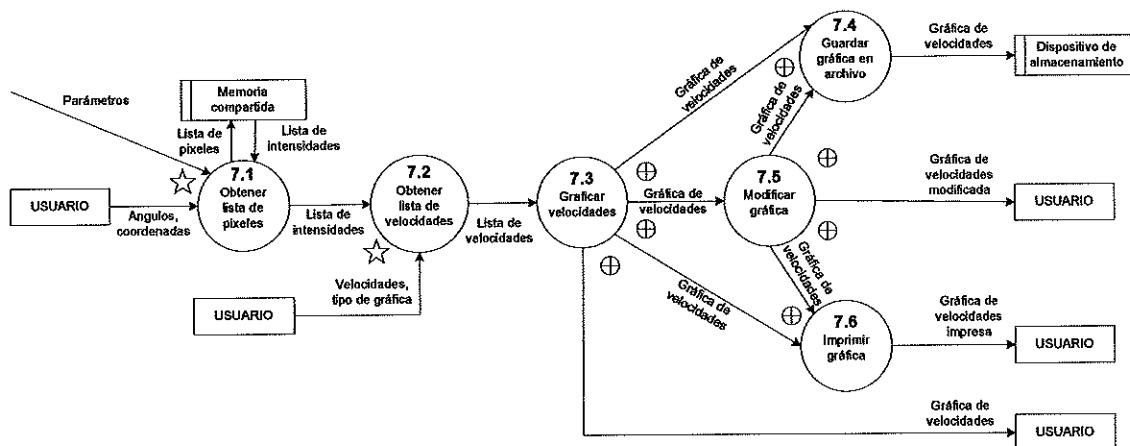


Figura VI.9. Diagrama de flujo de datos para *cinemática de las galaxias*.

8. Visualizar información. Despliega en la pantalla la información que recibe de los otros procesos (gráficas o imágenes modificadas).

b) Diagramas de flujo de datos para el sistema ADHOC/ 3D

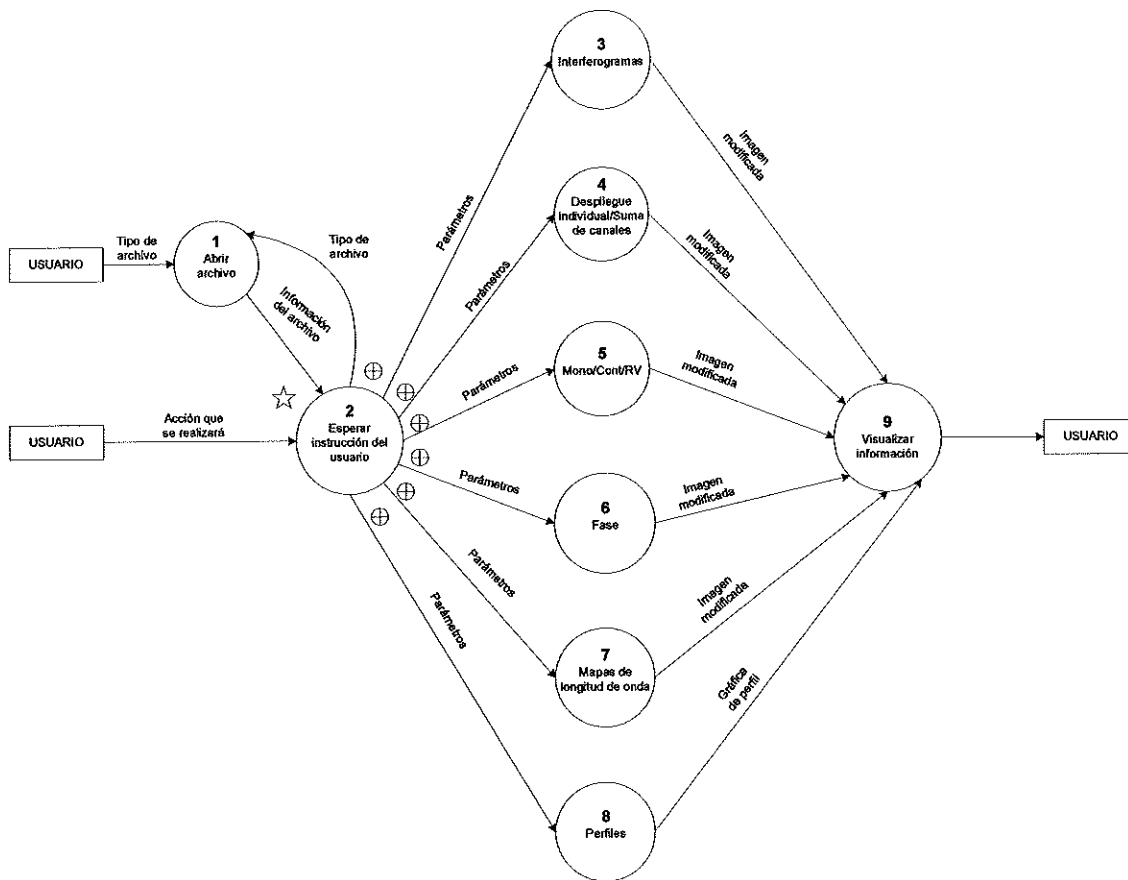


Figura VI.10. Diagrama general del sistema ADHOC/ 3D.

La Figura VI.10 muestra el diagrama general del sistema que maneja las imágenes en 3D (o cubos). Su funcionamiento es muy semejante al del sistema descrito anteriormente para la manipulación de imágenes en 2D. Aunque, en apariencia, consta de menos partes, en realidad realiza muchas de las tareas ejecutadas por el sistema en 2D pero, además, permite la visualización desglosada de imágenes en 3D y el análisis individual de cada canal. A continuación se describen las partes más importantes:

1. **Abrir archivo.** Este proceso permite al usuario elegir el nombre del archivo con los datos en 3D y abrirlo para que el sistema administre la información. El funcionamiento de este proceso es idéntico al descrito para el sistema en 2D en la Figura VI.4.
2. **Esperar instrucción del usuario.** Este proceso recibe el mandato introducido por el usuario, lo procesa y canaliza la información para que se realicen cambios en las imágenes de acuerdo con lo indicado por el usuario. Básicamente, es un proceso de espera.
3. **Interferogramas.** Es un proceso que recibe el flujo de datos *parámetros*. Se pueden realizar modificaciones en los parámetros de despliegue a las imágenes del cubo de datos de acuerdo con los procesos descritos para la Figura VI.5 del sistema en 2D.
4. **Canales individuales.** La Figura VI.11 ilustra los subprocesos que forman parte del proceso para el despliegue de los canales individuales. Inicialmente se tiene acceso a un canal inicial y luego se pueden ver uno a uno los canales que componen el cubo que se abrió en la sección de interferogramas. Si se desea, se puede ver una secuencia de los canales, en forma de película; también se pueden modificar los parámetros de despliegue de la misma manera descrita para la Figura VI.5 del visualizador en 2D; se puede abrir un archivo 2D independiente del cubo actual; y se pueden marcar zonas para observar los perfiles. Los datos modificados y la información resultante después de ejecutar alguna combinación de estos procesos, se

puede visualizar de manera inmediata y, de ser necesario, se puede almacenar en algún dispositivo o imprimir.

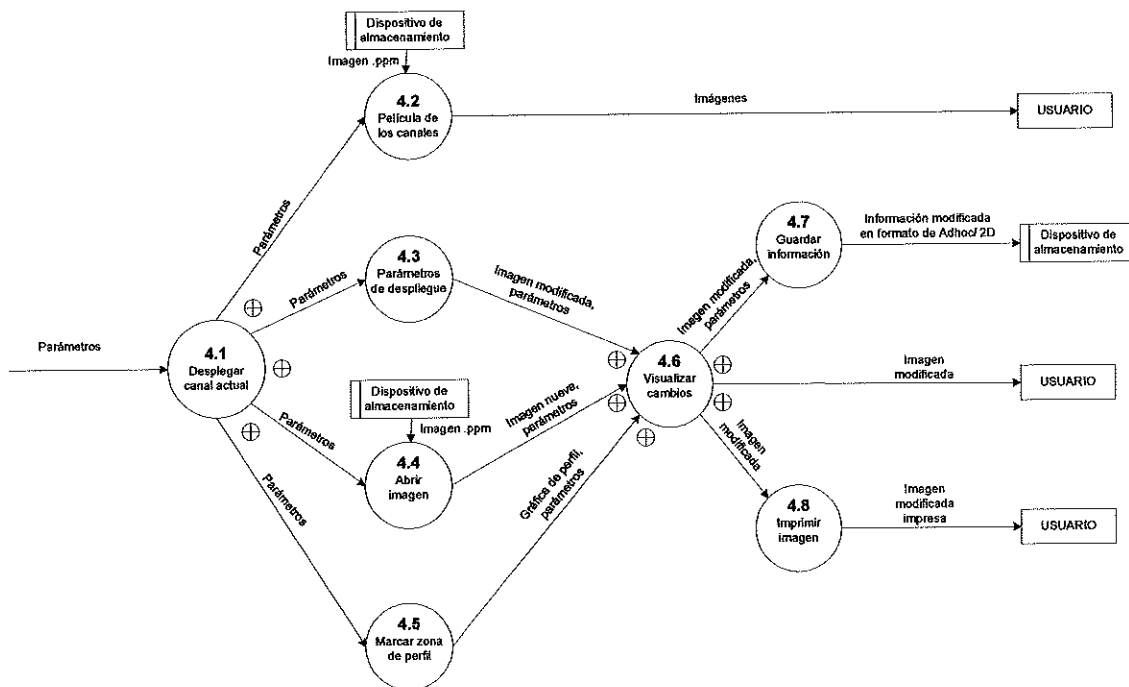


Figura VI.11. Diagrama de flujo de datos para *sum or individual channels*.

VI.2.3.6 Algoritmos de los módulos más importantes

En esta sección se muestran los algoritmos que se consideran de mayor importancia para la implementación del sistema ADHOC/. Existen diversas formas de expresar un algoritmo tales como diagramas de flujo, pseudo-código o lenguaje natural. Para simplificar el entendimiento de los procesos que se van a describir se optó por el uso de los diagramas de flujo. En la Tabla VI.II se explica el significado de las figuras que se encontrarán en los diagramas.

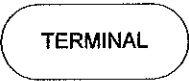
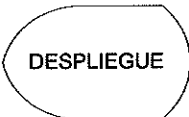
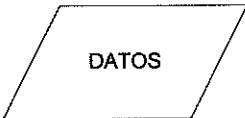
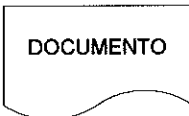
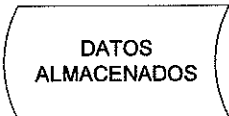
FIGURA	DESCRIPCIÓN
	Indica el inicio o final de un módulo en el diagrama.
	Indica cualquier tipo de proceso.
	Indica un punto de desición entre dos o más trayectorias que se pueden seguir dentro del diagrama. También se puede utilizar para ciclos.
	Indica un proceso con nombre tal como una subrutina o un módulo.
	Datos que se despliegan para ser leídos por los usuarios (ejemplo: datos sobre un monitor o pantalla de un proyector).
	Representa cualquier tipo de datos en el diagrama de flujo (ejemplo: asignación de variables).
	Indica que hay entrada de datos en forma manual (ejemplo: mediante el teclado).
	Datos que pueden ser leídos por los usuarios (ejemplo: copia impresa de los datos).
	Indica cualquier tipo de datos almacenados.

Tabla VI.II. Figuras utilizadas en los diagramas de flujo.

Los procesos que no se han tomado en cuenta consisten en operaciones muy sencillas, generalmente realizadas por parte del lenguaje de programación de forma oculta para el programador.

En la Figura VI.4 se pueden observar los procesos derivados de *abrir archivo*. Ahora, a continuación, en la Figura VI.12 se describen los algoritmos de los dos procesos más importantes de la Figura VI.4.

A pesar de que la Figura VI.4 nos muestra que son varios los procesos requeridos para la apertura de un archivo, en la implementación existe un módulo principal encargado de ejecutar las subrutinas, muchas de ellas predefinidas dentro del lenguaje de programación. Siguiendo los pasos del algoritmo ilustrado en la Figura VI.12(a), se observa la entrada de datos para *obtener el nombre del archivo* el cual debe ser proporcionado por el usuario. El lenguaje Tcl/Tk cuenta con una herramienta predefinida que permite llevar a cabo este paso de manera sencilla y transparente para el programador del sistema ADHOC/. El siguiente proceso consiste en *extraer la información del archivo*. Éste es un módulo independiente y los detalles se ilustran en la Figura VI.12(b) que se explicará más adelante. Los dos procesos que siguen se relacionan con el uso de la memoria compartida cuyo manejo se realiza mediante código escrito en lenguaje C. El resto del algoritmo de la Figura VI.12(a) consiste básicamente en inicialización de variables, despliegue de ventanas y visualización de los datos.

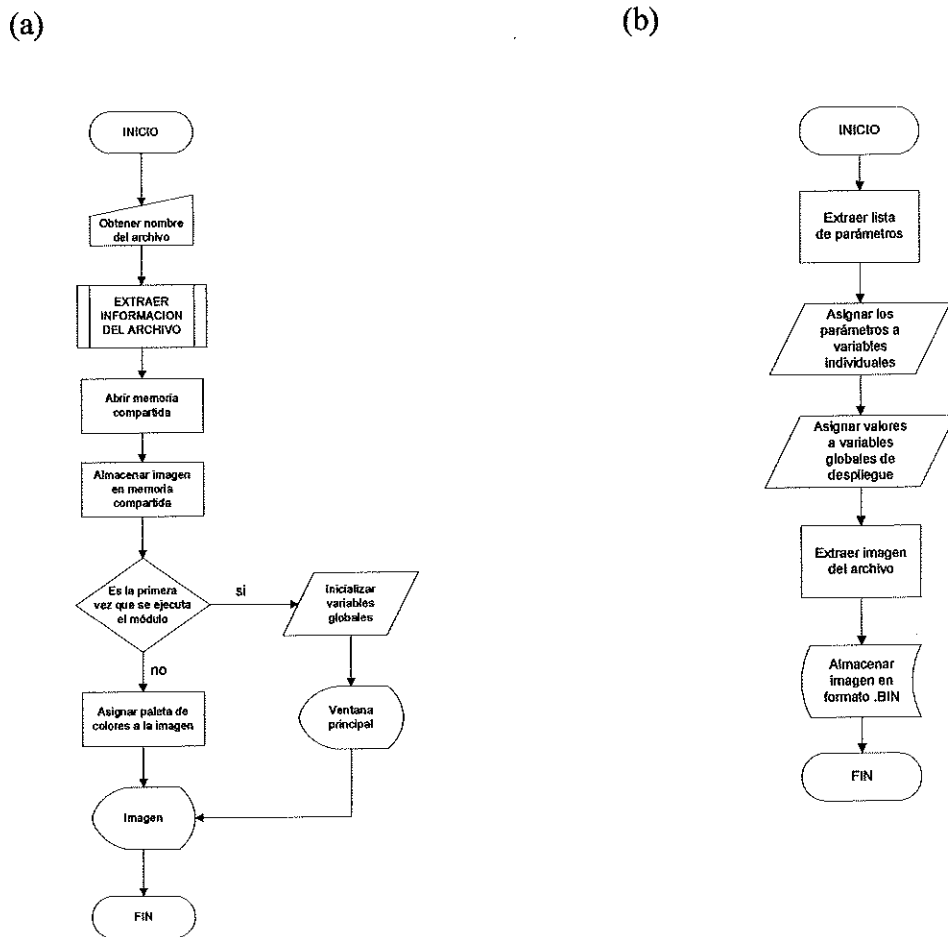


Figura VI.12. (a) Algoritmo del módulo para abrir un archivo, (b) algoritmo para extraer la información del archivo.

En la Figura VI.12(b), los procesos *extraer lista de parámetros*, *extraer imagen del archivo* y *almacenar imagen en formato BIN*, son módulos que se codificaron en lenguaje C. La asignación de valores a las variables globales se realizó mediante la instrucción de Tcl, *lassign*.

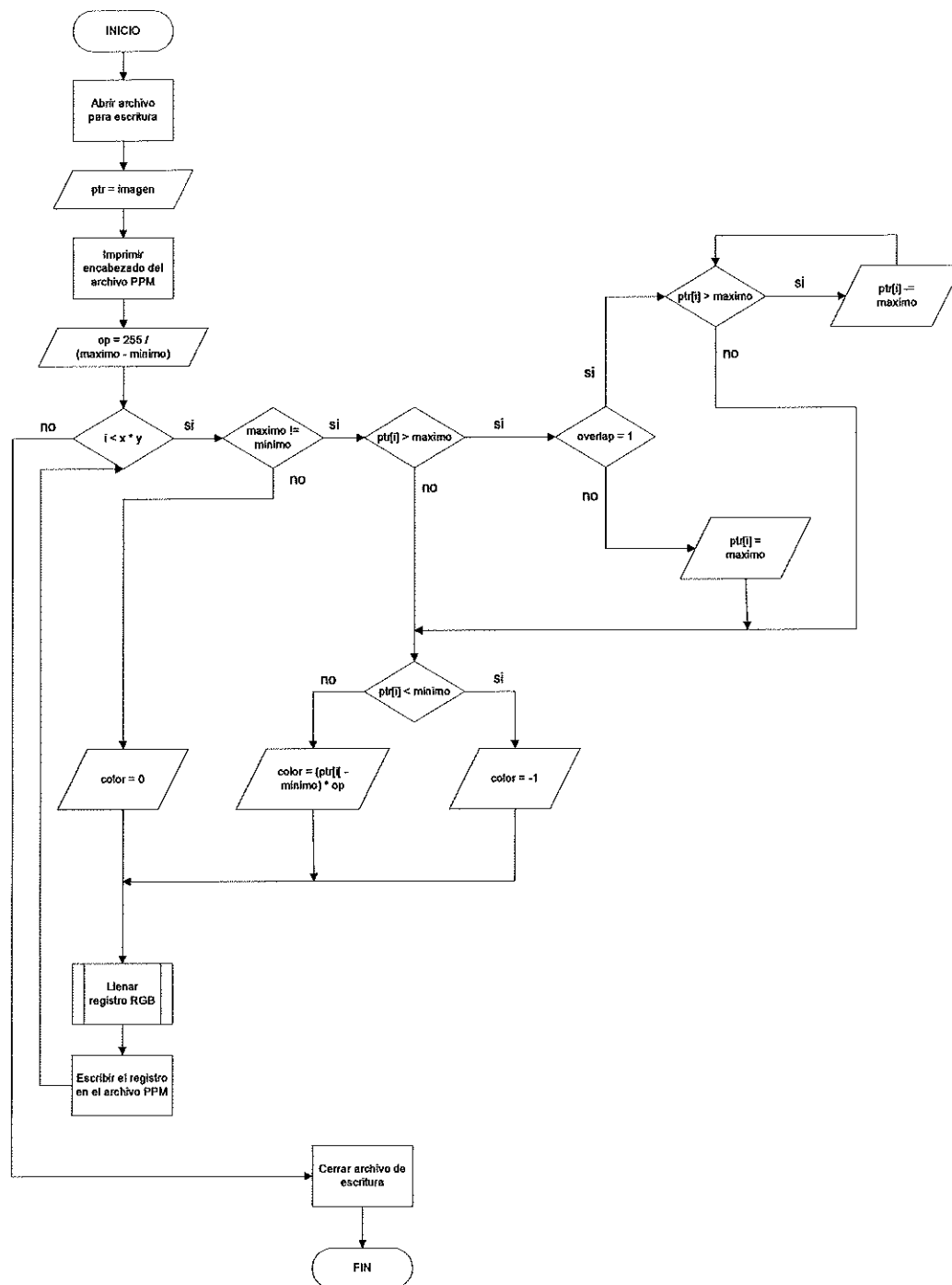


Figura VI.13. Algoritmo para la asignación de la paleta de colores.

El siguiente algoritmo de importancia es el que se muestra en la Figura VI.13. La asignación de la paleta de colores es un proceso que involucra varios aspectos de la imagen. En la Figura VI.5 se indica que las operaciones posibles para modificar los parámetros de despliegue son: cambiar la paleta de colores, el tamaño y orientación de la imagen, los umbrales y el traslape de colores.

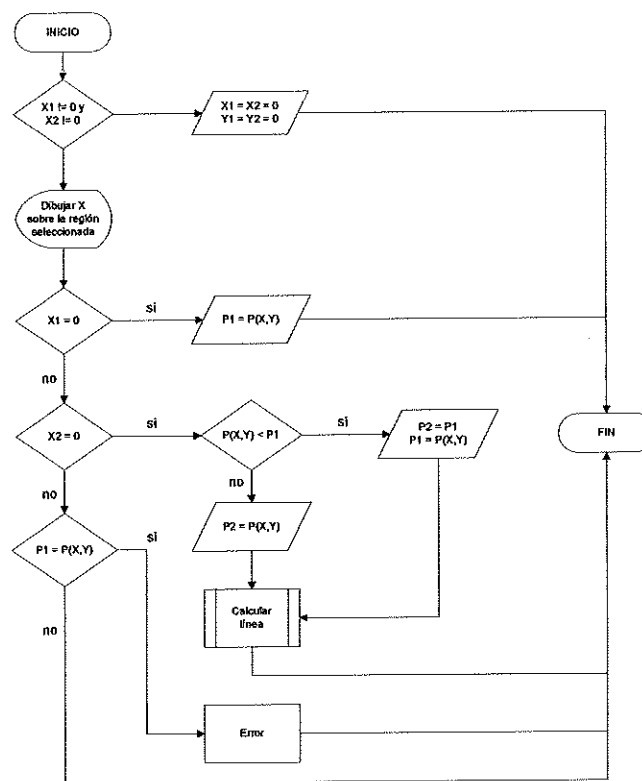


Figura VI.14. Algoritmo para seleccionar los puntos extremos de la recta para las secciones cruzadas.

En la práctica, estas opciones se dividen en dos grupos: el primero incluye el cambio de la paleta, umbrales y traslape de colores; el segundo, la orientación y el tamaño de la imagen. El primer grupo de acciones se realiza dentro del mismo módulo al momento de almacenar la imagen en formato PPM, tal como se muestra en la Figura VI.13. El segundo grupo de acciones se lleva a cabo mediante instrucciones de Tcl/Tk, con total transparencia para el programador.

La Figura VI.14 muestra la forma en que son seleccionados los puntos extremos de la recta. Para iniciar el proceso se reciben las coordenadas del punto elegido por el usuario. Se despliega una X sobre el mismo punto y se verifica si es el primer punto elegido o el segundo; en caso de ser el segundo, los puntos se acomodan de manera que el primero tenga la menor coordenada horizontal y luego se calculan los puntos intermedios mediante un módulo un poco complejo (ver Figura VI.15).

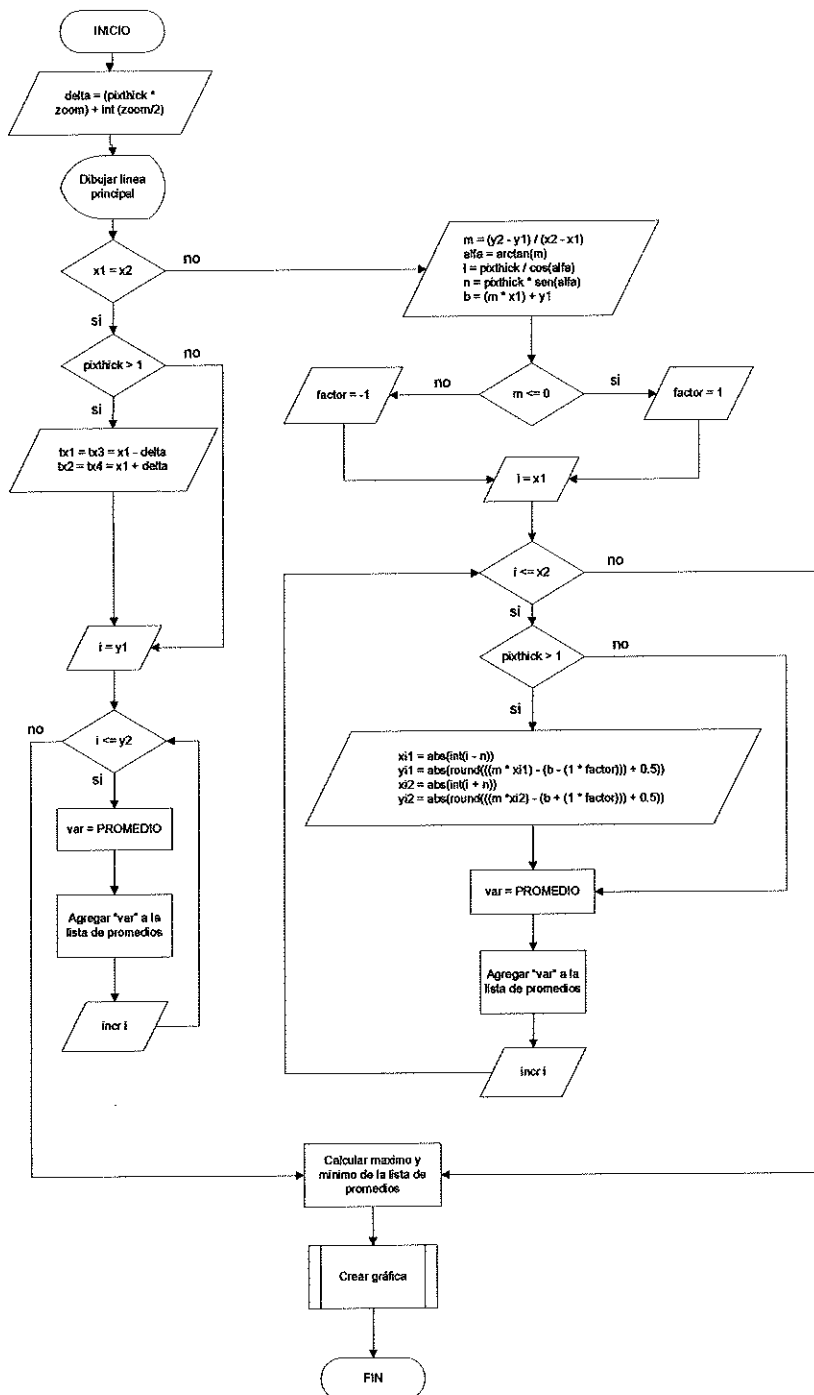


Figura VI.15. Algoritmo para calcular los puntos medios de la recta y la visualización de la gráfica en secciones cruzadas.

El algoritmo de la Figura VI.15 muestra los pasos a seguir para calcular los puntos intermedios de la recta seleccionada mediante el algoritmo de la Figura VI.14. Para ello se han tomado en cuenta las consideraciones matemáticas involucradas con la pendiente de la recta. Por geometría tenemos que la ecuación de la recta en función de la pendiente m y la ordenada al origen b es:

$$y = mx + b$$

Ec. VI.7

Otra consideración importante es el valor de m para las diferentes posiciones de la recta. En la Figura VI.16 se ilustra este concepto.

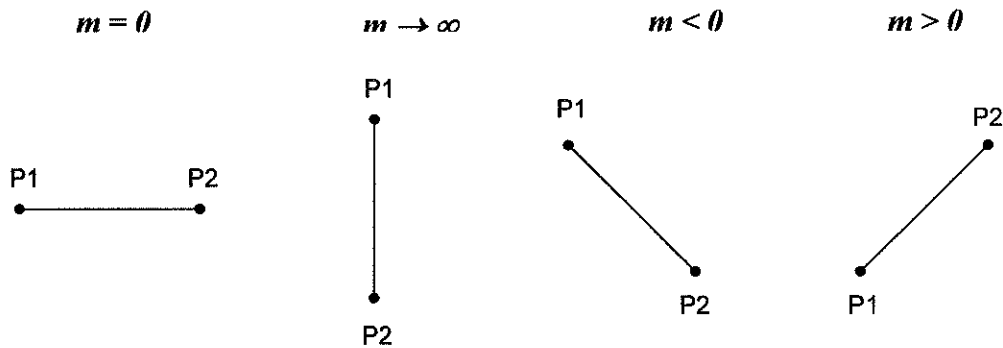


Figura VI.16. Valores posibles para la pendiente m .

Para el caso donde $m \rightarrow \infty$ es necesario hacer operaciones distintas (como se ilustra en el algoritmo de la Figura VI.15). En los otros tres casos no hay ningún problema para la aplicación de la ecuación de la recta mencionada anteriormente.

Cualesquiera que sea el caso, se dibuja la recta sobre la imagen y conforme se determinan los puntos intermedios, se obtiene el valor del pixel (intensidad) el cual se agrega a una lista. Si el grosor de la línea es mayor que uno, se deben calcular, a su vez, los puntos intermedios de las subrectas siguiendo las mismas técnicas matemáticas y promediar las intensidades para obtener como resultado un solo punto promediado. Ése es el valor que se agrega a la lista (el diagrama de la Figura VI.17 ilustra este proceso). El paso final es dibujar una gráfica con los valores acumulados en la lista (la Figura VI.23 ilustra el procedimiento para la creación de una gráfica).

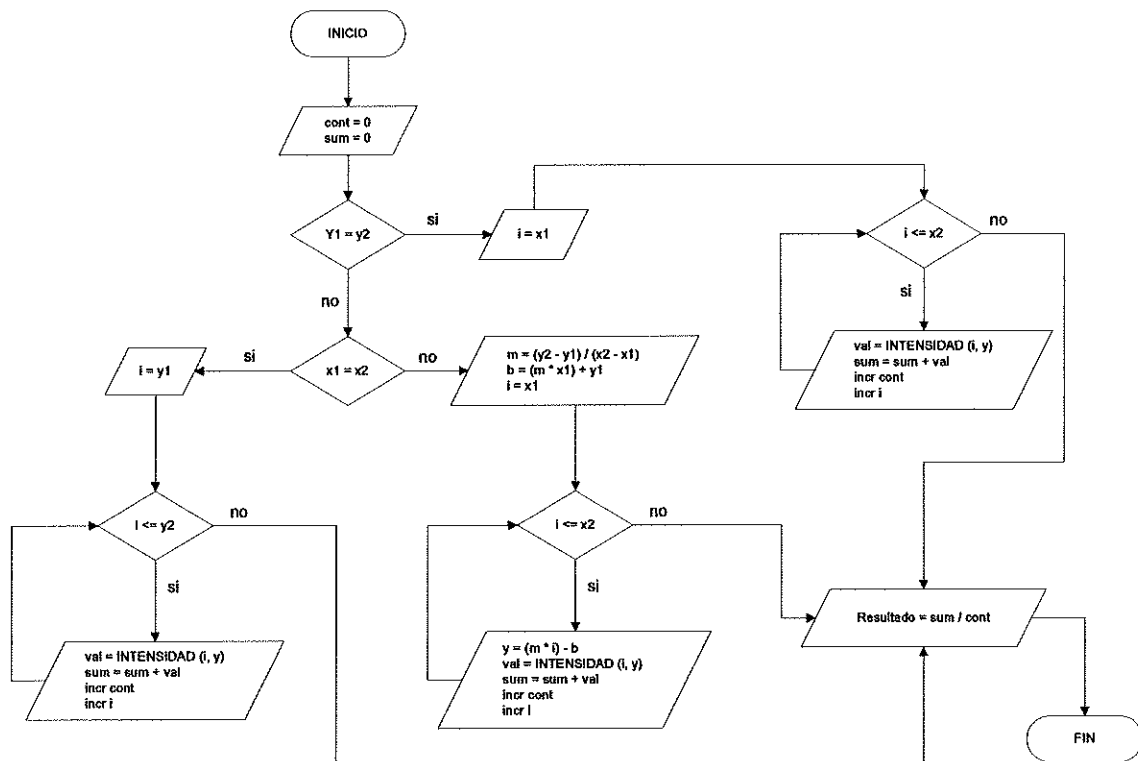


Figura VI.17. Algoritmo para calcular el promedio de las sub-rectas en secciones cruzadas.

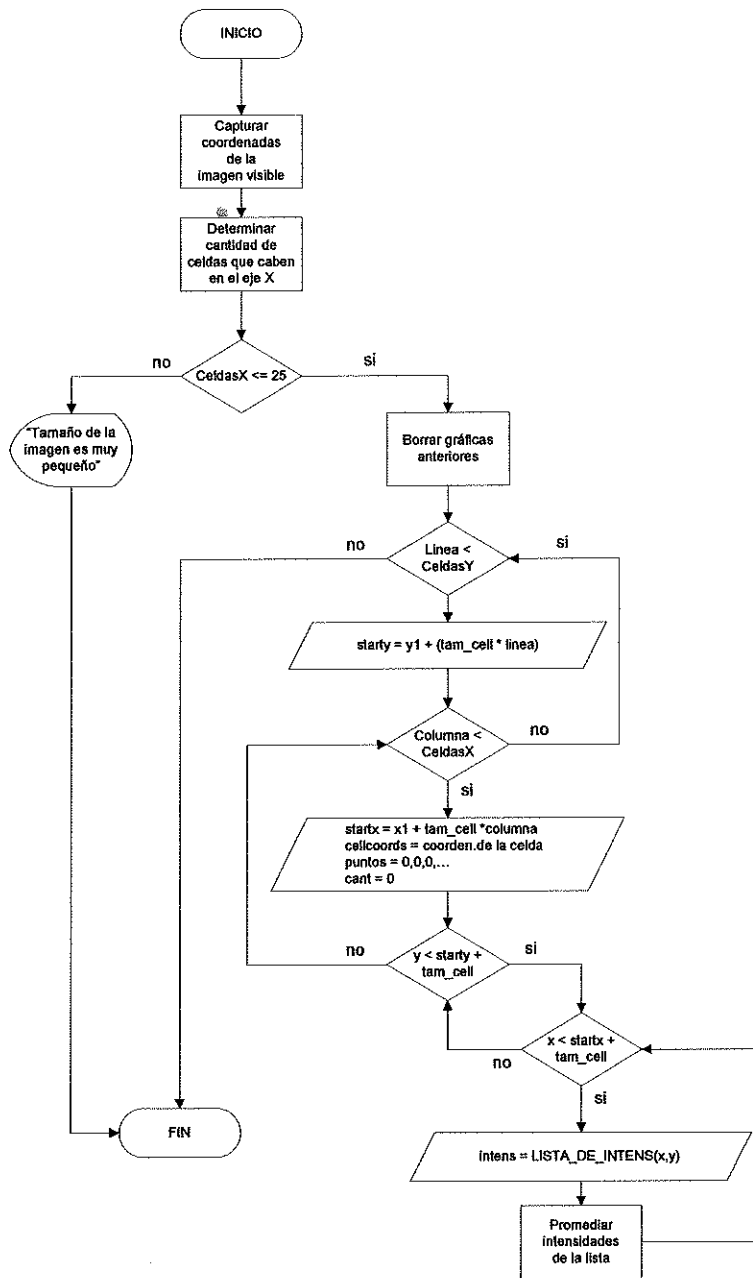


Figura VI.18. Algoritmo para desplegar las gráficas de perfiles sobre la imagen principal.

Al momento de abrir un archivo 3D desde el visualizador 2D, se tiene la oportunidad de ver las gráficas de los perfiles directamente sobre la imagen en el despliegue actual.

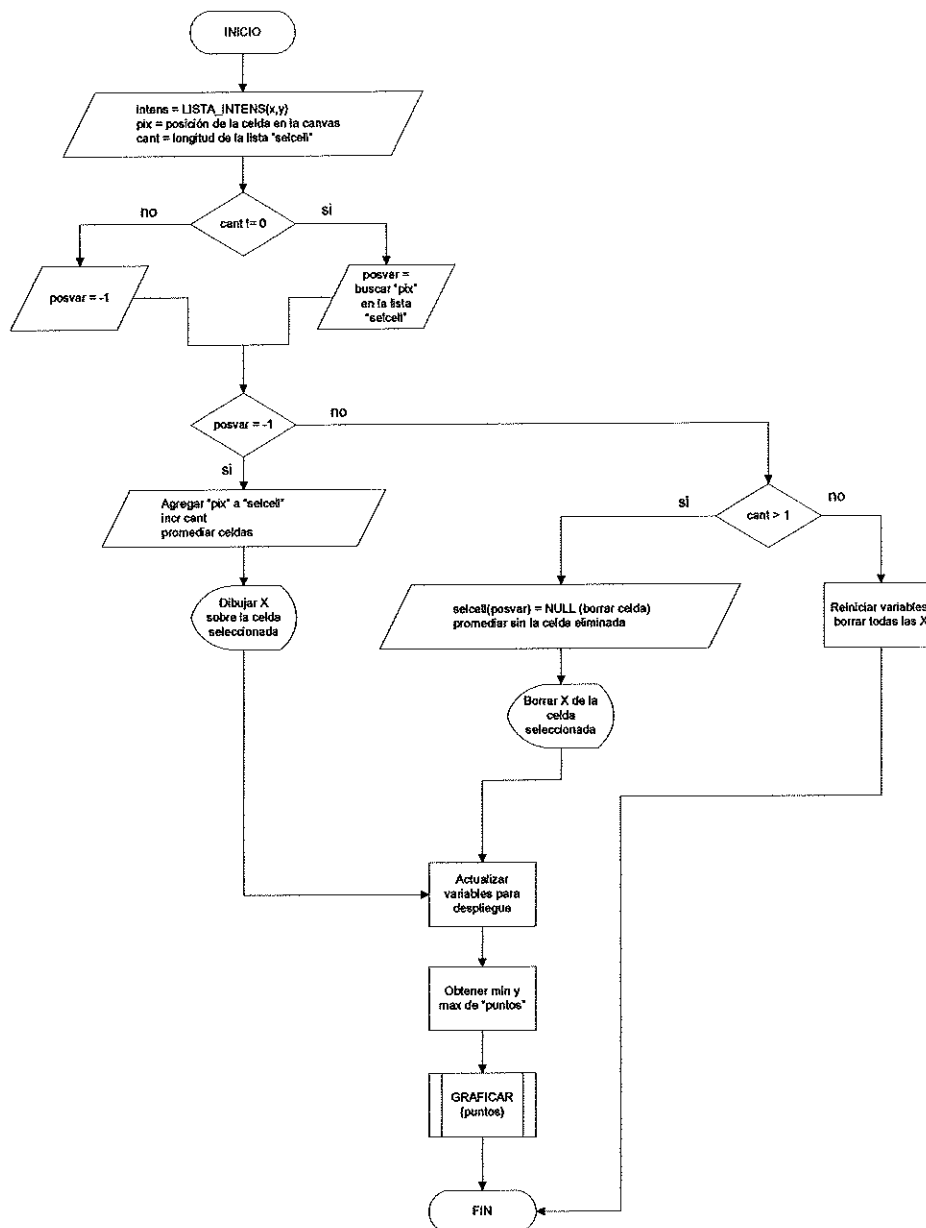


Figura VI.19. Algoritmo para seleccionar las celdas en perfiles de integración.

Sin embargo, el tamaño de la imagen debe ser lo suficientemente grande para permitir que las gráficas se puedan visualizar ya que corresponde una gráfica por cada

pixel (a menos que el usuario indique que las celdas son de otro tamaño). En general, es suficiente con que haya espacio para 25 celdas sobre el eje X (el eje Y es menor así que no hay conflicto). Cuando las celdas son mayores de un pixel cuadrado, se promedian los valores de todos los pixeles dentro de la celda por cada canal y en base a esos valores promediados se dibuja la gráfica.

Una vez que se han desplegado las gráficas sobre la imagen principal, el usuario puede seleccionar una o varias para verlas de manera independiente en la sección destinada para ello. Si son varias, éstas se promedian y el resultado que se visualiza es una sola gráfica promediada. El algoritmo de la Figura VI.19 muestra cómo se seleccionan las celdas; al hacerlo se dibuja una X sobre ellas y al seleccionar dos veces la misma celda se borra la X y se borran sus valores del promedio.

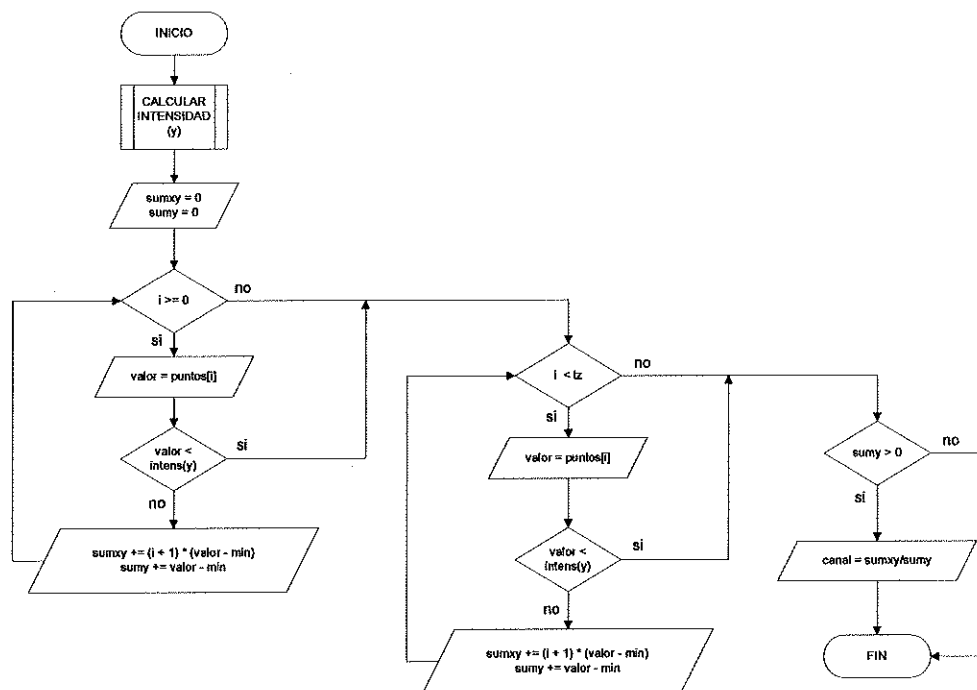


Figura VI.20. Algoritmo para calcular el baricentro de una imagen.

Otra parte importante de los perfiles de integración se ubica sobre la gráfica que se visualiza en la sección independiente. Al pasar el mouse sobre la gráfica, por defecto, se visualizan diversos valores (canal actual, intensidad del canal, velocidad de rotación y longitud de onda). Si el usuario desea ver otro tipo de datos puede presionar el botón *barycenter* con lo cual se activa el módulo descrito por el diagrama de la Figura VI.20. Dependiendo de la posición del mouse, el programa “corta la gráfica” de tal modo que todos los valores que estén dentro del “pico” donde está el mouse se toman en cuenta para determinar la posición promedio, pesada por la intensidad, de la región en cuestión (baricentro).

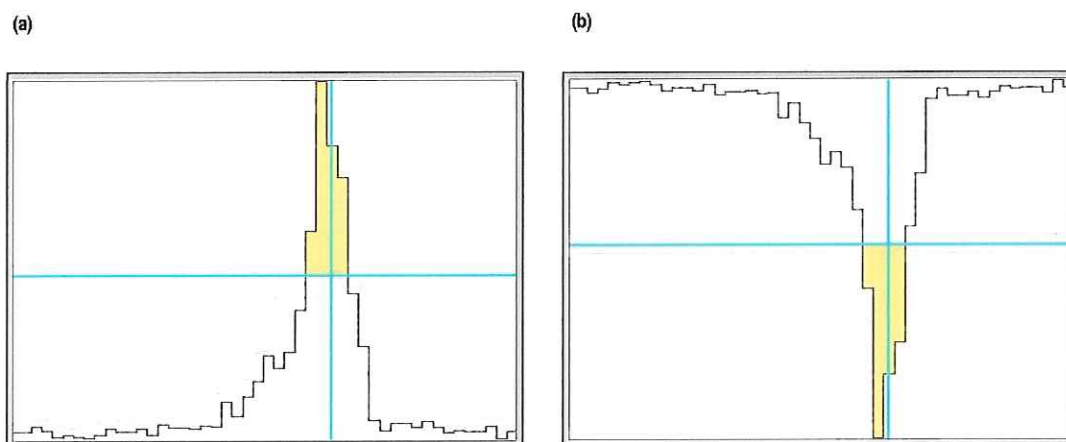


Figura VI.21. Porción de los pixeles considerados para calcular (a) baricentro, (b) absorción.

Otra opción surge al presionar el botón *absorption* con lo cual se realiza una operación similar a la del baricentro pero la diferencia radica que en vez de cortar la gráfica de la línea horizontal hacia arriba, se corta hacia abajo. En la Figura VI.21 se

muestra una comparación entre ambos métodos. Para la absorción no se proporciona un diagrama debido a su gran parecido con el cálculo del baricentro.

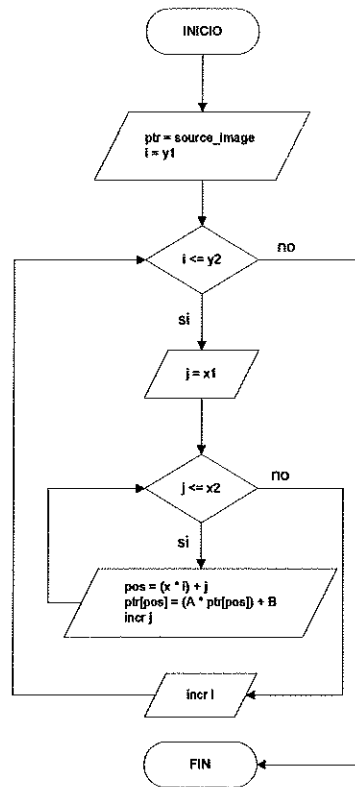


Figura VI.22. Algoritmo para modificación de la imagen.

La modificación de la imagen es una de las operaciones más sencillas que se realizan mediante el sistema ADHOC/. El usuario sólo tiene que especificar el valor de dos variables (A y B) para que el sistema aplique una operación matemática dada por la Ec. VI.1 sobre los pixeles de su elección. El algoritmo de la Figura VI.22 explica la forma en que se cambian los valores de los pixeles mediante la ecuación mencionada.

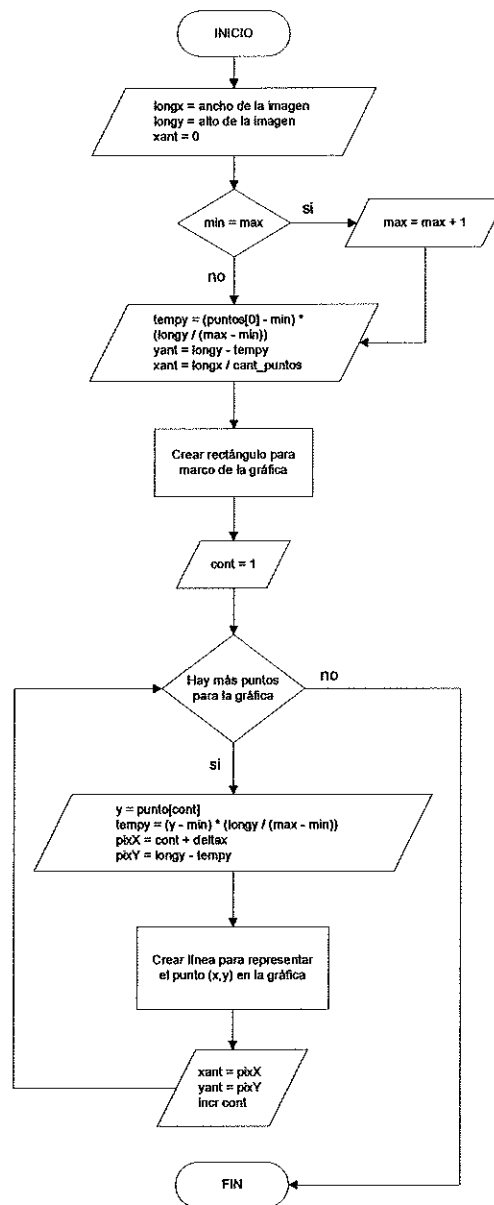


Figura VI.23. Algoritmo para crear una gráfica.

Como se puede notar en la descripción de los diversos algoritmos, la creación de gráficas es una parte fundamental para el desarrollo del sistema. El módulo descrito mediante el diagrama de la Figura VI.23 explica cómo se lleva a cabo el despliegue de

una gráfica. Para ello el módulo recibe la información básica que consiste en una lista de puntos a graficar, así como las dimensiones y el nombre del espacio donde se desplegará la gráfica.

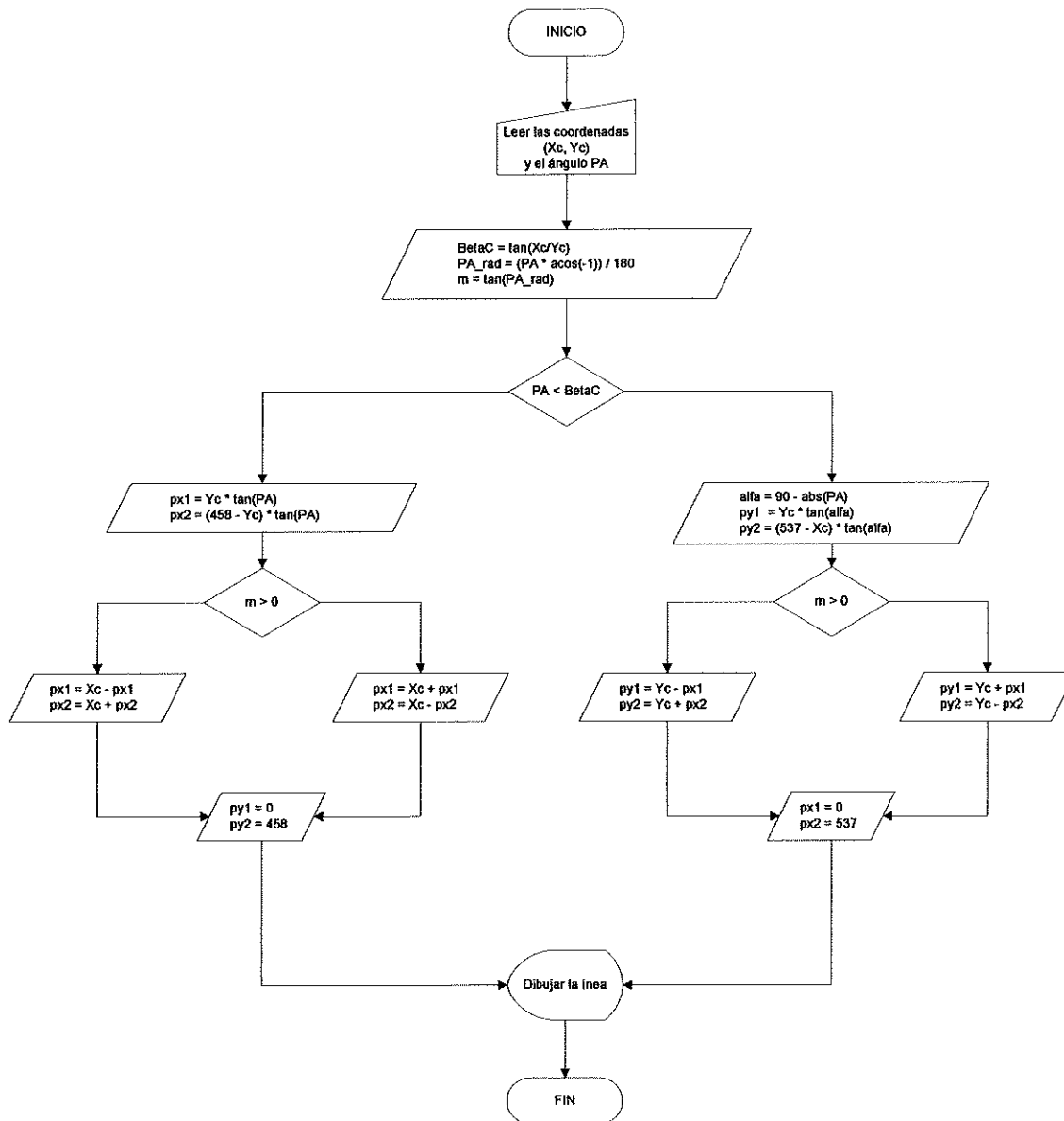


Figura VI.24. Algoritmo para dibujar las líneas que delimitan el área graficable a partir del centro de rotación.

Para obtener una gráfica de velocidades, primero es necesario delimitar el área de la cual se tomarán los puntos graficables. Como muestra el algoritmo de la Figura VI.24, se deben indicar la coordenadas del centro de rotación y el ángulo de posición (PA) que determinarán la ubicación y la apertura del área. Enseguida se realizan algunos cálculos para obtener la pendiente de la recta y, después de determinar los puntos extremos, se despliega la recta en la pantalla.

La Figura VI.25 ilustra a groso modo el procedimiento para obtener una gráfica de velocidades. Mediante un par de ciclos se recorren los pixeles de la imagen con el fin de almacenar en LISTA el conjunto de intensidades correspondientes a aquellos que estén dentro del área delimitada por las rectas creadas mediante el algoritmo de la Figura VI.24. El siguiente paso consiste en evaluar cada punto de LISTA mediante Ec. VI.2 o Ec. VI.3 que se proporcionan en la Sección VI.2.3.2 (el usuario indica el tipo de velocidad que desea obtener, puede ser radial, proyectada o de rotación), los valores nuevos se almacenan en una nueva lista llamada KLISTA. Finalmente, KLISTA se manda al procedimiento encargado de dibujar la gráfica (Figura VI.23).

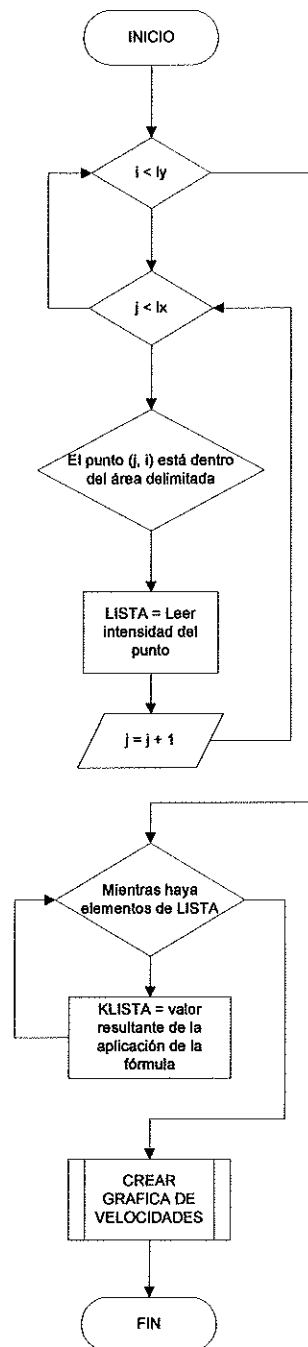


Figura VI.25. Algoritmo para generar una lista de velocidades y crear una gráfica a partir de ella.

CAPÍTULO VII

RESULTADOS

En este trabajo se presentan los resultados del sistema que se desarrolló en un ambiente Linux para visualizar y analizar imágenes en 2 y 3 dimensiones, obtenidas en observaciones con un CCD en un IFPB. Para llegar a un mejor entendimiento del sistema propuesto, primero fue necesario presentar un estudio de las etapas involucradas para lograr que una imagen astronómica se almacene en una computadora.

También se llevó a cabo un estudio de las ventajas que ofrece el sistema operativo Linux, que han propiciado este esfuerzo por crear nuevos sistemas computacionales que funcionen en dicho sistema operativo. Parte del estudio consistió en analizar la creciente necesidad dentro del ambiente científico, en particular la astronomía, por contar con más sistemas multiplataforma. Aún cuando las necesidades se presentan a nivel internacional, se tomó como caso particular el OAN ya que es la institución que se tiene al alcance para dar los primeros pasos que luego permitirán llevar un sistema a otros observatorios en el mundo.

Gran parte de este trabajo consiste en el diseño y desarrollo del sistema, al cual se le ha nombrado ADHOC/. Como producto del cuidadoso diseño, el desarrollo se llevó a cabo sin mayores complicaciones, logrando un sistema atractivo a la vista y sencillo de

usar, con lo cual se logró el objetivo fundamental: proporcionar un sistema amigable y confiable.

Un paso muy importante dentro del proceso de desarrollo fue la aplicación de pruebas al sistema para garantizar a los usuarios un producto estable. En su mayoría, las pruebas fueron exitosas; actualmente, se continúa con una rigurosa revisión de los módulos a fin de no dejar pasar detalles que puedan afectar el desempeño del sistema al manejar datos reales. Por el momento, no se puede asegurar que el sistema funciona en todas las versiones de Linux. Sin embargo, sólo se requiere de pequeños cambios y ajustes para mantener la funcionalidad al pasar de una versión a otra.

VII.1 PROTOTIPO DEL SISTEMA ADHOC_L

En esta sección se presenta una breve descripción de las ventanas diseñadas para servir como prototipo del sistema ADHOC_L. Para obtener información más detallada se puede consultar el manual de usuario (apéndice C).

Como se menciona en varias secciones a lo largo de este documento, la planeación y desarrollo del sistema ADHOC_L se realizó tomando como base un sistema ya existente, así que no es de sorprender que se llame de manera semejante a su antecesor ADHOC_w. Aquellos que conocen el sistema ADHOC_w, observarán en las imágenes presentadas como prototipo, que la apariencia entre los dos sistemas es muy similar, aunque cabe mencionar que en la versión para Linux se ha hecho un esfuerzo por corregir algunos

defectos gráficos que se presentan en la versión para Windows. También es importante comentar que, aunque la idea general se basó en el sistema ADHOC_w, la codificación es producto del trabajo de esta tesis y no fue tomada de la versión para Windows.

Con el objetivo de que la presentación del material sea lo más clara posible, esta sección se ha organizado de la siguiente manera: primero se presenta la imagen de la ventana prototipo, enseguida se proporciona una breve descripción de las funciones de la misma y, finalmente, donde se ha considerado necesario, se hacen algunos comentarios con respecto a su funcionamiento.

1. Ventana inicial

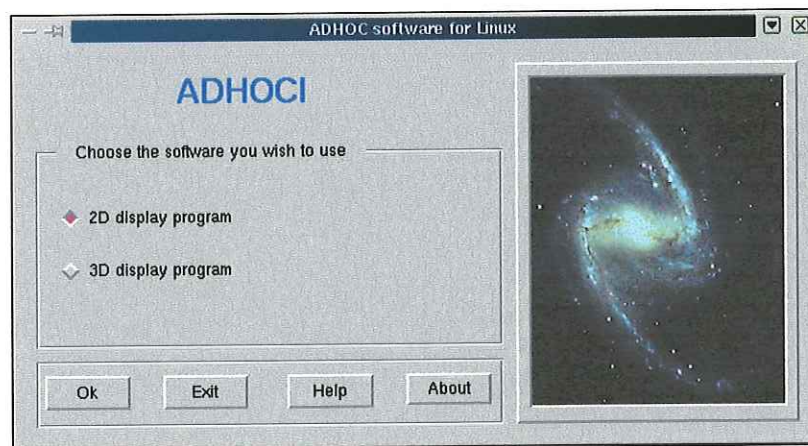


Figura VI.26. Prototipo para el inicio de una sesión ADHOC/.

Descripción:

Al iniciar una sesión aparece la ventana que se muestra en la Figura VI.26. Esta ventana permite elegir el tipo de archivo que se va a abrir, ya sea uno en 2D o uno en 3D (cubo). El tipo de archivo por defecto es el de dos dimensiones. Primero se describirá la opción para dos dimensiones y después se abordará la de tres dimensiones.

Comentarios:

La idea general es la misma tanto en ADHOC_w como en ADHOC_l; sin embargo, ADHOC_w es un sistema compuesto por más de dos subsistemas. Además de los visualizadores, está integrado por otros componentes que permiten reducir la información y realizar operaciones sobre los archivos de datos que complementan la imagen. Por otro lado, ADHOC_l es, por lo pronto, un visualizador compuesto por sólo dos subsistemas: uno que permite visualizar archivos bidimensionales y otro que permite visualizar archivos tridimensionales.

2. Menú inicial del visualizador 2D

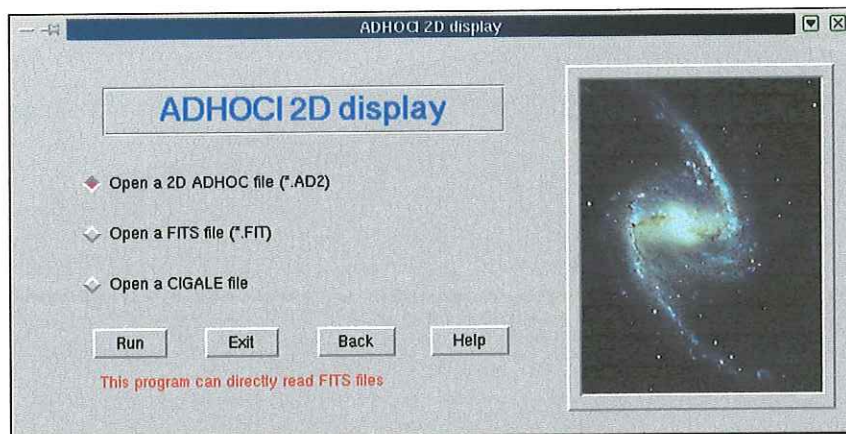


Figura VI.27. Prototipo para abrir un archivo en 2D.

Descripción:

El sistema ADHOC permite, mediante la ventana ilustrada en la Figura VI.27, abrir archivos de dos dimensiones con diversos formatos de los más utilizados en datos de Fabry-Perot. El más importante de ellos es FITS ya que es el más estandarizado alrededor del mundo. Después de elegir el tipo de archivo que se desea abrir, el siguiente paso es presionar el botón *run* para seleccionar el nombre del archivo. Otras opciones para el usuario son: *exit*, que permite al usuario terminar la sesión; *back*, que permite regresar a la ventana anterior (Figura VI.26); y *help*, para abrir el archivo de texto con ayuda sobre el manejo del sistema.

Comentarios:

Al igual que muchos otros módulos, hacen casi lo mismo en ambos sistemas y existen sólo algunas diferencias. Para el prototipo de la Figura VI.27 son dos las diferencias básicas. La primera consiste en la capacidad para regresar a la ventana anterior. En la versión para Windows es necesario terminar la sesión y volverla a iniciar para cambiar de un subsistema a otro (por ejemplo, del visualizador en 2D al de 3D). La otra diferencia importante tiene que ver con los archivos que se pueden visualizar en el sistema. En la versión para Windows existe la opción para abrir archivos ADC que es un formato nativo del sistema cuya principal ventaja es el despliegue de la imagen con los atributos y modificaciones de la última sesión. En el sistema ADHOC_I no se incluye esta opción, solamente se soportan los otros formatos nativos de ADHOC_w que son AD2 y AD3.

3. Ventana general del visualizador 2D

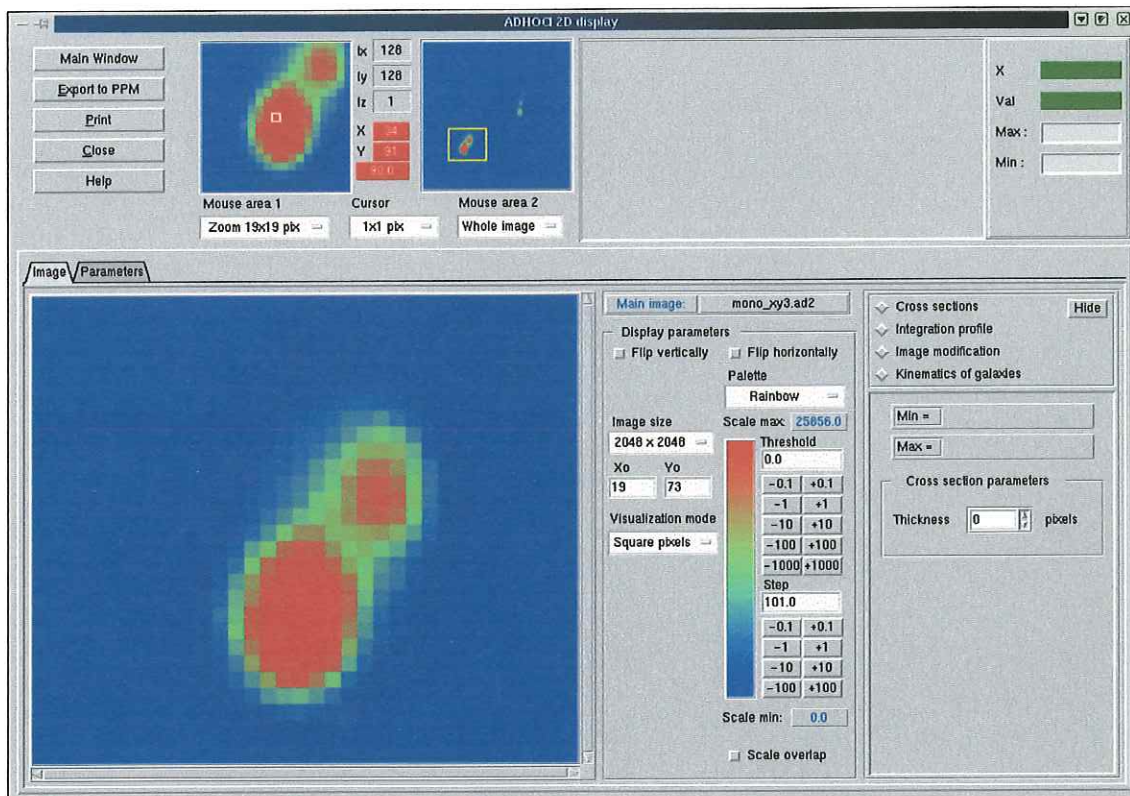


Figura VI.28. Prototipo para la ventana principal de ADHOC/.

Descripción:

La Figura VI.28 nos muestra la ventana principal para la visualización de imágenes en 2D. En ella hay varias secciones que son de importancia:

-
- 📌 **Botones.** La sección de botones brinda opciones para imprimir la imagen, regresar al menú principal (Figura VI.26), guardar la imagen en disco o terminar la sesión de ADHOC/.
 - 📌 **Imagen aumentada (mouse area 1).** Esta zona de la ventana permite al usuario ver el área de 19x19 pixeles de la imagen bajo el cursor del mouse, con una ampliación de 8 veces el tamaño original.
 - 📌 **Imagen completa (mouse area 2).** Esta zona contiene la imagen completa en un área de 148x148 pixeles. En ella el usuario puede mover el pequeño rectángulo (cuando la imagen principal ha sido aumentada y no se puede visualizar completa en el *canvas*) para posicionarse en una determinada ubicación de la imagen.
 - 📌 **Gráficas.** Al lado derecho de la imagen completa hay un rectángulo que se utiliza básicamente para dibujar gráficas generadas por los diversos módulos del sistema.
 - 📌 **Despliegue de la imagen.** En la pestaña *image* se encuentra una gran porción destinada a lo que es el despliegue de la imagen, la cual se puede modificar de acuerdo a las opciones presentadas en las otras secciones de la ventana principal.
 - 📌 **Parámetros de despliegue.** Los parámetros de despliegue determinan la forma en que se visualizará la imagen. Las opciones son: tamaño de la imagen, paleta de colores, umbrales (límite superior e inferior para la escala de intensidades), coordenadas (X_0 , Y_0) que se desplegarán en la esquina superior izquierda (utilizado sobre todo cuando la imagen no cabe en el *canvas*), traslape de la escala de colores y orientación de la imagen (horizontal y vertical).

 **Acciones.** En esta sección de la ventana se localizan unos botones que permiten seleccionar una de las cuatro acciones que se pueden realizar sobre la imagen: secciones cruzadas, integración de perfiles, modificación de la imagen y cinemática de galaxias. Este recuadro se puede ocultar, de ser necesario, para poder visualizar todas las opciones disponibles para la acción seleccionada.

Comentarios:

Para esta ventana de ADHOC_I se omitieron algunas opciones que forman parte de ADHOC_w. Entre ellas se cuentan la capacidad de desplegar la imagen suavizada y la imagen con isofotas. También se omitió un botón cuya función es actualizar la imagen debido a que en ADHOC_I la imagen se actualiza automáticamente al efectuar cualquier operación.

ADHOC_w es un sistema que está evolucionando constantemente. Dentro de las acciones que pretende realizar se encuentra también la edición de la imagen, esto es, sobreponerle texto y figuras para su impresión en artículos realizados por los usuarios, además del despliegue de histogramas. En el siguiente capítulo se hablará sobre los proyectos a futuro para ADHOC_I, los cuales están ligados de alguna manera con los objetivos de ADHOC_w.

4. Secciones Cruzadas

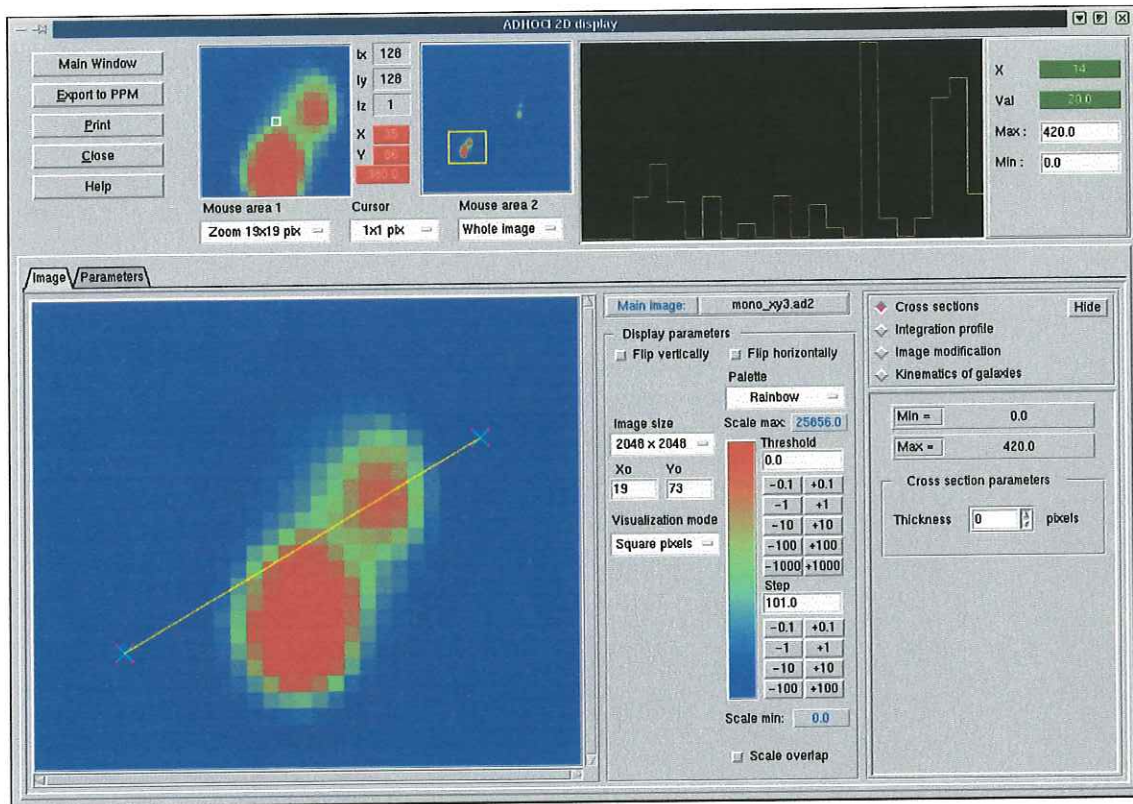


Figura VI.29. Prototipo para secciones cruzadas.

Descripción:

Al seleccionar el botón de secciones cruzadas (*cross sections*) el sistema permite al usuario marcar dos puntos dentro de la imagen. Esos puntos sirven como extremos para el despliegue de una recta. Mediante el uso de la ecuación de la recta, se obtienen los valores intermedios de la misma para recuperar con ellos los datos almacenados en la memoria compartida y crear una gráfica de las intensidades existentes a lo largo de la recta. Al lado derecho de la gráfica aparecen los valores máximo y mínimo los cuales

pueden ser modificados manualmente, reflejando automáticamente el cambio sobre la gráfica. El usuario también puede revisar el valor de cada punto de la recta, pasando el mouse sobre la gráfica, en cuyo caso se muestra la posición X y su correspondiente intensidad. En este módulo el usuario puede establecer el grosor de la línea en términos de pixeles. La Figura VI.29 muestra dos puntos que han sido seleccionados. Uniendo las dos cruces hay una línea amarilla. En la parte superior derecha está la gráfica de puntos con fondo negro y la información de la gráfica (X, Val, Max, Min).

5. Perfiles de integración

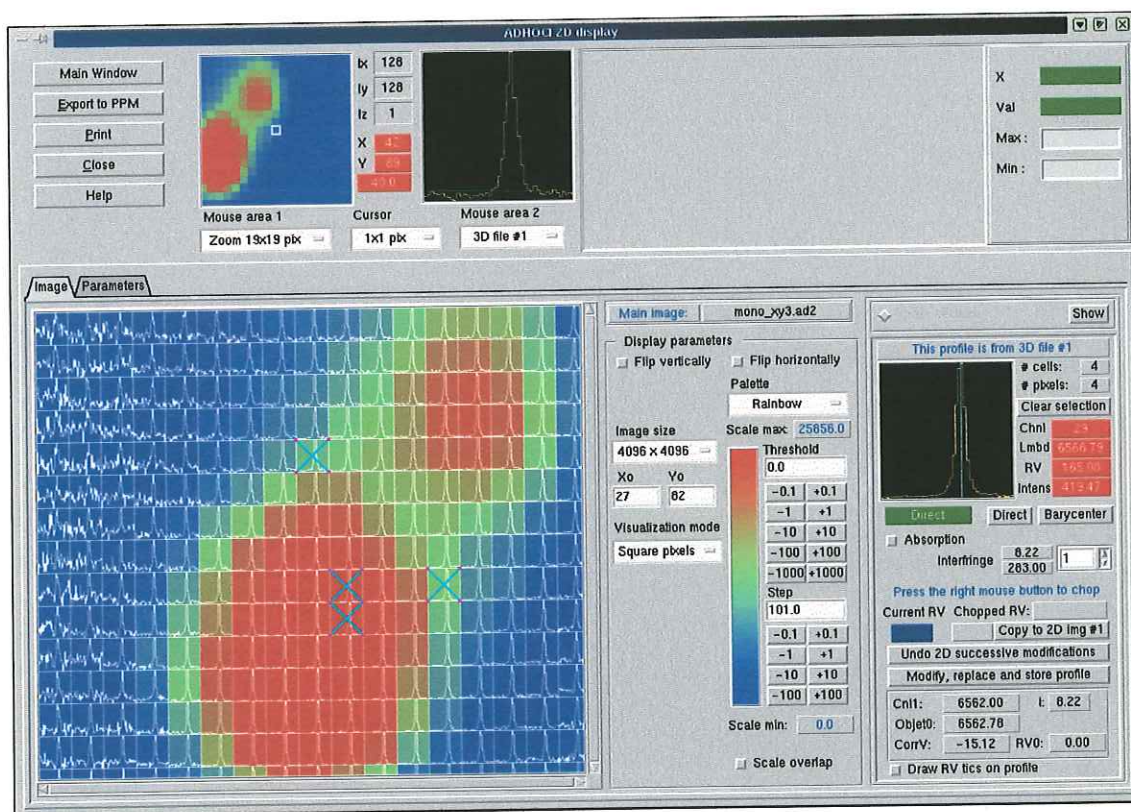


Figura VI.30. Prototipo para perfiles de integración.

Descripción:

Al seleccionar la opción para perfiles de integración (*integration profile*) aparecen los objetos gráficos ilustrados en la parte derecha inferior de la Figura VI.30. Para poder activar esta parte del sistema, es necesario abrir una imagen en 3D. Esto resulta una operación sencilla utilizando las herramientas que se muestran en la Figura VI.34. Una vez abierto el archivo en 3D, se despliegan automáticamente sobre la imagen principal las gráficas de los perfiles de cada celda (el usuario establece el tamaño de la celda que por defecto es de un pixel cuadrado). La imagen debe estar lo suficientemente amplificada para permitir este despliegue; de lo contrario, las gráficas no se pueden apreciar adecuadamente. Una gran ventaja de este despliegue es la posibilidad de seleccionar celdas individuales para su análisis. Se marcan una por una y conforme aumenta la cantidad de celdas seleccionadas se genera un promedio de las mismas. La gráfica con los valores promediados se despliega en la pestaña correspondiente a los perfiles de integración, mientras que en el espacio para la imagen completa (*mouse area 2*) se despliega la gráfica normal del pixel sobre el que se encuentra el cursor del mouse.

En la misma pestaña se puede observar información diversa relacionada con el perfil que se está desplegando en forma de gráfica. Los valores individuales de cada punto de la gráfica se pueden consultar con sólo pasar el mouse sobre la misma.

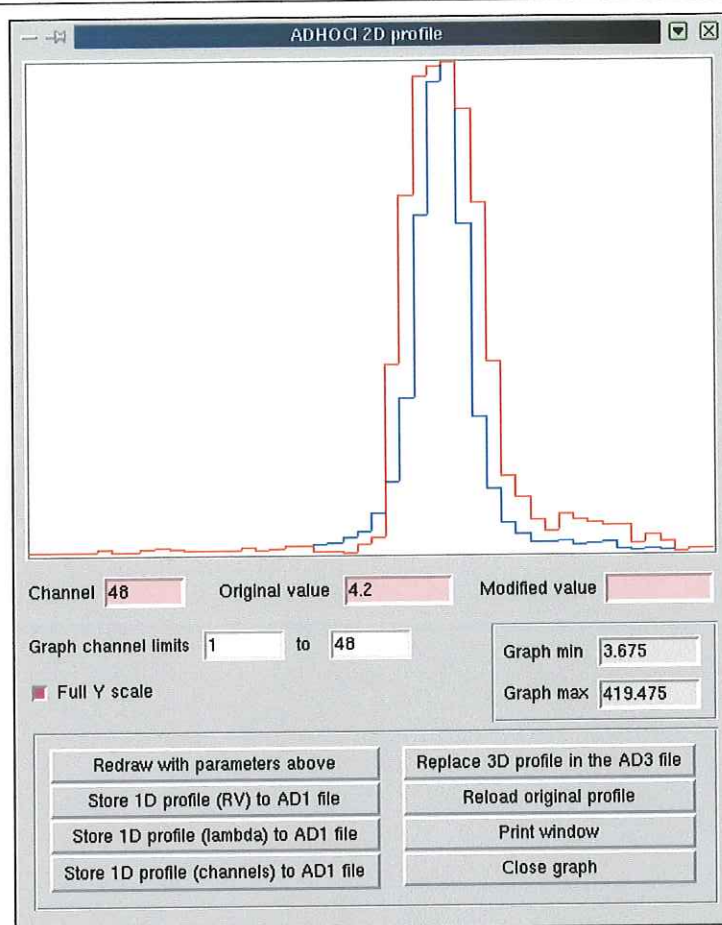


Figura VI.31. Prototipo de la ventana para modificar un perfil.

Dentro de las acciones que se pueden efectuar sobre los perfiles de integración, existe la de modificar y almacenar la gráfica y sus valores. Esto se logra a través del botón *modify, replace and store profile*, ilustrado en la Figura VI.30. Después de presionar el botón aparece la ventana que se observa en la Figura VI.31. En ella se despliega una versión amplificada de la gráfica de perfiles y permite al usuario mover las líneas para hacer sus interpretaciones de los datos. También presenta espacios de despliegue para mostrar los valores de los diferentes puntos de la gráfica, así como la

posibilidad de elegir la cantidad de canales que se desea graficar y el valor mínimo y máximo que se visualizará dentro del cuadro. El sistema permite deshacer todos los cambios realizados a la gráfica, almacenar la información en disco o reemplazar, en el archivo en 3D, los datos originales con los datos modificados.

6. Modificación de la imagen

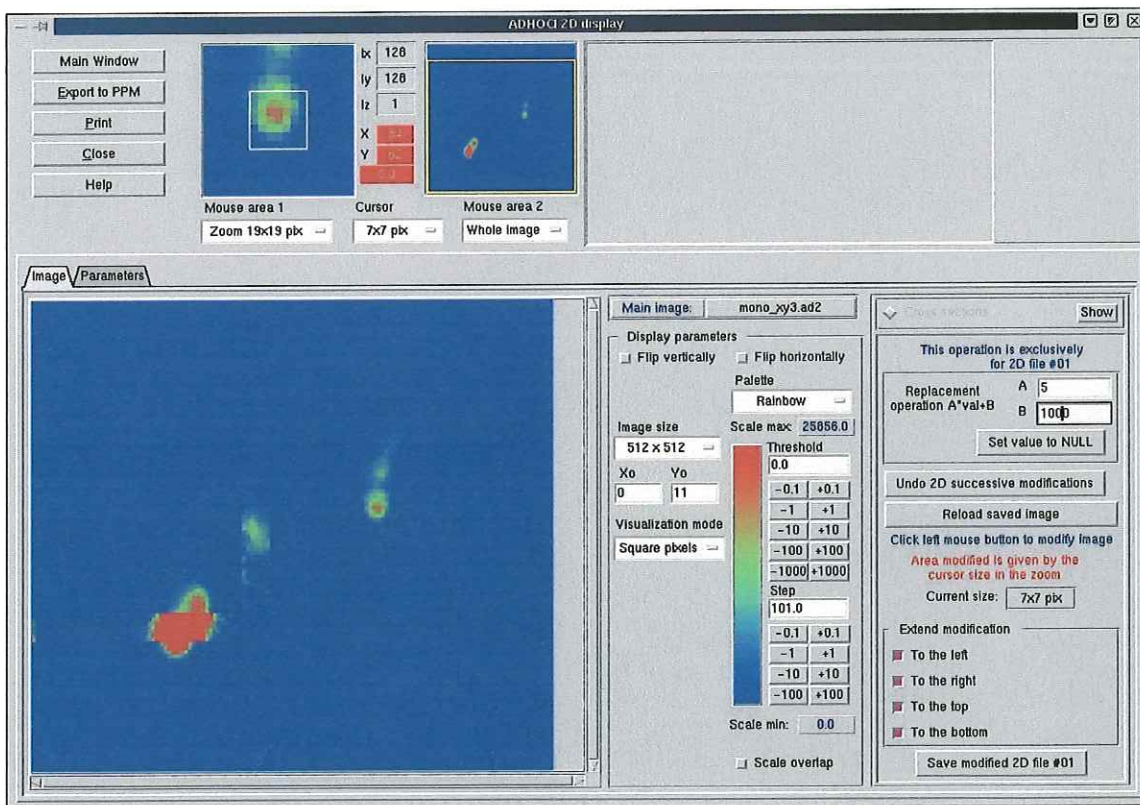


Figura VI.32. Prototipo de la ventana para la modificación de la imagen.

Descripción:

La siguiente acción que realiza el sistema ADHOC/ es la modificación de la imagen (*image modification*) y consta de opciones muy simples (ver Figura VI.32). Por medio de botones de selección (*checkboxes*) el usuario determina si desea modificar un pixel o toda la columna hacia la derecha, izquierda, arriba, abajo o una combinación de éstas. Mediante el menú *cursor* ubicado en la parte superior de la ventana principal se determina el tamaño de la celdas seleccionadas (de 1 a 19 pixeles cuadrados).

La modificación del valor de los pixeles se efectúa aplicando la Ec. VI.1 de la Sección VI.2.3.2, que aparece en uno de los recuadros para la modificación de la imagen. Los valores por defecto son $A = 1$ y $B = 0$, con los cuales la imagen no sufrirá cambio alguno si el usuario selecciona las celdas.

En esta sección existe la oportunidad de deshacer hasta 20 cambios o guardar en un archivo la nueva imagen.

7. Cinemática de galaxias

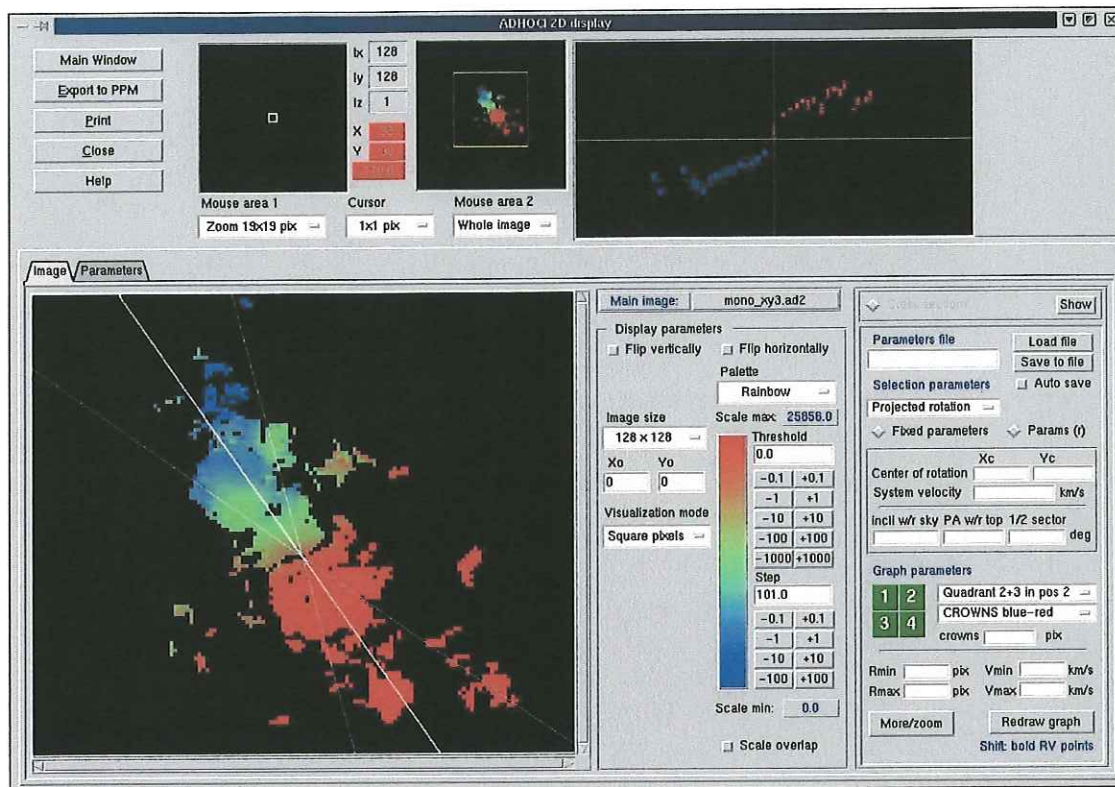


Figura VI.33. Prototipo de la ventana para *cinemática de galaxias*.

Descripción:

En la Figura VI.33 se muestra la apariencia de la ventana para la cinemática (*kinematics of galaxies*). El usuario debe introducir diversos datos que permitirán al sistema establecer un sector de la imagen, del cual se tomarán algunos valores para generar gráficas de velocidades y de intensidad, según se indique. Una vez creada la gráfica (en la parte superior derecha de la ventana) se pueden explorar los valores recorriendo con el cursor el sector seleccionado de la imagen 2D, mientras que un

segundo cursor, desplegado sobre la gráfica, muestra de manera visual la correspondencia entre los puntos de la gráfica y la imagen.

8. Pestaña de parámetros

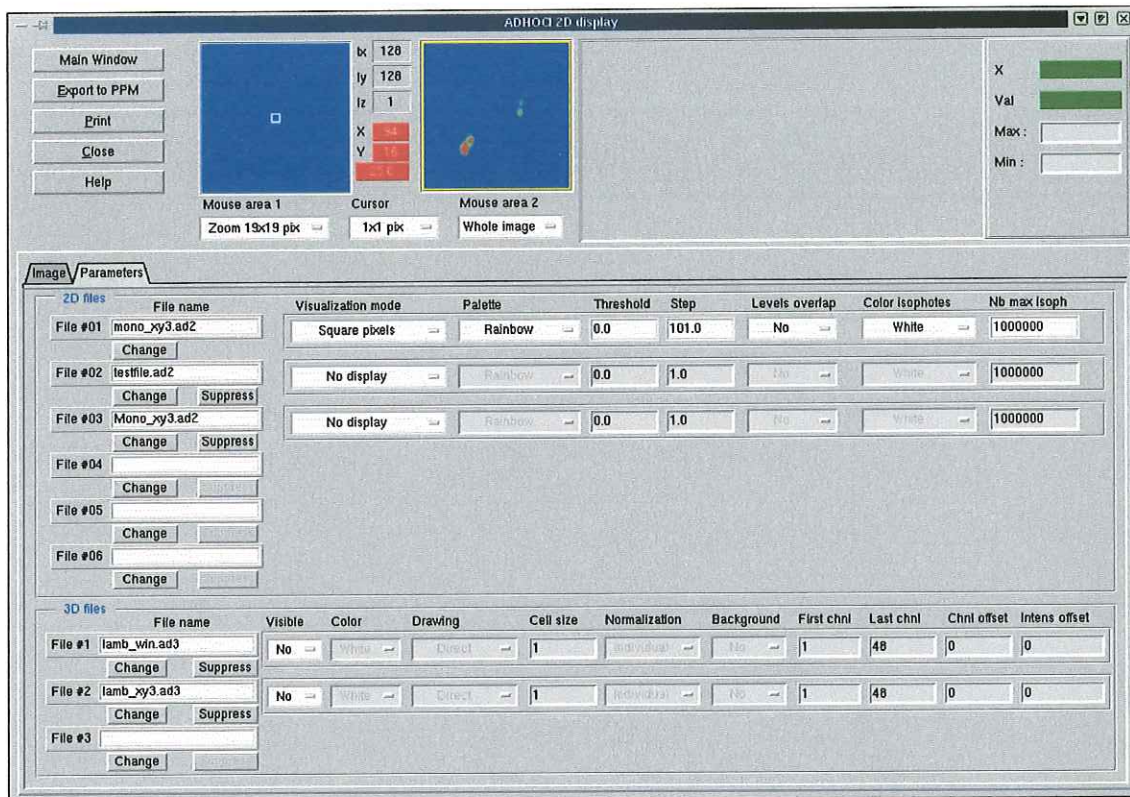


Figura VI.34. Prototipo de la ventana para la pestaña de parámetros.

Descripción:

Por último, la Figura VI.34 muestra la pestaña de parámetros. En ella se localiza información referente a los archivos abiertos. Como se puede observar, el sistema

ADHOC/ permite abrir hasta seis archivos en 2D, los cuales se pueden desplegar uno a la vez, y hasta tres archivos en 3D. Los archivos en 3D no se pueden visualizar en este módulo del sistema ADHOC/; más adelante se describen las ventanas que permiten realizar esta función. El propósito de abrir archivos en 3D consiste en permitir el despliegue de perfiles sobre la imagen 2D (teóricamente, los archivos 3D y 2D están relacionados y las gráficas de perfiles arrojan información útil para interpretar la imagen 2D).

9. Ventana principal del visualizador 3D

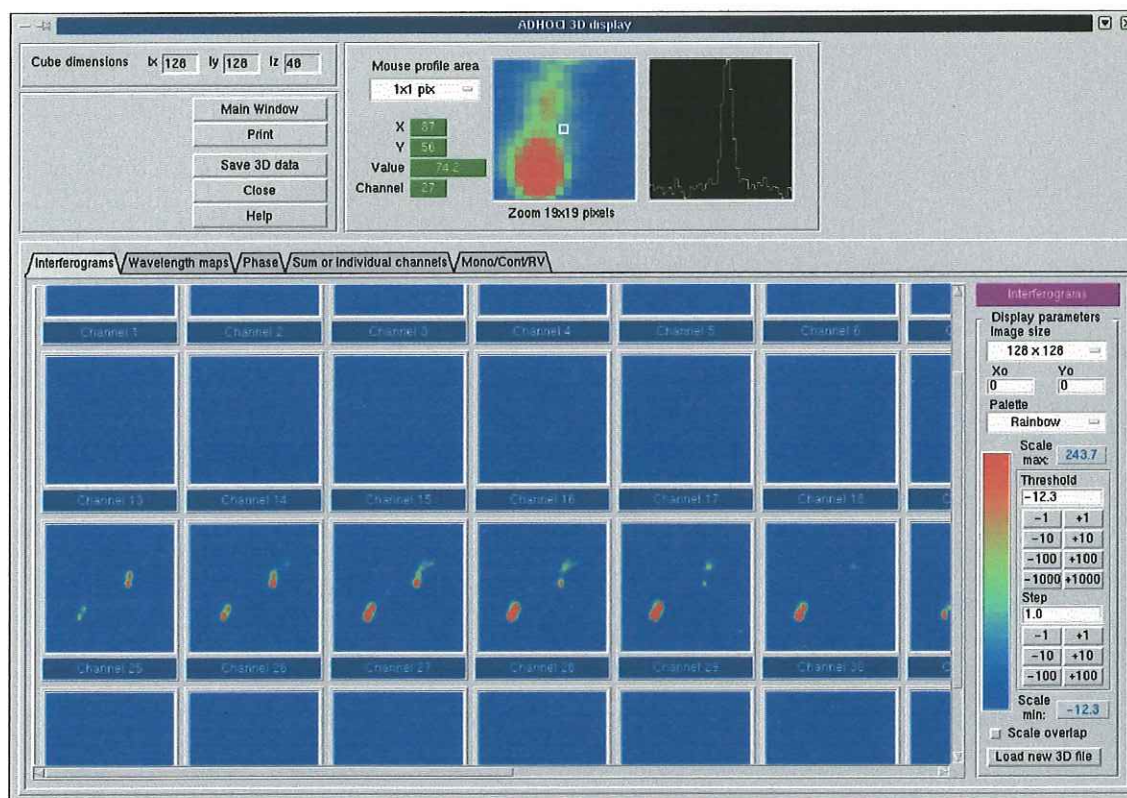


Figura VI.35. Prototipo de la ventana para el despliegue de cubos (imágenes 3D).

Descripción:

En la Figura VI.35 se muestra la ventana principal del visualizador de imágenes 3D o cubos. El concepto es semejante al del visualizador para 2D. En la parte superior, empezando del lado izquierdo, se despliega información sobre las dimensiones del cubo y cuenta con botones para realizar las tareas de regresar al menú anterior, imprimir, guardar la información, cerrar la sesión y abrir el archivo de ayuda.

Un poco más a la derecha se encuentran dos espacios. El primero se utiliza para mostrar una porción de la imagen aumentada 8 veces; el segundo está reservado para la visualización de gráficas de perfil, las cuales se van generando conforme el mouse pasa sobre cada punto de una imagen.

En el espacio vacío de la derecha se despliega información y objetos gráficos requeridos en las diversas pestañas del visualizador 3D.

En la pestaña *interferograms* ilustrada en la Figura VI.33 se puede apreciar la forma en que se visualiza un cubo. Las acciones que se pueden realizar sobre estos datos están ubicadas en la parte derecha de la pestaña y básicamente consisten en la manipulación de la imagen (cambio de paleta de colores, tamaño de la imagen y umbrales, etc.).

10. Despliegue de canales individuales

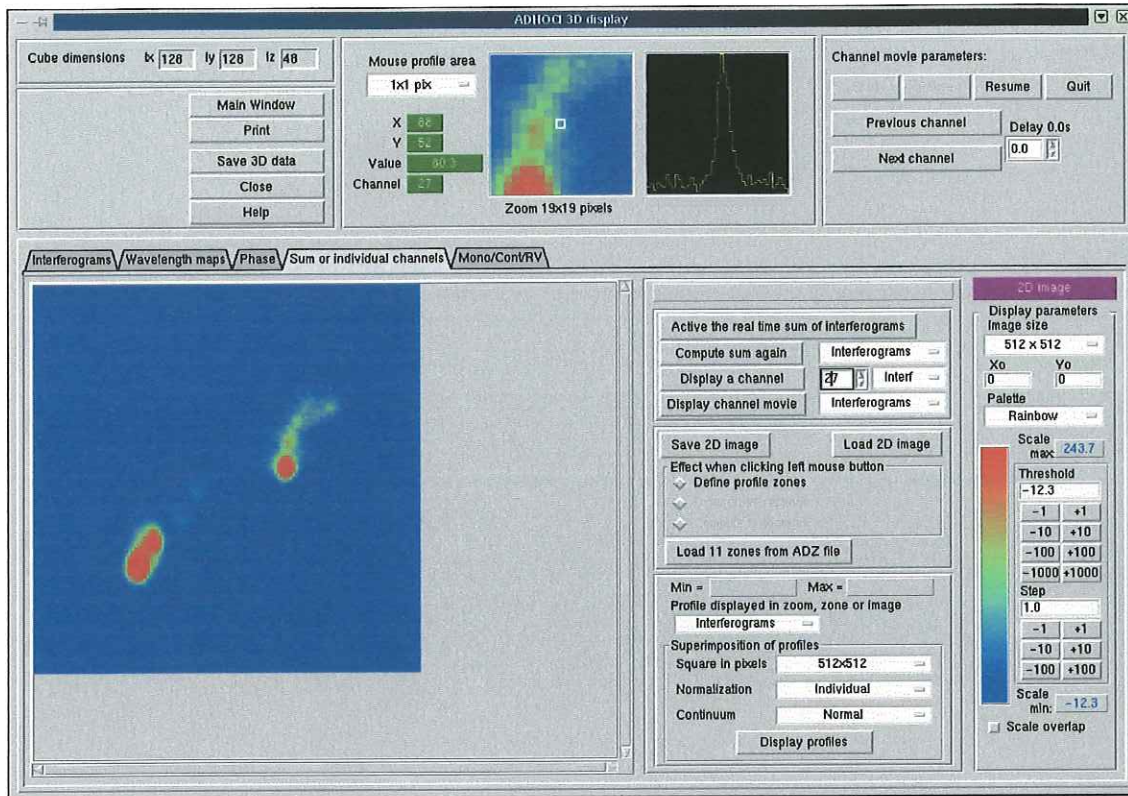


Figura VI.36. Prototipo de la ventana para la pestaña utilizada en el despliegue de un canal individual o suma de todos los canales.

Descripción:

La Figura VI.36 muestra las funciones de la pestaña *sum or individual channels* (despliegue principal en 2D). Esta parte está íntimamente ligada a la pestaña de interferogramas. Se pueden abrir archivos en 2D, pero la idea principal es visualizar uno por uno los canales del interferograma actualmente en despliegue.

Otras acciones que permite realizar son: hacer la suma de todos los canales y almacenarlos en un archivo de 2D y desplegar una película de los canales. Igual que en el resto de las pestañas, se pueden realizar cambios sobre la imagen (umbrales, paleta de colores, tamaño del despliegue, etc.).

VII.2 PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA ADHOC/

a) Compatibilidad con otros sistemas

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el sistema creado como producto de este trabajo de tesis, ADHOC/, tiene la intención de ser compatible con otros sistemas semejantes, por lo tanto debe manejar archivos con formatos conocidos. Entre los diversos formatos existentes para el almacenamiento de datos astronómicos de interferómetros de Fabry-Perot, se eligieron tres que son de los más usados en muchos observatorios alrededor del mundo: ADHOC (AD2, AD3), CIGALE y FITS. Aunque el sistema ADHOC_w genera más tipos de formatos para almacenar otra clase de información inherente a la imagen, se consideraron más indispensables los antes mencionados. Para los propósitos del OAN-SPM, cuyas necesidades son las que se pretende cubrir en este momento, es suficiente debido a que CIGALE y FITS son los formatos con los que se capturan inicialmente las imágenes.

Para verificar que el sistema ADHOC/ funcionara adecuadamente, se obtuvieron varias imágenes con los formatos mencionados en el párrafo anterior. Después de un intenso uso del programa se pudo asegurar que la apertura y manejo de los archivos fuera correcta.

b) Compatibilidad con el sistema operativo

Otro punto importante que se probó fue la compatibilidad con diversas versiones de Linux, así como ambientes gráficos, que actualmente se usan en San Pedro Mártir (SPM). Para la realización de estas pruebas fue necesario llevar el sistema a SPM e instalarlo en varias máquinas con diferentes características. Para las pruebas se utilizaron distribuciones de Slackware de Linux, que son las que regularmente se utilizan en el OAN-SPM; en un futuro se probará con distribuciones de Red Hat y SuSE. En la Tabla VI.III se presentan los resultados de compatibilidad obtenidos.

PRUEBA REALIZADA	FUNCIONA	COMENTARIOS
Linux 2.2.16	SI	
Linux 2.4.20	SI	
Linux 2.4.22	NO	Se está trabajando para eliminar la dependencia
KDE	SI	
Gnome	SI	
Wishx 8.3	SI	
C++	SI	

Tabla VI.III. Resultados de compatibilidad obtenidos en SPM.

Aunque en la tabla anterior se puede observar que el sistema no funcionó bajo todas las circunstancias que se probaron, no significa que la limitación sea definitiva, simplemente se requerirá de un poco de trabajo posterior para hacer los ajustes necesarios en el código que permitan que funcione en esos casos, pero esa parte no se abarcará en este trabajo.

c) Robustez

Un aspecto muy importante al momento de entregar un sistema para su uso definitivo dentro de una institución o empresa, consiste en garantizar la robustez del mismo. Es vital asegurar que los datos arrojados, como resultado del uso del sistema, sean los correctos y que al momento de manipularlos, el programa no falle ni se corrompa la información. Por lo mismo, se hicieron múltiples pruebas del sistema a lo largo de una jornada intensiva en la que se le dio uso continuo durante varios días para verificar minuciosamente cada función, obteniendo los resultados siguientes:

PRUEBA APLICADA	FUNCIONA	COMENTARIOS
Inicio y salida de una sesión	SI	Se practicó intensivamente el inicio y salida del sistema, bajo diversas circunstancias: sin manejar las imágenes, después de realizar operaciones y en medio de algún proceso. En todos los casos se obtuvo una respuesta exitosa, sólo en los casos

		donde había un proceso en ejecución (por ejemplo, despliegue de los perfiles de integración sobre la imagen), el sistema tiene que esperar a que acabe el proceso para poder salir de la sesión.
Apertura de múltiples archivos en 2D y 3D simultáneamente	SI	En el visualizador para 2D se llevó a cabo la apertura de 6 archivos de 2D y 3 archivos de 3D de manera simultánea sin problema alguno.
Apertura y cambio de un archivo a la vez	SI	Después de abrir algunos archivos, se suprimieron en numerosas ocasiones y luego se reabrieron los mismos o se abrió algún otro archivo en su lugar. No se presentaron fallas.
Mensajes de error	AUN ESTA EN DESARROLLO	Aparecen oportunamente cuando se presenta un error. Aún falta agregar mensajes de error ya que no se han cubierto todos los errores posibles que se puedan presentar en el futuro.
Generación de gráficas para Secciones Cruzadas	EN ALGUNOS CASOS	La creación de gráficas se ha llevado con éxito para los casos donde el grosor de la línea es igual a cero (lo cual significa 1 en términos del sistema) o si es mayor que cero y la línea se dibuja en forma vertical u horizontal. Se genera error cuando el grosor es mayor que cero y la línea se dibuja inclinada. Este módulo aún sigue en revisión.
Generación de gráficas para Perfiles de Integración	SI	Se probó el despliegue de perfiles sobre la imagen principal con diferentes archivos en 3D y en todos los casos aparecieron sin problema. También se verificó que funcionara el despliegue de perfiles según el movimiento del cursor sobre la imagen, con resultados positivos.
Modificaciones al perfil independiente	SI	Todas las modificaciones realizadas sobre el perfil actual se desarrollaron sin problema. El manejo del mouse para modificar los valores de la gráfica resultó ser útil, amigable y confiable.
Cambio de pixeles mediante	SI	Se aplicaron cambios a diversas imágenes y no se presentaron

Modificación de la Imagen		problemas. El sistema permite deshacer hasta 20 acciones sin complicación.
Cinemática de las galaxias	AUN ESTA EN DESARROLLO	Por el momento, sólo se pueden visualizar las líneas que delimitan el área que se graficará. Sin embargo, falta desarrollar lo correspondiente a la lectura de los puntos y la aplicación de las ecuaciones para formar la gráfica de velocidades.
Cambios en los parámetros de despliegue	SI	Se aplicaron cambios en los parámetros de despliegue (orientación, paleta de colores, tamaño y umbrales de la imagen) de forma intensiva. No hubo problemas.
Manejo de datos en memoria compartida	SI	Cada vez que se abre un archivo, se manipula y se cierra; lo mismo ocurre con el manejo de la memoria compartida: se abre, se lee/escrbe y se cierra. En ocasiones se presentaron errores pero fueron manejados oportunamente mediante ventanas de diálogo del sistema, el cual seguía funcionando adecuadamente. En particular, los errores más comunes son la falta de memoria para almacenar una imagen nueva o la lectura de un bloque fuera del área reservada.
Respuesta al movimiento del mouse	SI	Se efectuaron diversos tipos de pruebas para determinar si las acciones del mouse eran correctas y se llegó a los siguientes resultados: El movimiento del mouse detectaba adecuadamente la posición actual sobre la imagen principal, con lo que se puede localizar el punto (X, Y) vital para la mayoría de las operaciones realizadas por el sistema (lectura de memoria compartida, generación de gráficas, movimiento de la imagen aumentada, etc.). Las acciones de las teclas funcionaron correctamente, respondiendo a las operaciones que le correspondía llevar a

		cabo según el módulo elegido por el usuario.
Manejo de los botones en la interfaz gráfica	SI	Todos los botones activos fueron revisados y probados. En cada caso, se obtuvieron las ventanas de diálogo, valores numéricos o acciones correspondientes, sin problema alguno.
Validación de tipos de datos que se pueden introducir en las cajas de texto	SI	Todas las cajas de texto fueron validadas de tal forma que, aunque el usuario del sistema se equivocara, no se produjera un error debido a valores no compatibles (por ejemplo, si el usuario introduce una cadena de caracteres donde debería introducir un número entero). En caso de una equivocación, incluso si el usuario deja la caja vacía, el sistema se encarga de asignar un valor por defecto que le permita realizar las operaciones.

Tabla VI.IV. Resultados de las pruebas aplicadas al sistema ADHOC_I.

Los resultados de la Tabla VI.IV corresponden a ambos visualizadores, tanto 2D como 3D; debido a su enorme parecido se aplicaron pruebas semejantes y se obtuvieron los mismos resultados ya que comparten las rutinas. Para contar con un marco de referencia en cuanto a la veracidad de los datos desplegados y la confiabilidad de las operaciones realizadas sobre las imágenes, se compararon los datos obtenidos en ADHOC_I con los de ADHOC_w y en todos los casos los datos fueron iguales. En algunas secciones donde se detectaron errores cometidos por ADHOC_w, se efectuó la corrección en ADHOC_I. Un ejemplo de lo anterior se localizó al momento de cambiar la orientación de la imagen (horizontal o vertical); en ADHOC_w se visualizan las

intensidades de los pixeles como si la imagen siguiera en su posición original; en ADHOC_I se implementó el módulo de manera que este defecto ya no se presentara.

d) Complejidad del sistema desarrollado

Cabe mencionar que en su etapa actual el sistema es, básicamente, un visualizador de imágenes y hay algunas funciones que realiza ADHOC_w que no han sido incorporadas por el momento en ADHOC_I. Aunque ADHOC_I no tiene que realizar estrictamente todas las funciones contenidas en ADHOC_w éste último es, como ya se dijo en la etapa de diseño, un modelo adecuado a seguir.

A continuación se presenta un listado de las diferencias entre los dos sistemas y también se mencionan algunas características que se podrían incorporar en la versión para Linux solamente.

CARACTERÍSTICA	ADHOC _w	ADHOC _I
Exportación de imágenes	Se hace en BMP debido a su fácil manejo con las herramientas estándar que contiene Windows.	Se hace en PPM ya que en Linux es un formato que se maneja ampliamente y además es sencillo de implementar.
Regreso al menú principal	Este sistema no permite al usuario regresar al menú anterior. En caso de equivocarse en su elección o desear cambiar de un subsistema a otro, deberá terminar su sesión actual y comenzar una nueva.	El sistema está dotado de botones que permiten al usuario regresar al menú anterior o al menú principal en cualquier momento.
Despliegue de isofotas	Existe una opción para dibujar isofotas sobre la	Actualmente no se ha integrado esta

	imagen.	característica, aunque se tiene presente como un trabajo que se realizará posteriormente.
Edición de las imágenes con texto y herramientas para dibujar	En la versión más nueva se ha incorporado un conjunto de herramientas que permiten la edición de imágenes, agregando texto, figuras y colores.	Aún no se agrega esta característica.
Pestañas del visualizador 3D	Contiene 5 pestañas que son: <i>interferograms</i> , <i>wavelength maps</i> , <i>sum or individual channels</i> , <i>phase</i> , <i>mono/cont/RV</i> .	Por el momento contiene 2: <i>interferograms</i> y <i>sum or individual channels</i> . Las otras 3 están en etapa de desarrollo y no se cubren en este trabajo de tesis. Las funciones de las pestañas faltantes son muy similares a lo expuesto en el resto del sistema; se manejan mapas de velocidad y despliegue de imágenes en 2 y 3 dimensiones, así como isofotas y perfiles, entre otras cosas.
Botones para actualización de la imagen	Cuando el usuario efectúa una modificación, principalmente en los parámetros de despliegue, se requiere del uso de un botón de actualización para hacer visibles los cambios.	No tiene botones. Las modificaciones son visibles automáticamente después de que el usuario introduce la información necesaria.
Formato para el almacenamiento de las imágenes	Maneja los formatos FITS, CIGALE y tiene sus propios formatos AD2, AD3 y ADC, entre otros.	Actualmente maneja los mismos formatos mencionados para ADHOC _w , excepto ADC. En un futuro se espera contar con un formato propio y la opción se está estudiando.

Tabla VI.V. Diferencias entre ADHOC_w y ADHOC_l.

VII.3 APLICACIONES

El sistema ADHOC/ es una herramienta para ayudar al astrónomo a interpretar la información obtenida mediante sus observaciones en un interferómetro de Fabry-Perot. Algunas de las operaciones que se pueden realizar son la visualización y manipulación de las imágenes (aplicando diferentes escalas de color, cambiando la orientación de la imagen, etc.). El hecho de poder realizar operaciones aritméticas sobre la imagen permite hacer correcciones fotométricas y en el futuro será posible hacer la resta de imágenes de fondo y corregir por campos planos.

La posibilidad de graficar los perfiles y las velocidades radiales permite al usuario inferir la composición química de objetos extendidos, así como su estructura cinemática. También se puede inferir el usuario la distribución de masa del objeto analizando las abundancias relativas.

Los conocimientos y la experiencia del usuario serán fundamentales para aprovechar al máximo las capacidades del sistema. Por otra parte, la retroalimentación de parte de quienes usen el sistema permitirá corregirlo y mejorarlo.

VII.4 TRABAJO A FUTURO

La versión actual de ADHOC/ es tan sólo el comienzo de un gran sistema al que se le irán incorporando módulos y realizando exhaustivas pruebas. Entre los planes a futuro, para ADHOC/, se puede mencionar la capacidad de introducir texto en las imágenes para que los investigadores puedan publicar artículos con imágenes editadas directamente en el sistema. También se planea agregar la posibilidad de mostrar isofotas e imágenes suavizadas. Otra característica importante es la incorporación de un formato propio para el almacenamiento de la información astronómica, aunque esto último se está estudiando cuidadosamente para lograr un formato de calidad que realmente beneficie a la comunidad científica. Por otra parte, se pretende agregar las pestañas omitidas en el visualizador de imágenes en 3D (*wavelength maps, phase, mono/cont/RV*) y, paulatinamente, se irán agregando módulos para procesamiento de datos. Por último, el trabajo continúa para garantizar la compatibilidad con diferentes versiones de Linux y sistemas gráficos X Window, así como la posibilidad de que sea multiplataforma.

VII.5 EXPERIENCIA PERSONAL

La realización de este proyecto ha sido, principalmente, un proceso de aprendizaje y superación de obstáculos. En un principio fue un proyecto muy ambicioso y se pensaban lograr muchas metas, pero a lo largo del camino se tuvieron que poner límites ya que el trabajo era demasiado amplio para abarcarlo todo en una sola tesis.

Hubo muchas cosas que fue necesario aprender, desde los lenguajes de programación hasta un poco de óptica. Conocer el equipo en San Pedro Mártir y probar el sistema en el mismo lugar, representaron algunos de los mejores momentos en el desarrollo del trabajo. El lugar, el equipo y el ambiente de trabajo fueron un gran estímulo para el crecimiento profesional.

En general, me siento satisfecha por tener la capacidad de realizar un trabajo que beneficiará a otros, no sólo en México, sino a nivel internacional. Desde mi punto de vista, este trabajo es como la piedra angular de un gran sistema que otros tendrán que continuar y es un orgullo saber que el primer paso está contenido aquí.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de la aplicación gráfica ADHOC/, fue posible lograr el mejoramiento de una herramienta ya existente y de gran importancia para la astronomía dentro del área de interferometría de Fabry-Perot. Al desarrollar un sistema que funcionara bajo un sistema operativo Linux se obtuvieron ventajas entre las que destacan: un sistema robusto y confiable; la posibilidad de compartir recursos, en el futuro, con otros sistemas tales como los de adquisición de los datos; el mejor aprovechamiento de los equipos de cómputo dado que ya no será necesario tener un equipo funcionando bajo el sistema operativo Linux (para la adquisición) y otro bajo el sistema operativo Windows (para la visualización).

La visualización de datos astronómicos en forma gráfica es importante ya que facilita el trabajo del investigador haciendo más intuitiva y evidente la información. El sistema desarrollado en este trabajo de tesis muestra la facilidad que se puede tener para inferir resultados a partir de imágenes, histogramas y otros elementos gráficos. Además, por su facilidad de uso, los usuarios no requieren de un entrenamiento extenso.

Otro punto importante que vale la pena mencionar, es que a través de este proyecto se ha observado que no es necesario invertir enormes cantidades de dinero en un sistema operativo y paquetes para desarrollar software. Como prueba de lo antes mencionado, se

tiene la herramienta Tcl/Tk que forma parte de la paquetería incluida al momento de instalar Linux, en la cual se desarrolló el sistema ADHOC/. Tampoco se invirtió en compiladores ya que se utilizó uno de los que vienen por defecto en cualquier distribución de Linux. Linux es una excelente y económica opción para la implementación de nuevos sistemas.

Una ventaja importante es la capacidad de ejecutar remotamente el sistema ADHOC/, incluso haciendo uso de los recursos de la máquina remota. Esto permitirá usar el ADHOC/ remotamente cuando la versión de Linux de la máquina del usuario sea incompatible. Esto hubiera sido imposible en Windows.

Por último puedo concluir que la programación gráfica tiene muchas vertientes de aplicación y que es un nicho de oportunidad de cualquier estudioso de las ciencias de la computación. Si el uso de ambientes gráficos se ha generalizado, es pues importante estar preparados para asumir los retos. En este trabajo se utilizaron los recursos gráficos incluidos en la biblioteca Tk, los cuales demostraron estar a la altura de las exigencias actuales para desarrollar interfaces gráficas de calidad. En conjunto con otros lenguajes, como son Tcl y C, se pueden obtener sistemas amigables y muy funcionales, como lo es ADHOC/.

APÉNDICE A

INTERFEROMETRÍA DE FABRY-PEROT

A.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE UN INTERFERÓMETRO DE FABRY-PEROT.

A.1.1 Descripción del interferómetro de Fabry-Perot.

El interferómetro de haces múltiples, construido por Charles Fabry y Alfred Perot en los últimos años del siglo XIX, es de suma importancia en óptica moderna. En principio, el instrumento consiste de dos superficies planas, paralelas, altamente reflejantes y separadas por una distancia d . En la práctica, dos planos ópticos de vidrio semiplatedados o aluminizados forman las superficies reflectoras. El espacio de aire, entre las placas, generalmente varía de algunos milímetros a varios centímetros cuando el aparato se usa para interferometría. Si el espacio d puede variarse mecánicamente con el movimiento de uno de los espejos, se llama interferómetro de barrido. Cuando los espejos se mantienen fijos y se ajustan en paralelismo fijando con un tornillo algún tipo de espaciador (invar o cuarzo se usan comúnmente), suele llamársele *etalón* (aunque es un interferómetro en el sentido más amplio) [Hecht et al, 1977].

Al hacer incidir un haz de luz paralela y monocromática, el interferómetro de Fabry-Perot produce un sistema de anillos de interferencia localizados en el infinito. La

Figura A.1 muestra un esquema básico la traza que recorre la luz a través de un interferómetro de Fabry-Perot [Arias et al, 1999].

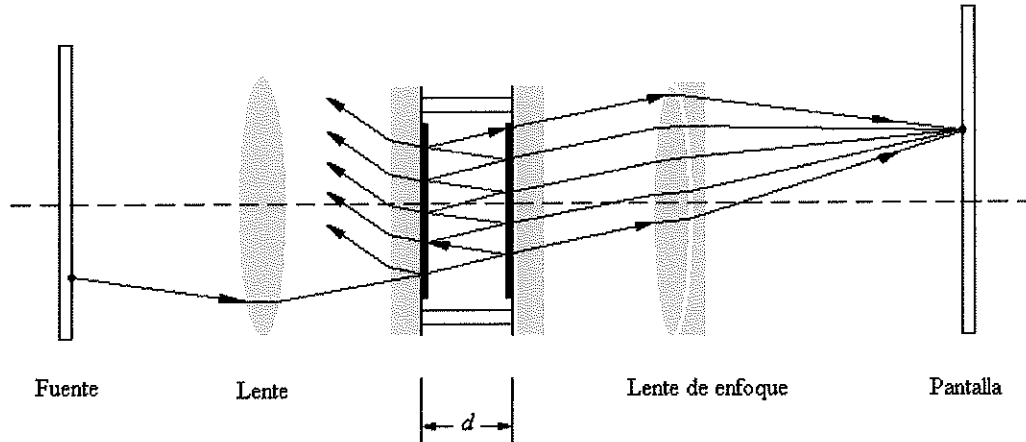


Figura A.1. Etalón de Fabry-Perot.

A.1.2 Definiciones y formulación básica [Wyant, 2001].

La intensidad luminosa transmitida está dada por:

$$I(\varphi) = \frac{T^2}{(1-R)^2} \frac{1}{1 + m \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \quad \text{Ec. A.1}$$

donde T es el factor de transmisión y R , el factor de reflexión.

La función de Airy $A(\varphi)$ se define como:

$$A(\varphi) = \frac{1}{1 + m \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \quad \text{Ec. A.2}$$

donde

$$\varphi = \frac{4\pi ne \cos(i)}{\lambda} \quad \text{Ec. A.3}$$

es el retardo en fase y m es el factor de modulación, que depende del factor de reflexión de las placas de la siguiente forma:

$$m = \frac{4R}{(1-R)^2} \quad \text{Ec. A.4}$$

La función de Airy $A(\varphi)$ es una función con período 2π y es máxima (al igual que la función de intensidad luminosa) para:

$$\varphi = 2\pi p \quad \text{Ec. A.5}$$

con p entero. Combinando (A.3) y (A.5) se obtiene la relación fundamental del Fabry-Perot (FP):

$$2ne \cos(i) = p\lambda \quad \text{Ec. A.6}$$

obteniéndose un sistema de interferencia constructiva (máxima luminosidad) cada vez que la relación anterior se satisfaga. El orden de interferencia en el centro del patrón está dado para i mínimo como $p_0 = 2ne/\lambda$. El intervalo espectral libre (FSR) es el intervalo entre 2 máximos consecutivos de transmisión de la función de Airy y está dado por:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{p} \quad \text{Ec. A.7}$$

donde p es el orden de interferencia del FP a una longitud de onda λ . Para otra λ' , el orden de interferencia p' cumple la siguiente relación:

$$p\lambda = p'\lambda' \quad \text{Ec. A.8}$$

Una característica importante del FP es su Finesse efectiva (F_{eff}) que puede ser considerada como su factor de calidad y está definida como sigue:

$$\frac{1}{F_{eff}^2} = \frac{1}{F_r^2} + \frac{1}{F_d^2} \quad \text{Ec. A.9}$$

Donde F_d es la Finesse de los defectos ópticos dada por $F_d = q/2$ (los espejos en el FP son planos a $q/2$) y la Finesse de reflexión F_r está dada por:

$$F_r = \frac{\Delta\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\pi\sqrt{m}}{2} \quad \text{Ec. A.10}$$

Una manera fácil de revisar la Finesse es midiendo $\Delta\lambda$ (los picos de transmisión de la función de Airy) y $\delta\lambda$ (el ancho a media altura FWHM) de la línea para determinar la Finesse de reflexión.

La resolución de un FP se puede calcular con:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = pF_r \quad \text{Ec. A.11}$$

A.1.3 El Fabry-Perot de Barrido.

En un interferómetro de Fabry-Perot de Barrido (IFPB), el espacio entre las placas puede ser variable. En este caso, el IFPB funciona como un filtro sintonizable que barre el intervalo espectral libre (FSR). La Figura A.2 muestra cómo un IFPB produce un perfil de emisión en cada pixel del detector.

El IFPB realiza el barrido sobre el FSR con un número de pasos (número de canales) dados por dos veces la Finesse. Al final se obtiene un cubo de datos formado por imágenes individuales. En el cubo, las coordenadas x y y representan información espacial en cada imagen, y z es un índice que identifica a cada imagen individual correspondiendo a información espectral obtenida de las diferentes separaciones [Arias et al, 1999]. A estos cubos de datos también se les conoce como imágenes 3D.

Los perfiles construidos con la intensidad luminosa correspondiente a las diferentes separaciones están relacionados con la longitud de onda y permite establecer una relación con la velocidad radial mediante el efecto Doppler [Arias et al, 1999].

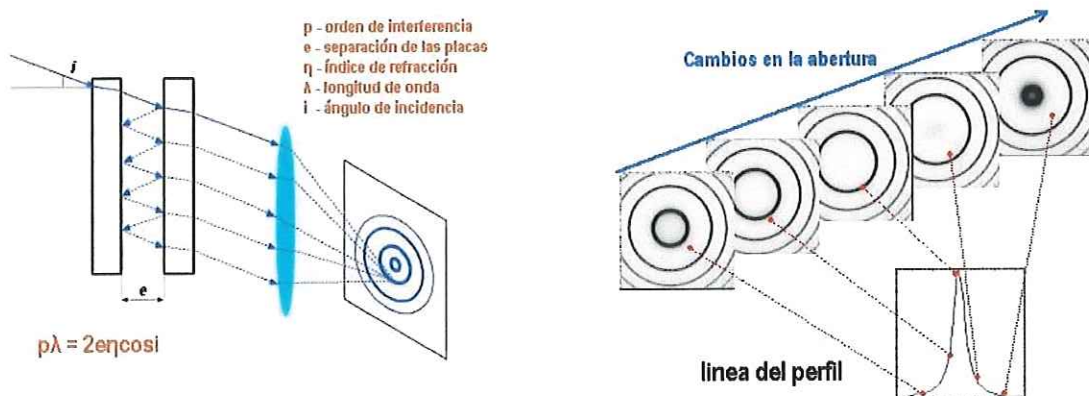


Figura A.2. Perfil de emisión producido por un IFPB.

APÉNDICE B

ESPECTRÓGRAFO INTEGRAL DE CAMPO "PUMA"

B.1 ESPECIFICACIONES DEL ESPECTRÓGRAFO INTEGRAL DE CAMPO "PUMA"

- a) El reductor focal (colimador y cámara objetivo) proporciona un factor de reducción de 2:1.
- b) Cuenta con un campo circular útil, sin viñeta, de 10 minutos de arco de diámetro (determinado por la forma y tamaño de los filtros).
- c) Cubre un intervalo espectral de 3650 Å a 8650 Å.
- d) Diseñado para funcionar con los CCDs del Observatorio.

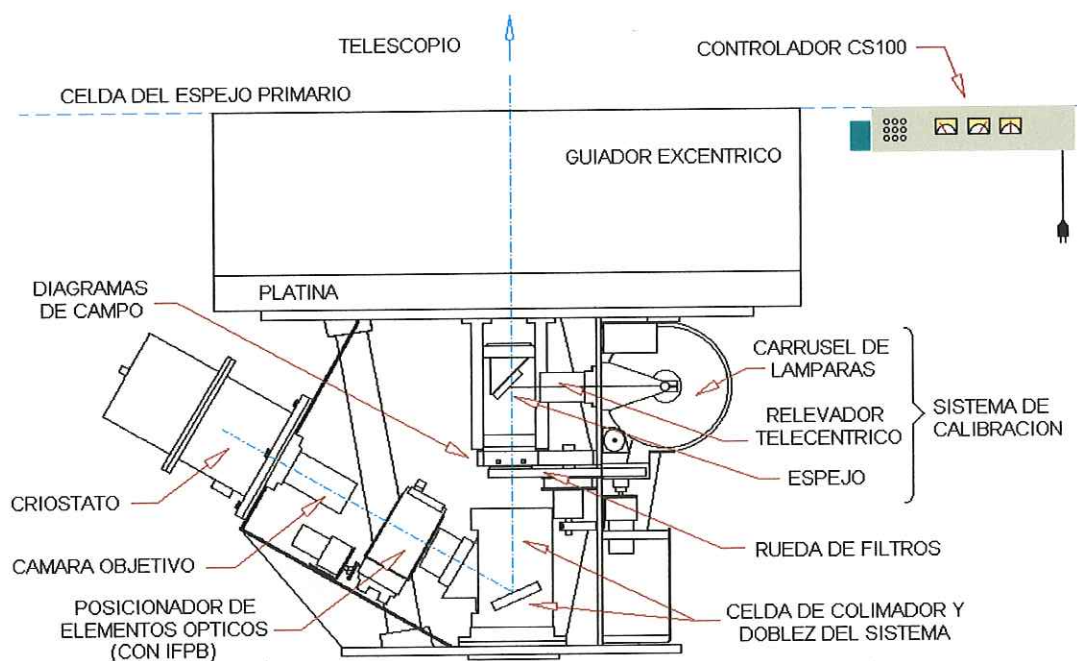


Figura B.1. Vista general del instrumento.

B.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPONENTES

B.2.1 Sistema de calibración

Está compuesto por un conjunto de tres lámparas (Tabla B.I) y un arreglo óptico (relevador telecéntrico) que simula el haz de luz proveniente del telescopio y la obstrucción de luz debida al espejo secundario. Cuenta con un espejo móvil cuya función es enviar la luz de las lámparas hacia el detector, o retirarse de la trayectoria óptica [Arias et al, 1999].

Lámpara	Línea de emisión (Å)	Línea asociada (Å)
Hidrógeno	6562.78	H α (λ 6563) [NII](λ 6584)
Helio	5015.678	[OIII](λ 5007)
Neón	6717.0428	[SII](λ 6717 y 6731)

Tabla B.I. Lámparas de calibración.

B.2.2 Filtros

El intervalo espectral se selecciona mediante filtros de interferencia colocados sobre el plano focal del telescopio. Esta ubicación se debe a que, en este lugar, el comportamiento de los filtros es casi uniforme para todo el campo.

Los filtros están dispuestos en una rueda giratoria con 8 espacios donde se pueden alojar hasta 7 filtros redondos de 2" de diámetro y 6mm de espesor. Un espacio queda libre para el paso directo de la luz y se ha dejado un portafiltro disponible en caso de que el usuario desee incluir algún filtro con características ópticas diferentes [Arias et al, 1999].

B.2.3 Interferómetro Fabry-Perot de barrido

El IFPB se ubica en la pupila del instrumento y tiene la libertad de colocarse en el eje óptico, o deslizarse fuera de éste, con el fin de dejar el paso libre a la luz para obtener imágenes directas. El IFPB deberá utilizarse con un filtro de interferencia centrado en la longitud de onda de interés. La función del filtro es aislar el intervalo de longitud de onda adecuado, pero esto no garantiza que otros órdenes de interferencia no puedan contaminar las observaciones [Arias et al, 1999].

El IFPB realiza el barrido sobre el intervalo espectral libre con un número de pasos (o de canales) dados por dos veces la finura (Finesse), debido al teorema de Nyquist (o del muestreo). Al final se obtiene un cubo de datos que contienen la información espacial y espectral, ésta última obtenida de las diferentes separaciones de las placas (para una breve descripción de los principios de operación de un IFPB, ver Apéndice A) [Plana et al, 2000].

B.2.4 Detector

El instrumento puede funcionar con cualquier detector CCD, sin embargo está diseñado para utilizar un detector con área de 1024x1024 pixeles y tamaño de pixel de aproximadamente 20 micras. Por esto, a la fecha se tiene la opción de trabajar con los detectores CCD Site1 y Site3 del OAN, ambos con 1024x1024 pixeles y tamaño de pixel de 24 micras.

Con el arreglo óptico del sistema se tiene una escala de placa de 0.59 seg arc/pix (24.58 seg arc/mm) y se cubre un campo circular útil de 10 min arc de diámetro [Arias et al, 1999].

APÉNDICE C

MANUAL DE USUARIO PARA ADHOC/

C.1 EL SISTEMA ADHOC

C.1.1 Historia

ADHOC_w (Analizador de Datos Homogéneos de Observaciones CIGALE para Windows) es el principal software utilizado por el Grupo de Interferometría, en el Observatorio de Marsella, para reducir datos en 3D provenientes de diferentes instrumentos. También contiene útiles módulos de visualización para imágenes en dos dimensiones.

El sistema ADHOC fue diseñado en 1987 por Jacques Boulesteix con la finalidad de reducir los datos obtenidos del instrumento Fabry-Perot CIGALE integrado en el Observatorio de Marsella, Francia. Su distribución se realiza de forma gratuita. Hasta 1998, las sucesivas versiones de ADHOC corrían en el sistema operativo DOS. Una variante, ADHOC_w, cuenta ya con varias versiones que corren bajo el ambiente Windows, tomando los beneficios de las multitareas, archivos compartidos y las redes.

El concepto de ADHOC radica en minimizar el entrenamiento de los usuarios. Toda la interfaz del sistema es gráfica y muy amigable; además, cuenta con una guía de ayuda en HTML.

La versión actual de ADHOC_w trabaja en sistemas Windows de 32 bits (95/98/NT/2000), utiliza multitareas y permite compartir archivos mediante redes. No hay limitaciones en el tamaño de los archivos 3D que se pueden reducir. ADHOC_w trabaja, principalmente, con valores flotantes de 4 bits lo cual ofrece más versatilidad en el manejo de los datos [Boulesteix, 2002].

Partiendo de estas bases, se comenzó el desarrollo de ADHOC/ para el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir. Este sistema corre bajo el sistema operativo Linux. Inicialmente, se han desarrollado las herramientas que permiten la visualización de imágenes adquiridas mediante un interferómetro de Fabry-Perot, aunque con el tiempo irá creciendo para permitir la realización de otras tareas de igual importancia.

C.1.2 Características

Facilidad de aprendizaje: El sistema está diseñado e integrado de tal forma que el usuario no requiere mayor capacitación para iniciar una sesión de ADHOC/. Consta de un sistema de ventanas con elementos gráficos autodescriptivos que ya son familiares para la mayoría de los usuarios.

Ocupación en memoria: Los archivos que conforman al sistema ADHOC/ en sí, no ocupan mucho espacio (aproximadamente 5 Mb), con lo que se convierte en un sistema muy económico en lo que se refiere a memoria. Sin embargo, más adelante (en la Sección C.2.1) se recomienda contar con más espacio en disco duro con el fin de reservar suficiente espacio para los archivos temporales que se generan durante la ejecución del programa.

Entorno de visualización: El entorno que compone al sistema contiene las herramientas necesarias para la visualización, análisis y modificación de las imágenes.

Posibilidades de expansión: En la versión actual de ADHOC/ se incluyen los módulos para la visualización de imágenes en 2 y 3 dimensiones. La configuración que se le ha dado al sistema permite que, de manera sencilla, se incluyan a futuro otros módulos para el análisis y reducción de los datos.

Otras características: Además de las ventajas que ofrecen las características anteriores, es importante mencionar que el sistema ADHOC/ es muy versátil debido a que el código se ha desarrollado en lenguajes altamente portables: Tcl/Tk y C. Gracias a ello, es posible trasladar el código de una máquina a otra con cambios menores en la programación (en algunos casos no se requiere hacer cambios). Otra característica que favorece al sistema ADHOC/ es que evita el uso de comandos en línea para la

visualización de imágenes astronómicas, ofreciendo la posibilidad de combinar las ventajas de un sistema operativo eficiente y lo amigable de una interfaz gráfica.

C.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ADHOC/

La instalación del sistema ADHOC/ es muy sencilla. Para evitar complicaciones se recomienda realizarla en calidad de administrador o superusuario de Linux, ya que la falta de derechos de lectura/escritura de los directorios puede generar problemas al momento de la creación de nuevos directorios y copia de archivos al disco duro.

En el paquete de instalación se incluye un archivo de texto llamado *README.TXT* en el cual se describe detalladamente el proceso de instalación.

C.2.1 Requerimientos

Se sugiere que la computadora cuente con las siguientes características con el fin de garantizar un óptimo desempeño del sistema ADHOC/ en funcionalidad y tiempo de ejecución:

Hardware

Tarjeta gráfica SVGA de 32 bits.

Al menos 15 Mb de espacio libre en disco duro.

Velocidad de procesamiento de 450 MHz o superior.

Procesador Pentium III o superior.

Monitor SVGA que soporte resolución de 1280 x 1024 pixeles.

192 Mb de RAM.

Software

Linux 2.2.16 o superior (es posible que no funcione en todas las versiones).

Slackware versión 7.1.0 o superior (es posible que no funcione en todas las versiones).

Configuración del monitor para una resolución de 1280 x 1024 pixeles o superior.

Wish extendido 8.3 o superior.

Tcl 8.3 o superior.

Tk 8.3 o superior.

Ambiente gráfico de ventanas Gnome ó KDE (por el momento, el sistema ADHOC sólo se ha probado en estos ambientes pero es posible que también funcione en otros ambientes similares).

C.2.2 Consejos prácticos

Primero, se recomienda hacer un experimento para entender el propósito de esta sección. Es necesario abrir la ventana de comandos en X (*xterm*) e introducir el siguiente texto:

```
$ adhocl
```

```
bash: adhocl: command not found
```

Probablemente, el sistema operativo no puede iniciar *ADHOC/*. El archivo ejecutable para iniciar *ADHOC/* no se puede localizar automáticamente a menos que se incluya el subdirectorío que contiene dicho archivo en la variable de ambiente *PATH*.

```
$ export PATH=$PATH:~/adhoc
```

Al agregar la trayectoria del sistema *ADHOC/* a la variable de ambiente *PATH*, el ambiente Linux podrá localizar el archivo ejecutable para correr *ADHOC/*.

Si se desea agregar esta información al *shell* encargado del inicio de la sesión Linux para no tener que introducir la trayectoria cada vez que se inicia Linux, basta con agregar el comando ilustrado anteriormente al archivo *.profile*, o su equivalente, localizado en el directorio *home* (el archivo *.profile* se ejecuta cada vez que se inicia Linux).

Si se utiliza *bash*, el comando PATH actualizado se puede agregar al archivo de inicio ejecutando la siguiente instrucción:

\$ echo 'export PATH=\$PATH:~/ad hoc' >>.bashrc

Las instrucciones anteriores se aplican para la distribución Slackware de Linux. En caso de utilizar otra distribución consulte el manual correspondiente.

C.3 ENTORNO DE VISUALIZACIÓN DE ADHOC/

El Entorno de Visualización de ADHOC/ (EVA), es un entorno gráfico que proporciona las herramientas necesarias para visualizar, analizar y modificar imágenes adquiridas mediante observaciones astronómicas (en 2 y 3 dimensiones) con un CCD en un interferómetro de Fabry-Perot de barrido. El entorno EVA posee, por el momento, dos importantes herramientas:

- ✦ *Un visualizador de imágenes en 2D* que permite abrir múltiples archivos en 2D para su visualización y manipulación. También permite abrir, mas no visualizar, varios archivos en 3D para obtener valiosa información relacionada con los datos en 2D.

-
- ✚ *Un visualizador de imágenes en 3D* con el cual se pueden visualizar imágenes en 3D y se pueden analizar una a una las imágenes de un cubo de datos, además de las gráficas, entre otras funciones.

Además de estas herramientas, posee las siguientes propiedades notables:

- ✚ Interfaz gráfica amigable (autodescriptiva).
- ✚ Soporte de mouse y teclado.
- ✚ Edición de múltiples archivos en la misma sesión.
- ✚ Cuadros de diálogo con ayuda sobre el manejo del sistema.

Una nota importante para los usuarios de ADHOC/: en general, se emplea el mouse como método de interacción con el EVA; sin embargo, existen usuarios que prefieren el teclado como un medio para comunicarse con el sistema. Para satisfacer ambas tendencias, el EVA ha integrado, en donde ha sido posible, el uso del teclado, aunque predomina el uso del mouse.

C.3.1 Pasos principales que se realizan en una sesión

Para tener una idea más clara del propósito del sistema ADHOC/, a continuación se presenta una lista con los pasos principales que se llevan a cabo durante el ciclo de vida de una sesión ADHOC/.

1. Ejecutar el sistema ADHOC/.
2. Elegir un visualizador (2D o 3D) y abrir un archivo.
3. Visualizar y editar las imágenes.
4. Guardar en disco o imprimir la información modificada.
5. Salir del sistema ADHOC/.

Por supuesto, en la práctica hay más detalle involucrado, pero estos cinco pasos dan una idea general de lo que implica una sesión ADHOC/.

C.3.2 Inicio y salida de una sesión

Para iniciar una sesión de ADHOC/ se sigue el mismo procedimiento que con cualquier otro programa para Linux. Basta con teclear el nombre del programa en la línea de comandos o activar el ícono que se haya creado en el panel del despliegue. Existen dos reglas:

1. Debe estar corriendo el sistema X Windows (la interfaz gráfica para Linux). Si está en modo de caracteres, ADHOC/ no correrá ya que es un programa estrictamente gráfico.
2. Necesita estar conectado con el nombre de usuario que se usó al momento de efectuar la instalación del sistema, a menos que se haya instalado como superusuario. ADHOC/ usualmente se instala en el directorio */home/user/adhoc/*, donde *user* es el nombre del usuario, o en el directorio */usr/local/adhoc/* si se instaló como superusuario.

Si se siguieron los pasos descritos en la sección C.2.2, se puede iniciar una sesión ADHOC/ desde cualquier ventana de comandos mediante el comando que sigue:

\$ adhoc/

Sin embargo, se recomienda agregar un espacio y el ampersand (&) después del comando:

\$ adhoc/ &

\$

Como consecuencia, se inicia la aplicación ADHOC/ y la ventana de comandos se puede seguir utilizando para otras tareas. Sin el ampersand, la ventana de comandos está ocupada con la ejecución de ADHOC/ y mientras tanto no se puede usar.

Para salir de una sesión hay dos métodos: el primero consiste en presionar la “cruz” localizada en la esquina superior derecha de la ventana principal; el segundo consiste en salir mediante los botones proporcionados para ello dentro del sistema. En la siguiente sección se explica con más detalle cuáles botones permiten terminar una sesión, pero en general, son aquellos con la leyenda *close* o *exit*.

C.3.3 Componentes del entorno de visualización

Después de seguir los pasos descritos en la sección anterior, para iniciar una sesión de ADHOC/, aparece la ventana introductoria que se muestra en la Figura C.1. En ella, el usuario puede elegir uno de los dos paquetes disponibles para la visualización de imágenes astronómicas (2 o 3 dimensiones).

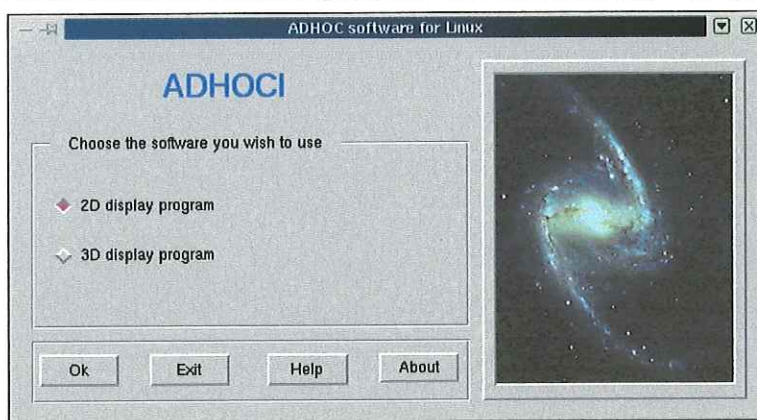


Figura C.1. Menú de entrada.

También se pueden observar cuatro botones que son: *ok* (para elegir un visualizador), *exit* (para terminar la sesión de ADHOC/), *help* (para desplegar los archivos de ayuda) y *about* (para desplegar información sobre el sistema ADHOC/).

C.3.3.1 Visualizador 2D

1. Apertura del primer archivo en una sesión de ADHOC/

Cuando el usuario ha establecido que desea usar el visualizador para imágenes en 2D (Figura C.1), aparece la siguiente ventana:

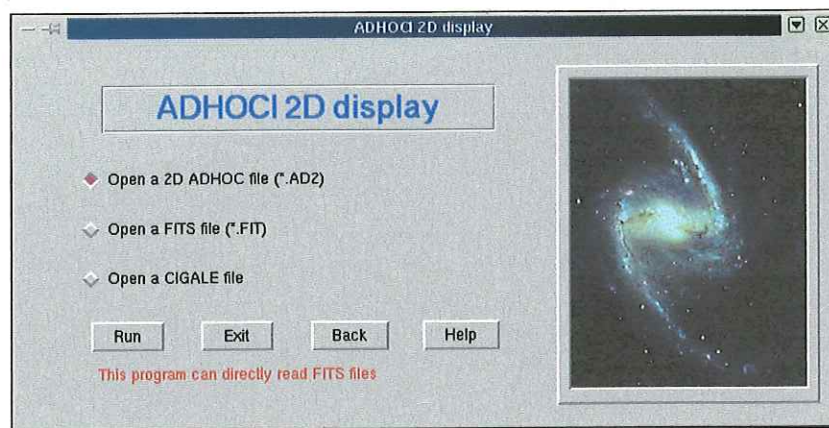


Figura C.2. Ventana del visualizador 2D para elegir el formato del archivo que se va a abrir.

Como se muestra en la Figura C.2, se pueden abrir archivos con alguno de los tres formatos indicados por los botones de selección: ADHOC, FITS o CIGALE. La ventana también tiene cuatro botones: *run* (para elegir el nombre del archivo y abrirlo, ver Figura C.3), *exit* (para salir de la sesión de ADHOC), *back* (para regresar a la ventana inicial —Figura C.1) y *help* (para desplegar el archivo de ayuda).

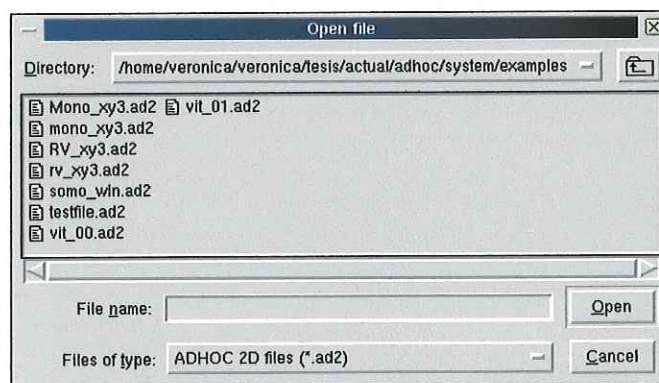


Figura C.3. Ventana para elegir y abrir un archivo.

El archivo elegido en esta etapa del sistema, será por defecto el archivo principal y se puede cambiar más adelante, si es necesario.

2. Ventana para el despliegue principal en 2D

Después de abrir un archivo en 2D (FITS, CIGALE o ADHOC), aparecerá en la pantalla una ventana con el aspecto siguiente:

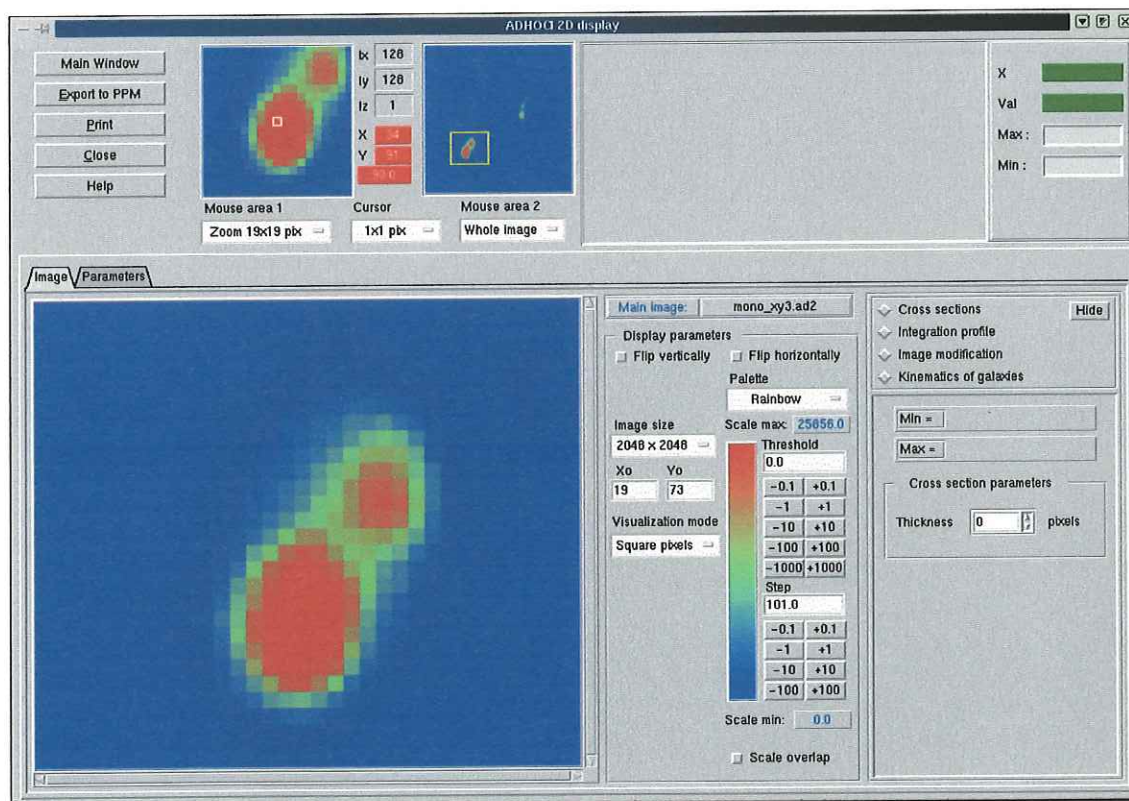


Figura C.4. Ventana principal para el despliegue en 2D.

Pestañas: Se tiene acceso a dos secciones señaladas por pestañas y son: “image” (donde se despliega la imagen —Figura C.4) y “parameters” (donde se abren los diversos archivos 2D y 3D —Figura C.16).

3. Funciones generales

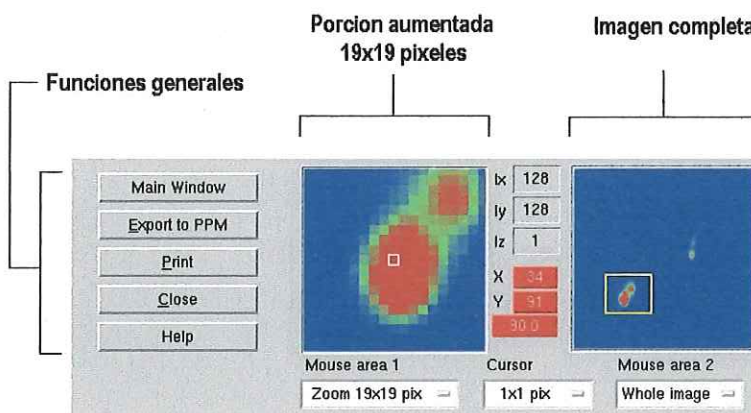


Figura C.5. Funciones generales de ADHOC/2D.

Estas funciones están disponibles en la parte superior izquierda de la ventana principal. Para acceder a ellas es necesario presionar el botón correspondiente (ver Figura C.5).

Export to PPM: Almacenar la imagen del despliegue principal en un archivo gráfico con formato PPM.

Main Window: Regresar a la ventana inicial de ADHOC/ para seleccionar entre el sistema 2D o 3D.

Print: Imprimir la imagen del despliegue principal en la impresora configurada por defecto.

Close: Terminar sesión actual de ADHOC/.

Help: Obtener ayuda para manejar el sistema ADHOC/ 2D.

Porción aumentada y posición/valor del pixel: En la parte superior de la ventana (ver Figura C.5), la imagen de la izquierda usualmente representa una porción aumentada de 19x19 pixeles de la posición actual del mouse sobre la imagen principal. A la derecha de la región se observan los valores X, Y de la posición del mouse, el tamaño de la imagen y el número de canales (en el caso de dos dimensiones siempre es igual a 1). Se puede cambiar el tamaño del cursor (por defecto es de 1x1 pixel): en este caso, el contenido del pixel será el valor promediado de todos los pixeles incluidos dentro de la región abarcada por el tamaño del cursor.

Imagen completa: En la parte superior de la ventana (ver Figura C.5), la imagen de la derecha muestra la imagen completa. Dentro de este espacio se localiza un cuadro amarillo que indica la porción de la imagen desplegada en la sección principal. El cuadro se puede mover “arrastrándolo” con el mouse y la porción seleccionada de la imagen se visualizará en el despliegue principal. Si el tamaño de la imagen principal permite que ésta se vea completa, entonces no es posible mover el cuadro.

4. Aplicación de cambios a la imagen

La pestaña *image* se compone de tres partes básicas: a) recuadro de parámetros de despliegue (Figura C.6), b) recuadro del menú de módulos (Figura C.7) y c) región de despliegue de la imagen (Figura C.4). A continuación se describen los incisos *a* y *b* ya que la región de despliegue (inciso *c*) no requiere de más explicaciones.

a) Parámetros de despliegue

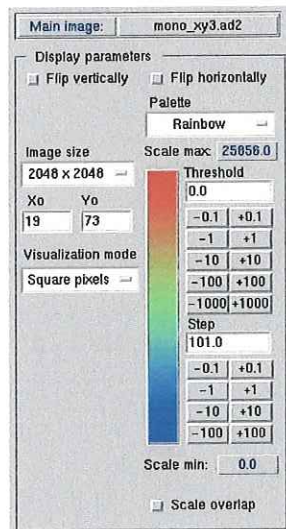


Figura C.6. Parámetros de despliegue.

Zoom: El tamaño de la imagen se puede cambiar con facilidad utilizando el menú llamado *image size* (Figura C.6). El cambio de tamaño se efectúa en factores de 2 (1, 2,

4, 8, 16, 32), ya sea para incrementarla o para hacerla más pequeña. El tamaño mínimo de la imagen es su tamaño original y el tamaño máximo es 32 veces el tamaño de la imagen.

Sección visible: A veces la imagen es tan grande que no cabe completa en el despliegue principal. Para poder visualizar la región deseada basta con mover el cuadro localizado sobre la imagen completa (Figura C.5). El tamaño del cuadro indica el tamaño de la porción de la imagen que se visualizará y está directamente relacionada con el *zoom*. Otra forma de ubicar una sección de la imagen sobre el despliegue principal es indicando los valores X_0 , Y_0 (Figura C.6).

Palette: Permite cambiar la paleta de colores con la que se despliega la imagen (Figura C.6). Existen 7 opciones actualmente y son: *rainbow*, *black & white*, *black & white inverse*, *square root*, *color 1*, *color 2* y *color 3*.

Step, threshold y scale overlap: La correspondencia entre los valores de la imagen y los colores se obtiene a partir de tres parámetros: 1) *threshold* (valor mínimo en el despliegue), 2) *step* (el espacio entre los colores) y 3) *overlap* (opcional). Si no hay *scale overlap*, todos los valores mayores que el último *step* se despliegan como el último *step*. Si está seleccionada la opción para traslapar la escala de colores, el módulo encargado de asignar los valores para la paleta comienza desde el valor mínimo cuando el valor de la imagen ha pasado del máximo. Para actualizar los umbrales (*threshold* y

step) hay dos métodos: el primero consiste en utilizar los botones con valores fijos predeterminados; el segundo consiste en editar manualmente los valores mediante los campos dedicados para ello (todas estas opciones se ilustran en la Figura C.6).

NOTA: La imagen se actualiza automáticamente al aplicar cualquiera de los cambios mencionados a lo largo del manual, a diferencia de la versión para Windows donde era necesario presionar un botón para actualizar el despliegue.

Flip horizontal y vertical: La imagen se puede voltear en X (horizontal) o Y(vertical). En la Figura C.6 se muestran los botones para estas acciones.

b) Menú de módulos

En el recuadro localizado a la derecha dentro de la pestaña *image*, se observa un listado de acciones que se pueden elegir mediante botones (ver parte superior de la Figura C.7), al cual se le ha denominado *Menú de módulos*. Cuenta con cuatro opciones que son: *cross sections* (secciones cruzadas), *integration profile* (perfiles de integración), *image modification* (modificación de la imagen) y *kinematics of galaxies* (cinemática de galaxias). Al elegir cada uno de los módulos, las opciones del recuadro inferior (señalado como *información y acciones correspondientes al módulo activo*) cambian. La mayoría de los módulos contienen tanta información que fue imposible hacerla caber en el pequeño espacio dedicado para este propósito, de tal manera que

existe un botón con el texto *hide* el cual esconde las opciones del menú y despliega la ventana completa con la información del módulo activo. El texto del botón cambia a *show* indicando que al presionarlo se mostrará de nuevo el menú de módulos. Conforme se explore cada módulo del sistema, se darán a conocer las opciones que aparecen en el recuadro inferior.

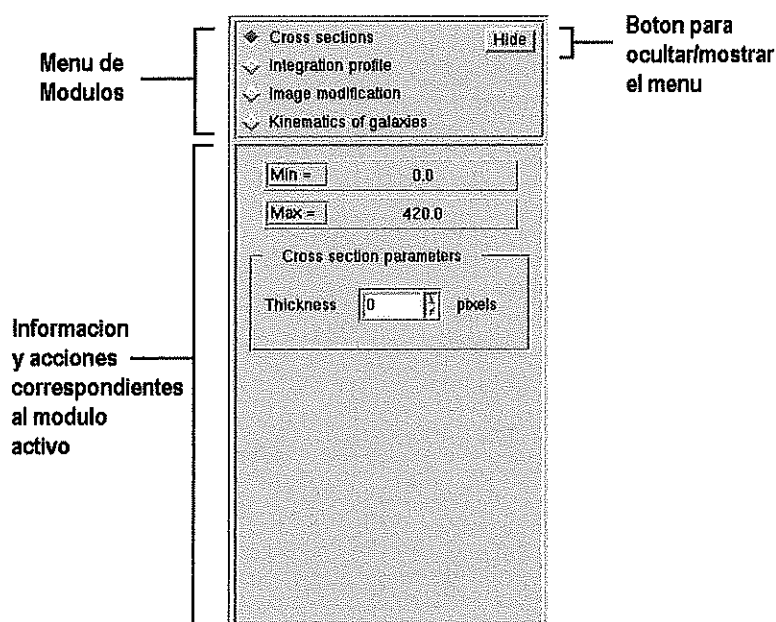


Figura C.7. Módulo para secciones cruzadas.

5. Secciones cruzadas

Módulo para secciones cruzadas: Por defecto, al iniciar una sesión, el módulo activo es el de secciones cruzadas (*cross sections*). En cualquier caso, para activar este módulo, sólo hay que seleccionar la opción en el menú que se muestra en la Figura C.7.

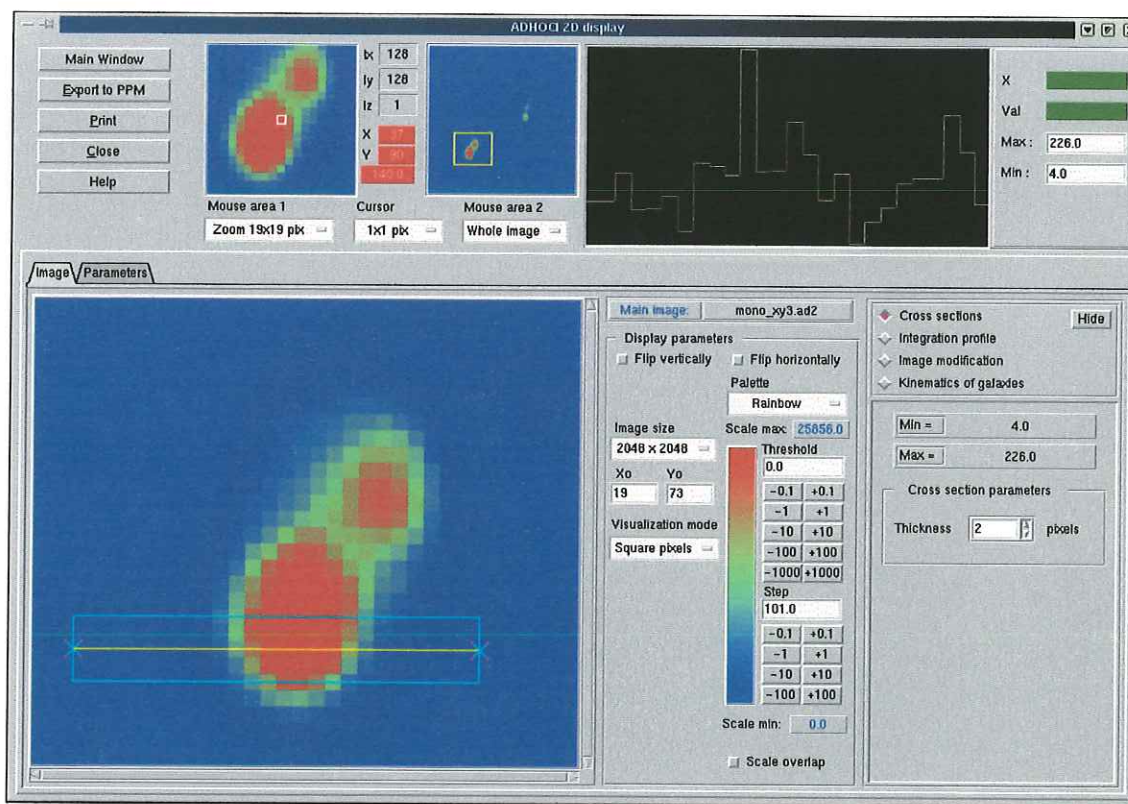


Figura C.8. Ejemplo de una sección cruzada con grosor igual a 2.

Procedimiento para secciones cruzadas: Para obtener una sección cruzada simplemente se debe seleccionar, con el botón izquierdo del mouse, un punto dentro de

la imagen principal para obtener un extremo de la recta. Luego se repite el paso sobre otro punto para obtener el segundo extremo de la recta. Al concluir estos dos pasos, automáticamente, aparece una gráfica mostrando los valores de los puntos intermedios de la recta. La gráfica se puede editar cambiando los valores máximo y mínimo en los espacios que se localizan a la derecha de la gráfica. La Figura C.8 muestra la línea dibujada sobre la imagen principal, la gráfica y los espacios donde se pueden editar los valores. Además, se puede establecer el grosor de la línea introduciendo el valor en el espacio precedido por el texto *thickness* en la ventana que se muestra en la Figura C.7. El grosor está acotado por los valores $[0, 10]$. Si el valor es mayor que cero, cada punto de la gráfica es el promedio de los valores a lo ancho del punto.

6. Perfiles de integración

La sección derecha de la ventana (Figura C.9) ha cambiado para permitir el manejo de los perfiles. En la Figura C.10 se ve con más detalle la información contenida en el recuadro *integration profile*. En caso de no estar activado, basta con seleccionarlo usando el menú ilustrado en la Figura C.7. Una vez activada la opción, el usuario puede seleccionar los perfiles que se localizan sobre la imagen presionando el botón izquierdo del mouse, con lo cual aparecerá una cruz sobre el perfil y la gráfica aparecerá en la parte derecha de la ventana (Figura C.10). Conforme se van seleccionando perfiles, el sistema calcula el promedio para generar una sola gráfica. Si el usuario selecciona por segunda vez alguno de los perfiles, éste se elimina y se sustrae del promedio.

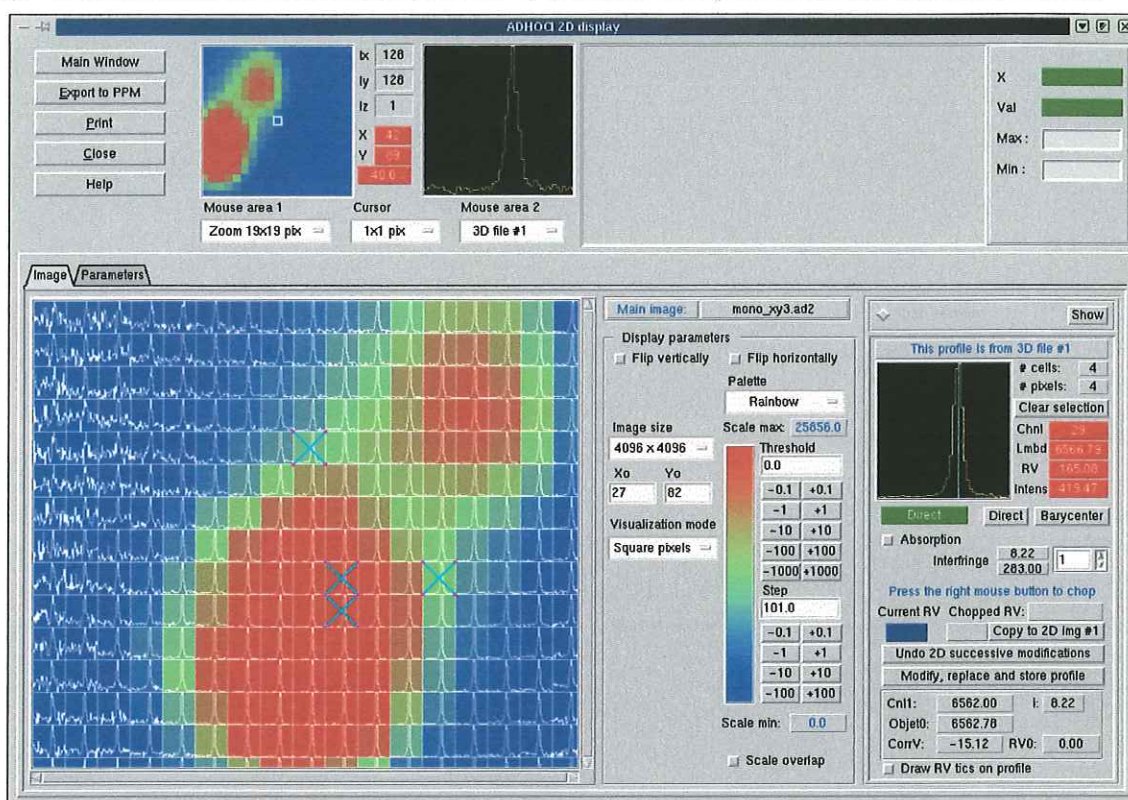


Figura C.9. Superposición de perfiles sobre la imagen principal.

A continuación se explican los componentes de la Figura C.10:

Medición de los perfiles: Al mover el mouse sobre la gráfica mostrada en la Figura C.10 se puede obtener la siguiente información del perfil: número de canal, longitud de onda, velocidad radial y la intensidad del canal señalado.

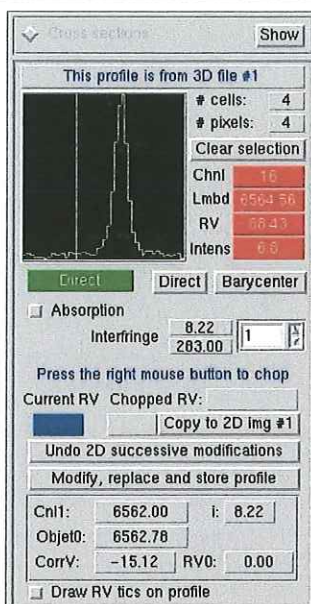


Figura C.10. Módulo para perfiles de integración.

La medición puede ser “directa” (se toma a partir de la posición del mouse) o mediante el “baricentro” (*barycenter*). En el caso de emisión, el baricentro se calcula sobre el nivel definido por la posición Y del mouse; en el caso de absorción, debajo de dicho nivel.

Clear selection: Al presionar este botón se inicializa a cero la selección de celdas, con lo cual se borra la gráfica ilustrada en la Figura C.10 y se eliminan las cruces marcadas sobre los perfiles.

Direct: Activa el modo “directo” para visualizar la información del perfil.

Barycenter: Activa el modo “baricentro” para visualizar la información del perfil. La posición del mouse se indica mediante dos líneas: una horizontal que indica la posición X y una vertical que indica la posición Y. Si la opción “absorption” ha sido

seleccionada, el cálculo del centro de masa se realizará sobre la posición Y, de lo contrario se realizará bajo la posición Y.

Absorption: Esta opción se debe seleccionar si se desea el modo de “absorción”, de lo contrario se obtiene el modo de “emisión”.

Interfringe: Aquí el usuario puede establecer un valor para corregir la longitud de onda y la velocidad radial.

Modify, replace and store profile: Al presionar este botón aparece la ventana que se muestra en la Figura C.11.

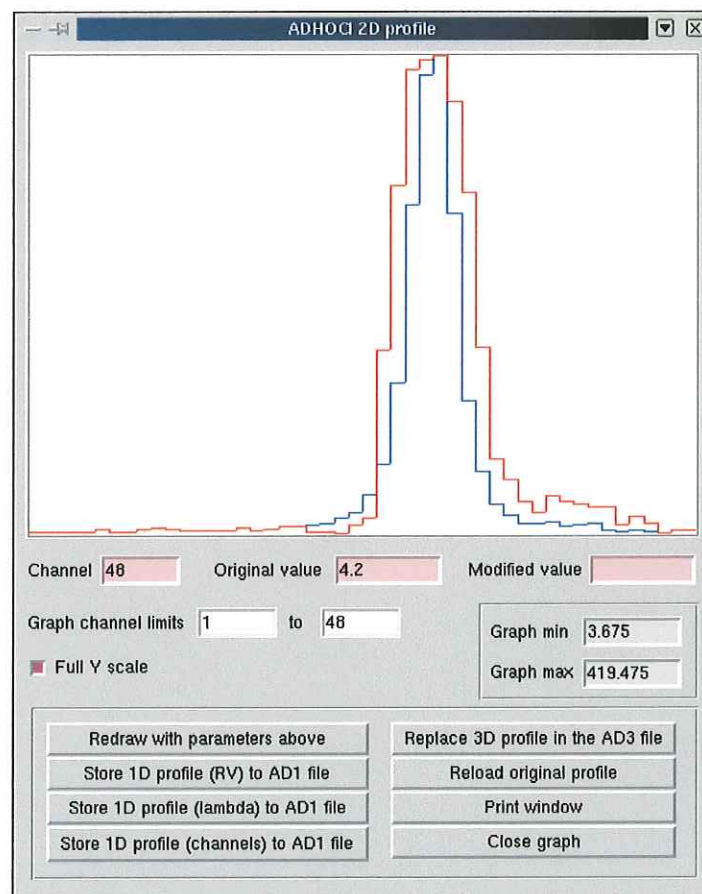


Figura C.11. Ventana para modificar manualmente un perfil.

Modificación dinámica de un perfil: El usuario puede modificar el valor de cada canal mediante el uso del mouse sobre la gráfica. Para ello debe ubicar el cursor sobre la línea horizontal del canal deseado, en ese momento el cursor de flecha cambiará por un cursor vertical de doble flecha. Al mantener presionado el botón izquierdo del mouse se puede “arrastrar” la línea en forma vertical hasta la posición deseada. Automáticamente cambiará el valor de la intensidad del canal para ajustarse. Los valores originales se representan mediante la línea azul, mientras que los valores modificados por el usuario se representan mediante una línea roja.

Channel, original value y modified value: Son espacios que muestran los valores correspondientes a la posición actual del mouse sobre la gráfica (número de canal, valor original y valor modificado).

Graph channel limits: Estos espacios permiten al usuario determinar el canal inicial y el canal final que se desplegarán en la gráfica obteniendo así un acercamiento de la gráfica en X.

Full Y scale: Si esta opción está seleccionada, el sistema realiza automáticamente el cálculo del máximo y el mínimo de la gráfica; de lo contrario, el usuario puede establecer los límites en Y.

Print window: Permite imprimir la información de la ventana.

Save graph to PPM file: Almacena la gráfica en un archivo PPM.

Reload original profile: Regresa la gráfica a su estado original, descartando cualquier modificación realizada por el usuario.

Replace 3D profile in the AD3 file: Modifica el archivo 3D reemplazando los valores originales del archivo con los valores modificados dentro de la gráfica. Después de realizar esta operación, todas las celdas que hayan sido seleccionadas en la ventana principal, tendrán el mismo perfil.

Return (quit graph): Esconde la ventana actual y regresa a la ventana anterior.

7. Modificación de la imagen

Este módulo permite que se realicen modificaciones directamente sobre la imagen en 2D. Para activar el módulo es necesario seleccionar el botón con el texto *image modification* del menú ilustrado en la Figura C.7, al hacerlo aparecerá el siguiente recuadro dentro de la ventana:

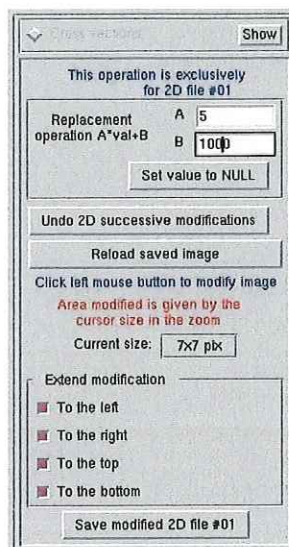


Figura C.12. Opciones para modificar la imagen.

Las modificaciones realizadas tendrán efecto sólo sobre la imagen en 2D #1. En caso de haber otras imágenes abiertas no podrán ser seleccionadas para aplicar los cambios a menos que se abran como imagen #1 desde la pestaña de parámetros.

Una nota importante es que el tamaño del cursor está definido mediante el menú que se muestra en la Figura C.5. Por ejemplo, si el tamaño del cursor es de 7x7 píxeles, un área de 49 píxeles cambiará de manera simultánea al presionar el botón izquierdo del mouse sobre la imagen.

Procedimiento para la modificación: El usuario debe presionar el botón izquierdo del mouse sobre algún punto dentro de la imagen 2D con lo cual el valor de la región cambiará por el valor nuevo dado por la ecuación indicada en el siguiente párrafo. Sin

embargo, el cambio se efectuará en un archivo temporal que será borrado al terminar la sesión de ADHOC/. Para que el cambio sea almacenado se debe presionar el botón con el texto *Save modified 2D file #1* (ver Figura C.12).

Operación de reemplazo: La operación que genera el valor que reemplazará al valor viejo está dada por: $A * \text{valor_anterior} + B$. Si $A = 1$ y $B = 0$ el valor permanece sin alteración alguna.

Set value to NULL: Inicializa las variables A y B con los valores descritos en el párrafo anterior de tal forma que no haya cambios en la imagen.

Extensions of the modification: En la Figura C.12 se muestran las cuatro opciones bajo este título. Si uno o más de estos botones se seleccionan, el cambio de valor de los pixeles se realiza a lo largo del área establecida (derecha/izquierda/arriba/abajo). Gracias a este método, el usuario puede “limpiar” una imagen que, usando sólo el tamaño del cursor, sería demasiado complejo.

Save modified 2D file #1: Reemplaza la imagen anterior con la imagen modificada para almacenarla en disco. Todas la demás imágenes que puedan estar abiertas permanecen sin cambios.

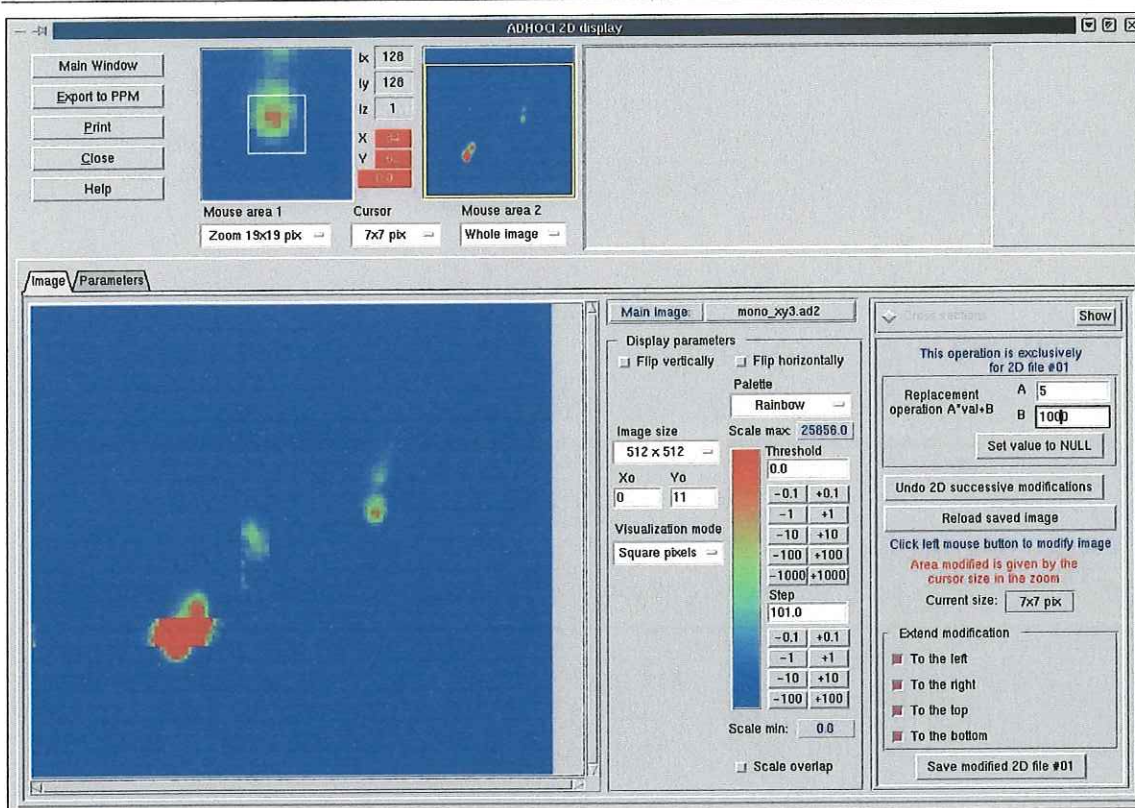


Figura C.13. Ventana para modificar la imagen.

La Figura C.13 muestra el efecto de una modificación a la imagen donde el tamaño del cursor es de 7x7 píxeles; el corrimiento es hacia todos los lados (arriba, abajo, izquierda y derecha, como se observa en el recuadro del módulo) y los valores A y B son 5 y 1,000 respectivamente.

8. Cinemática de galaxias

Esta función permite obtener curvas de rotación y distribución de masa a partir de un archivo 2D de velocidades radiales.

NOTA IMPORTANTE: La selección de pixeles se realiza utilizando los valores ρ y θ , los cuales representan coordenadas en el cielo. ρ es la distancia respecto al centro de rotación y θ es el ángulo de posición.

Las gráficas (puntos de velocidad radial o de rotación, pixeles individuales) utilizan los valores ρ' y θ' , los cuales son coordenadas galácticas. ρ' es la distancia al centro de rotación y θ' es el ángulo de posición. ρ' y θ' son las coordenadas polares en el plano de la galaxia, ρ y θ son las coordenadas polares en el plano del cielo. θ y θ' son los ángulos relacionados con el ángulo de posición PA. ρ , θ , ρ' y θ' están conectadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tan\theta' = \frac{\tan\theta}{\cos i} \quad \text{Ec. C.1}$$

$$\rho' = \frac{\rho \cdot \cos\theta}{\cos\theta'} \quad \text{Ec. C.2}$$

donde i es la inclinación respecto al plano del cielo (0 si la galaxia está de frente y 90 si está de canto).

Si el usuario selecciona *kinematics of galaxies* mediante el menú de módulos, en la parte derecha de la pestaña aparecerán las opciones que se muestran en la Figura C.14.

Cinematic actions Show

Parameters file Load file Save to file

Selection parameters ☐ Auto save

Projected rotation

Fixed parameters Params (r)

Center of rotation Xc Yc

System velocity km/s

incl w/r sky PA w/r top 1/2 sector deg

Graph parameters

1 2 Quadrant 2+3 in pos 2

3 4 CROWNS blue-red

crowns pix

Rmin pix Vmin km/s

Rmax pix Vmax km/s

More/zoom Redraw graph

Shift: bold RV points

Figura C.14. Opciones para la cinemática de galaxias.

Una vez que el usuario ha introducido los datos necesarios para crear una gráfica de velocidades, sólo tiene que presionar el botón con la leyenda *Redraw graph*, localizado en la parte inferior del recuadro; al hacerlo, la ventana se verá de la siguiente manera:

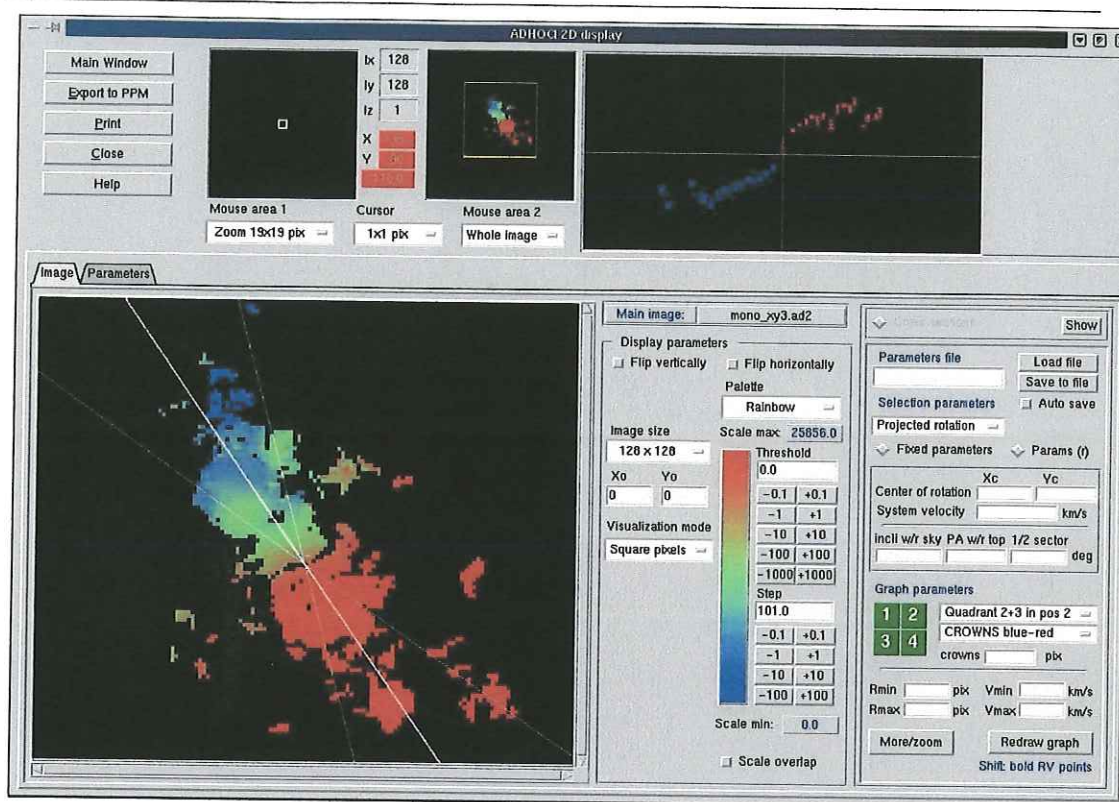


Figura C.15. Ventana para hacer cálculos sobre la cinemática de galaxias.

Parameter file: En esta caja de texto se debe introducir el nombre de un archivo existente de tipo ADK (formato especial utilizado en ADHOC, el cual contiene datos para la cinemática en formato ASCII).

Load file: Abre un archivo tipo ADK mediante una ventana de diálogo semejante a la ilustrada en la Figura C.3. En dicho archivo se encuentran los parámetros necesarios para desplegar los resultados de la cinemática de un objeto dado.

Save to file: Almacena los parámetros de la cinemática en un archivo ADK.

Auto save: Si esta opción se habilita, el archivo de parámetros se actualiza cada vez que se efectúa una modificación.

Center of rotation: En las cajas de texto con los encabezados X_c y Y_c se introducen las coordenadas donde se estima que se localiza el centro de rotación del sistema. Se aceptan valores de punto flotante.

Velocidad sistémica: Es la velocidad real del centro (coherente con los valores de las velocidades radiales contenidas en el archivo 2D).

Velocidades de rotación/velocidades radiales/rotación proyectada: Aquí el usuario debe elegir lo que desea ver representado en la gráfica:

 Velocidad de rotación	$V_{rot} = \frac{(RV - V_s)}{\sin i \cos \theta'}$	Ec. C.3
---	--	----------------

 Velocidad radial	RV (obtenido directamente del archivo 2D)	
--	---	--

 Rotación proyectada	$PR = \frac{(RV - V_s)}{\cos \theta'} + V_s$	Ec. C.4
--	--	----------------

donde, RV es la velocidad radial observada, V_s es la velocidad sistémica del objeto, i es el ángulo de inclinación. El resto de las variables se explicaron al inicio de esta sección.

La principal ecuación general básica es:

$$RV = V_s + (V_{rot} \cdot \sin i \cdot \sin \theta') + (V_{exp} \cdot \sin i \cdot \sin \theta') + (V_z \cdot \cos i) \quad \text{Ec. C.5}$$

donde V_{exp} es la velocidad de expansión (radial en el plano galáctico) y V_z es la velocidad en dirección perpendicular al plano galáctico.

Inclination with respect to sky plane (incli w/r sky): Es el ángulo de inclinación del plano de la galaxia con respecto al cielo (dado en grados) y es igual a 0 si la galaxia está de frente y 90 si la galaxia está de canto.

Position angle with respect to bottom-top (PA w/r top): PA (ángulo de posición) es el ángulo medido en grados sobre el plano del cielo con respecto a la vertical en la dirección contraria a las manecillas del reloj. PA es igual a 0 si apunta hacia la parte superior de la imagen 2D, 90 si apunta hacia la izquierda de la imagen, 180 si apunta hacia la parte inferior de la imagen y 270 si apunta hacia la derecha de la imagen.

Half sector angle (1/2 sector): Este ángulo representa la mitad del ángulo del sector definido a partir del centro de rotación tomando como eje una línea a lo largo del ángulo de posición.

Quadrants: Los cuadrantes del sector están numerados del 1 al 4 como se muestra gráficamente (mediante unos cuadrados de color verde) en el recuadro ilustrado en la Figura C.14.

Rmin, Rmax: Definen los límites de la gráfica en el eje X.

Vmin, Vmax: Definen los límites de la gráfica en el eje Y.

Redraw graph: Renueva la gráfica para representar en ella los cambios efectuados manualmente sobre los parámetros.

More/zoom: Este botón permite el acceso a una ventana más compleja en la que el usuario puede tener un mejor control de la gráfica, sobreponer curvas polinomiales y efectuar otras funciones adicionales.

Desplazamiento del cursor sobre el área seleccionada sobre la imagen principal:

Cuando el usuario coloca el cursor del mouse sobre un sector seleccionado sobre la imagen principal en 2D, un segundo cursor identifica el punto exacto que le corresponde sobre la gráfica de velocidades.

9. Apertura de varios archivos y lista de parámetros

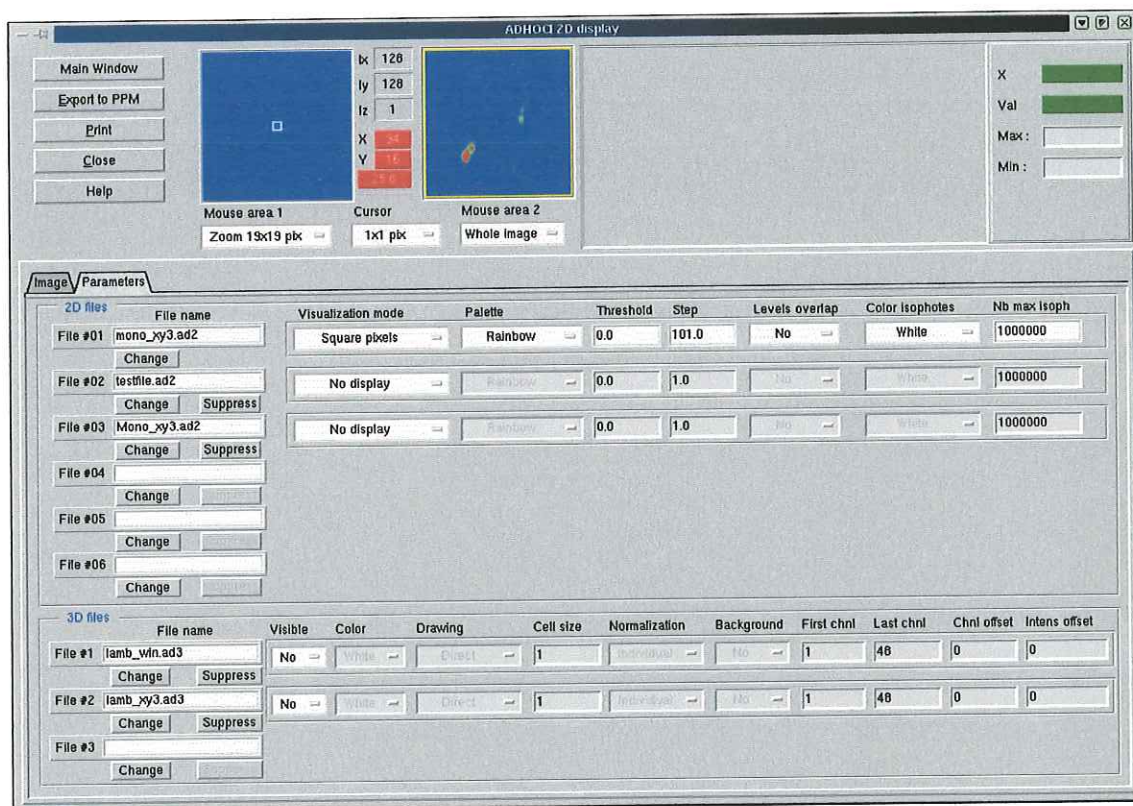


Figura C.16. Ventana para la pestaña de parámetros.

La pestaña de “parámetros” permite abrir hasta 6 archivos simultáneamente, aunque se puede visualizar sólo uno a la vez (la Figura C.16 muestra la apariencia de la

pestaña). Para todas estas imágenes es posible modificar los parámetros de despliegue. Al seleccionar una imagen para su despliegue en la pestaña “imagen”, automáticamente las demás (si las hay) se marcan como “no visibles”; de este modo, cualquier modificación que se efectúe sobre la imagen afecta solamente a la imagen desplegada.

Para cada imagen en 2D se tienen los siguientes parámetros:

Visualization mode:

not visible: la imagen no se despliega en la pestaña “imagen”.

square pixels: los pixeles se ven cuadrados al aumentar el tamaño de la imagen.

smoothed pixels: los pixeles se suavizan al aumentar la imagen para que no se note el cambio de un pixel a otro.

Palette:

rainbow: paleta arcoiris.

black & white: blanco y negro.

black & white inversed: blanco y negro invertido (como negativo).

square root: se aplica la raíz cuadrada en la conversión de los colores (resalta más algunos detalles de la imagen).

color 1: una variación de la paleta arcoiris.

color 2: 16 niveles de color.

color 3: para discriminar grandes dinámicas.

Threshold, step, overlapping:

Ya se explicó antes.

10. Superposición/modificación de perfiles en 3D

La pestaña de “parámetros”, en la sección “*3D files*” (ver Figura C.16), ofrece la posibilidad de definir hasta tres archivos en 3D para sobreponer los perfiles sobre una imagen 2D.

En la Figura C.16 se observan los diversos menús con los que se puede modificar el despliegue de los perfiles. A continuación se explica cada uno de ellos:

Visible: Si el valor de este menú es “no”, los perfiles no se desplegarán sobre la imagen y no se podrá realizar ninguna modificación que involucre al archivo 3D.

Color: Color con el que se dibujarán los perfiles sobre la imagen.

Cell: Indica el tamaño de la celda para el perfil de integración. Por ejemplo, un valor de 3 significa que se integrarán $3 \times 3 = 9$ píxeles.

Normalization: La opción “individual” significa que la normalización se lleva a cabo en cada celda; “global” significa que la normalización se realiza con respecto al valor máximo de todas las celdas.

Chnl offset: Permite desplazar en X las gráficas para obtener perfiles de Fabry-Perot (módulo) con el fin de desplegar el máximo de la línea en una ubicación conveniente. Por defecto, el valor de *Chnl offset* es igual a cero. Se pueden introducir números negativos o positivos siempre y cuando estén dentro del límite de la cantidad de canales del cubo.

Intens offset: El perfil se desplaza en Y con el fin de separar los diferentes perfiles provenientes de otros archivos 3D. La operación realizada es simplemente una adición entre el valor original del despliegue y el número introducido en el espacio correspondiente a *Intens offset*. El valor por defecto es cero.

Al regresar a la pestaña *Image* la ventana se desplegará como se ilustra en la Figura C.9. Para esto es necesario que se haya activado uno de los archivos 3D, es decir, el menú *visible* debe tener la opción *yes*.

C.3.3.2 Visualizador 3D

1. Apertura del primer archivo en una sesión de ADHOC/ 3D

Al elegir con el mouse la opción *3D display program* que se muestra en la Figura C.1 y tras presionar el botón *OK*, aparece la siguiente ventana:

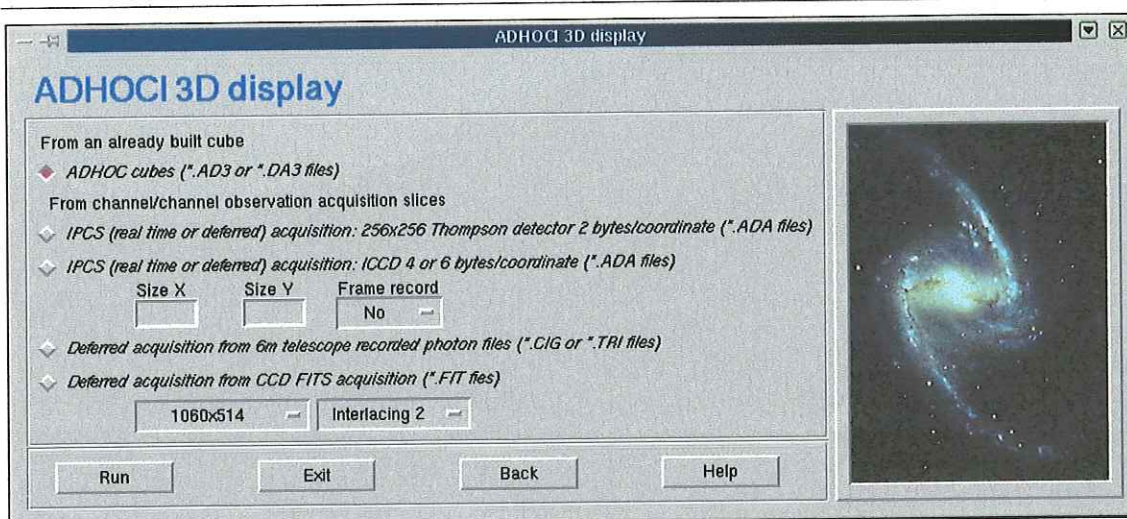


Figura C.17. Ventana para elegir el tipo de archivo 3D que se va a abrir.

Según se observa en la Figura C.17, son dos los tipos de archivo que se pueden abrir para visualizar en 3D: AD3 y FITS. Nuevamente, usando el mouse se selecciona el tipo de archivo deseado y se presiona el botón *OK* para que aparezca la ventana principal del despliegue en 3D ilustrada en la Figura C.18.

2. Ventana principal para el despliegue en 3D

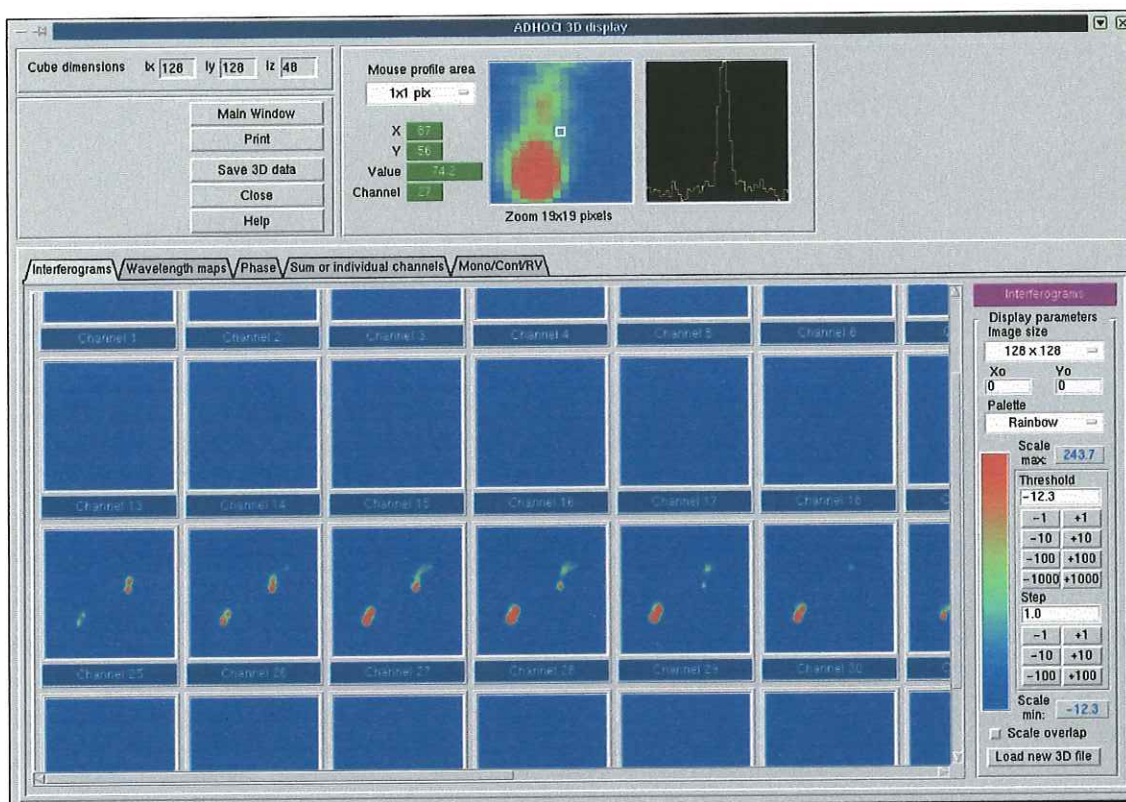


Figura C.18. Ventana principal del visualizador 3D

En la Figura C.18 se pueden apreciar las pestañas disponibles para visualizar diferente información: *interferograms* (interferogramas), *wavelength maps* (mapas de longitud de onda), *phase* (archivos de fase en 2D), *sum or individual channels* (despliegue de canales individuales), *Mono/Cont/RV* (monocromaticidad/continuidad/velocidades radiales).

La ventana principal del visualizador 3D muestra el despliegue de los canales contenidos en un cubo de interferogramas. Al abrir un cubo de interferogramas se tiene acceso a dos pestañas: *interferograms* y *sum or individual channels*. En la Figura C.18 se muestra la pestaña *interferograms*. La pestaña *wavelength maps* es semejante a *interferograms*.

3. Funciones generales

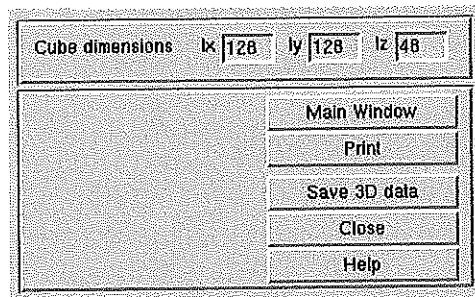


Figura C.19. Funciones generales de ADHOC/3D.

La Figura C.19 muestra las opciones localizadas en la parte superior izquierda de la ventana principal. En la parte superior de la figura se observan las dimensiones del cubo que se está desplegando (lx = longitud en x , ly = longitud en y y lz = número de canales). En la parte inferior se encuentran algunos botones para realizar las funciones más generales del visualizador 3D:

Main Window: Permite regresar a la ventana inicial de ADHOC/ (ver Figura C.1).

Print: Imprime el contenido de la pestaña actual.

Save to PPM: Almacena en disco la imagen de la pestaña actual con formato PPM.

Close: Termina la sesión de ADHOC/.

Help: Abre el manual de usuario para ADHOC/ 3D.

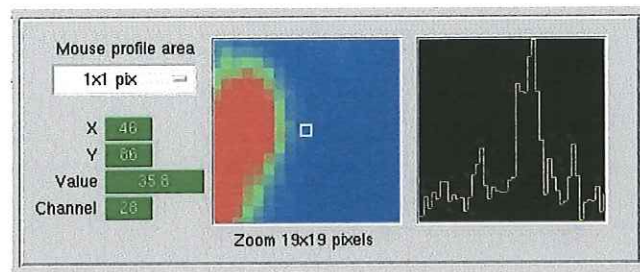


Figura C.20. Datos generales del despliegue.

En la parte superior central de la ventana principal se localizan los elementos ilustrados en la Figura C.20. Estos elementos funcionan igual para todas las pestañas y se trata, básicamente, de datos relacionados con el cubo o imagen del despliegue actual:

Mouse profile area: Permite elegir el tamaño del cursor; como resultado el valor del pixel será el promedio de los valores contenidos en la celda.

X: Muestra la posición x del cursor sobre una imagen.

Y: Muestra la posición y del cursor sobre una imagen.

Value: Muestra el valor (intensidad) del pixel señalado por la posición (x, y) .

Channel: Muestra el número del canal (imagen) actual, señalado por la posición del cursor.

Región de la imagen: La imagen de la izquierda con la leyenda *Zoom 19x19 pixels*, corresponde a una porción aumentada de 19x19 pixeles alrededor de la posición actual del cursor sobre alguna de las imágenes.

Área de perfil: Al mover el cursor sobre alguna de las imágenes se genera una gráfica del perfil de integración de la celda señalada. En el espacio de la derecha se despliega dicha gráfica. Si el tamaño del cursor es mayor que un pixel cuadrado, el valor de cada canal, en la gráfica, será igual a la suma de todos los pixeles dentro de la celda. Una pequeña marca en la parte superior de la gráfica, indica el canal donde se ubica el cursor actualmente.

4. Pestaña de interferogramas

Volviendo a la Figura C.18, dentro de la pestaña de interferogramas se observa un espacio grande donde se localizan las imágenes que componen el cubo de datos. Cada imagen cuenta con el número de canal que sirve para identificar su posición dentro del cubo. Para poder visualizar todos los canales es necesario emplear el mouse para “arrastrar” las barras (*scrollbars*) localizadas en las partes inferior y derecha del espacio de despliegue.

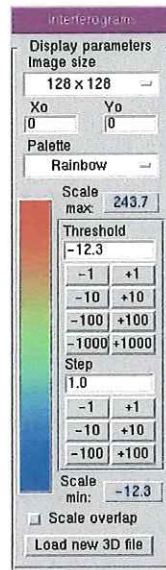


Figura C.21. Barra de funciones que se pueden efectuar sobre la imagen.

Las acciones que se pueden realizar sobre las imágenes se ilustran en la Figura C.21. En general, éstas son las opciones disponibles para todas las pestañas, excepto por el botón localizado en la parte inferior. A continuación se describirá brevemente la función que realiza cada elemento de la Figura C.21:

Graph area: Permite visualizar todos los canales al mismo tiempo, reduciéndolos a un tamaño tal que quepan en el espacio de despliegue.

Image size: Es un menú que permite cambiar el tamaño de las imágenes (sin cambiar el tamaño del espacio donde están contenidas).

X₀, Y₀: Coordenadas que se desplegarán en la esquina superior-izquierda de los recuadros de las imágenes. Esta función es útil cuando se ha aumentado el tamaño de la imagen, evitando que se visualice completa dentro de su espacio; al indicar las

coordenadas de la esquina superior izquierda se podrá mover la imagen para ver diferentes regiones de la misma.

Palette: Permite cambiar la paleta de colores por alguna de las siete opciones disponibles.

Step, threshold y scale overlap: La correspondencia entre los valores de la imagen y las tablas de color se obtiene a partir de tres parámetros: *threshold* (valor más bajo en el despliegue), *step* (espacio entre cada color) y *scale overlap* (la posibilidad de “traslapar” la escala de colores). Si no se habilita la opción *scale overlap*, todos los valores que sean mayores que el último paso (*step*) se despliegan del mismo color que el valor máximo (indicado por *step*); de lo contrario, al pasar el número máximo, la escala de color se repite desde el valor más bajo. Para cambiar los valores de *threshold* y *step* existen dos métodos: presionando los botones con valores fijos o introduciendo manualmente los valores deseados dentro de los espacios señalados para ello.

Como se ilustra en la Figura C.21, para la pestaña de interferogramas, se incluye el botón *Load new 3D file*, el cual permite abrir otro archivo en 3D. Al abrir otro archivo, automáticamente se actualiza el despliegue de la pestaña *Sum or individual channels* debido a que están relacionadas (la relación que existe entre éstas dos pestañas se explica en los siguientes párrafos). Un punto importante que se debe tomar en cuenta es que al realizar una modificación, ésta afectará a todas las imágenes.

5. Despliegue principal en 2D (canales individuales)

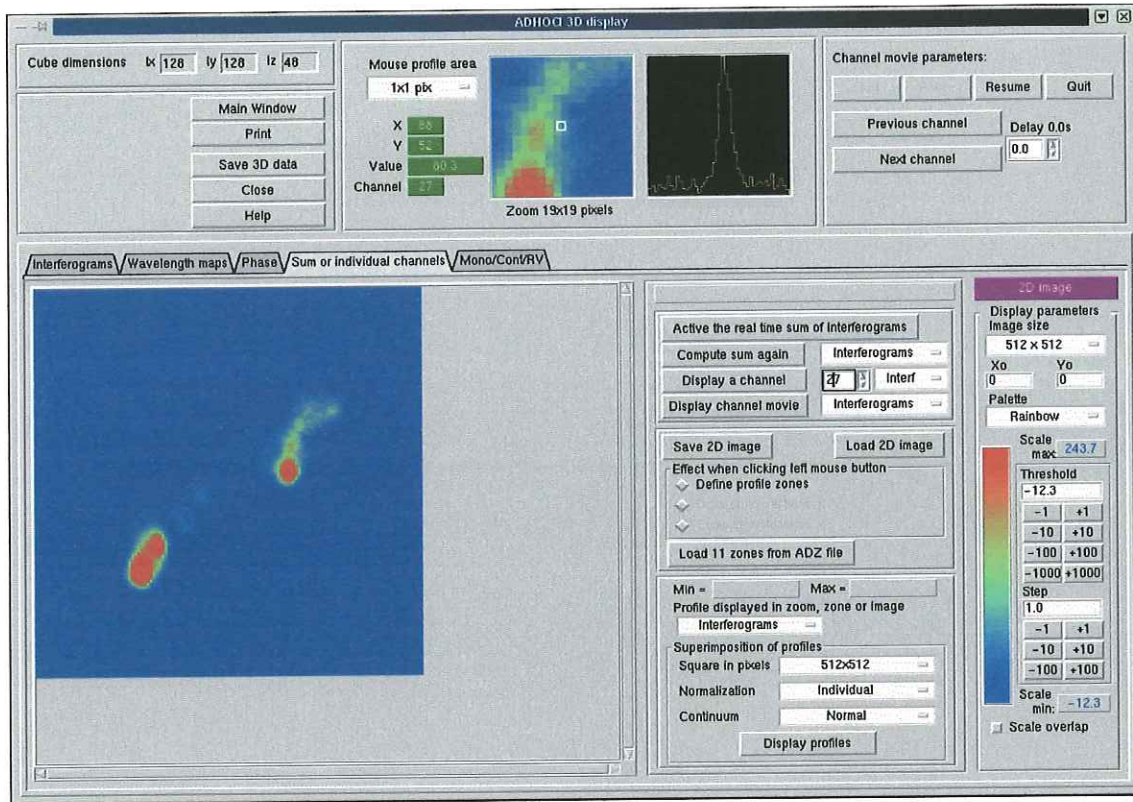


Figura C.22. Pestaña *sum or individual channels* dentro de ADHOC/3D.

En la Figura C.22 se muestra el contenido de la pestaña *Sum or individual channels*. Su propósito principal es permitir al usuario visualizar y modificar las imágenes de un cubo, de manera individual. Al abrir un cubo en la pestaña de interferogramas, automáticamente se habilita esta pestaña para poder visualizar las imágenes en cuestión; sin embargo, aquí también se pueden visualizar las imágenes de un cubo que se haya abierto desde la pestaña *wavelength maps*.

En la pestaña *sum or individual channels* hay dos secciones que destacan: la primera (localizada a la derecha de la ventana), se encarga de las modificaciones a la imagen (ver explicación de la Figura C.21); la segunda, es la que se muestra en la Figura C.23 que a continuación se explica.

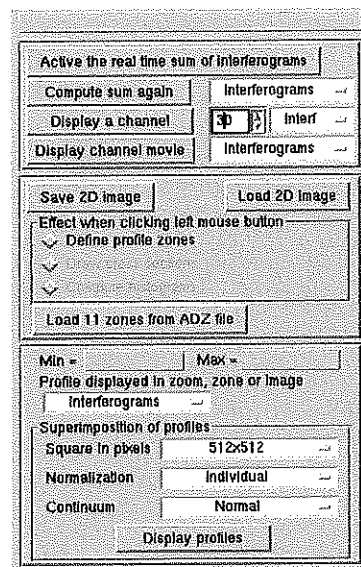


Figura C.23. Acciones principales de *sum or individual channels*.

Compute sum again: Al presionar este botón se efectúa la suma de todos los canales y se despliega la imagen resultante. Se proporciona un menú para elegir el cubo que se sumará (interferogramas o mapas de longitud de onda).

Display a channel: Permite desplegar un canal dado a partir de un cubo que ha sido abierto previamente. En el espacio del centro se introduce el número del canal que se desea desplegar (el número de canal varía desde 1 hasta el canal máximo) y luego se

presiona el botón indicado. A la derecha se encuentra un menú que permite elegir la memoria 3D que se desea desplegar (interferogramas o mapas de longitud de onda).

Display channel movie: De la misma forma que en las opciones anteriores, el usuario puede seleccionar, mediante un menú, la memoria 3D que desea involucrar para esta acción (interferogramas o mapas de longitud de onda). Al presionar el botón correspondiente aparecerán, en la parte superior derecha de la ventana principal, los elementos gráficos que se ilustran en la Figura C.24.

Save 2D image: Permite almacenar en un archivo con formato .AD2 el canal desplegado.

Load 2D image: Permite abrir un archivo con formato .AD2.

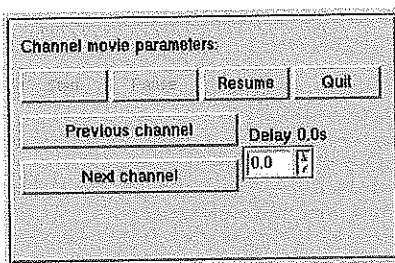


Figura C.24. Elementos para crear una película de los canales de un cubo.

En la Figura C.24 se presentan los elementos gráficos necesarios para crear una película de los canales del cubo seleccionado por el usuario (interferogramas o mapas de longitud de onda). La secuencia continúa de manera infinita hasta que el usuario presiona el botón *pause* para dejarla en espera o *quit* para salir del módulo.

Start: Inicia la secuencia a partir del primer canal.

Pause: Detiene la secuencia hasta que el usuario presiona el botón *resume*.

Resume: Continúa con la secuencia a partir del canal donde se quedó.

Quit: Cierra el módulo encargado de generar la película, quitando los elementos gráficos de la ventana principal. Los elementos vuelven a aparecer cuando el usuario presiona nuevamente el botón *display channel movie*.

Previous channel: Despliega el canal anterior. Esta opción sólo se puede usar cuando la secuencia está en pausa.

Next channel: Despliega el canal siguiente. Esta opción sólo se puede usar cuando la secuencia está en pausa.

Delay: En este espacio se introduce un número que representa el tiempo en segundos (0.0s) que tomará la transición de una imagen a la siguiente, en la secuencia. El valor por defecto es 0.0s.

APÉNDICE D**GLOSARIO**

- Ancho de banda** En sistemas de transmisión eléctrica, es el rango entre la frecuencia de transmisión más alta y la más baja a través de un canal. Es la medida de la capacidad de transmisión de información a través de un canal. El ancho de banda varía dependiendo del tipo y método de transmisión y se mide en Hertz (Hz, ciclos por segundo).
- Arreglos de microlentes** Una microlente es una lente con dimensiones del orden de micras normalmente generada mediante procesos litográficos. Un arreglo de ellas junta varias microlentes en un solo paquete y se emplean en técnicas de adquisición dinámica de imágenes y en óptica adaptativa.
- Bias** En una cámara con sistema CCD, es la intensidad mínima requerida para cada exposición (equivalente a realizar una exposición de cero segundos con la lente cerrada). Sin agregar luz, el bias permite que la carga se extraiga del CCD al mismo tiempo que eleva el nivel de intensidad lo suficiente para asegurar que la cámara no envíe un número negativo al convertidor A/D (el convertidor A/D trabaja solamente dentro

del conjunto de los números positivos y no tiene instrucciones para procesar números negativos). El bias, el cual no puede ser manipulado por el usuario, se ajusta en la fábrica y permanece estable durante el tiempo de vida de la cámara.

Binning

En tecnología CDD para obtener imágenes, el *binning* involucra la combinación de cargas de pixeles adyacentes en una tarjeta de CCD para crear pixeles más grandes. Esto se efectúa con el propósito de incrementar la sensibilidad o para ajustar un telescopio con una gran longitud focal a una cámara CCD con pixeles muy pequeños. Ayuda a mejorar la razón señal-ruido con una significativa pérdida de detalle en la imagen (resolución espacial).

Campo de visión en el cielo

Se dice de la porción del cielo que es posible ver con un telescopio, lo cual depende del detector que va a usarse. Generalmente, se da en términos de minutos o segundos de arco.

CCD

CCD es el acrónimo para Charge Coupled Device (Dispositivo por Acoplamiento de Carga), el cual es un dispositivo electrónico muy sensible que está revolucionando la astronomía desde hace varios años. Las cámaras con CCD están compuestas por chips de silicón que son sensibles a la luz, los fotones de luz que chocan con la superficie se

transforman en señales eléctricas. El propósito del CCD es coleccionar estos electrones en localidades, llamadas pixeles, durante el tiempo de exposición. Posteriormente, los pixeles se vacían hacia el controlador del CCD para crear imágenes de objetos astronómicos o para analizar cuánta luz se puede recibir de dichos objetos. Los CCDs requieren de equipo de cómputo para la reducción de los datos, así que los costos pueden llegar a ser muy altos; sin embargo, vale la pena tomando en cuenta que los CCDs pueden detectar objetos mucho más tenues que los que captaría una cámara convencional. Los CCDs sin filtro tienden a ser más sensibles al rojo que el ojo humano.

CCD EEV 42-80 CCD fabricado por la compañía E2V. Cuenta con 4096x2048 pixeles cuadrados de 15 micras cada uno.

CCD TEK1024 CCD fabricado por Tektronix (ahora SiTe). Cuenta con 1024x1024 pixeles cuadrados de 24 micras.

Cénit Punto del hemisferio celeste superior al horizonte, que corresponde verticalmente a un lugar de la Tierra. El punto que se eleva 90° sobre el horizonte de un observador dado.

Cercano infrarrojo Intervalo del espectro electromagnético comprendido entre 0.7 y 1.1 micras de longitud de onda. La luz infrarroja que se observa en esta región no es térmica (no está producida por la

radiación de calor). El cercano infrarrojo es la región donde el polvo interestelar es más transparente a la luz infrarroja, por lo que las estrellas azules calientes, presentes en las imágenes en luz visible, van desapareciendo, mientras que las estrellas más frías comienzan a ser detectadas. Muchas estrellas que son demasiado débiles para ser detectadas en luz visible, fueron descubiertas por primera vez en el cercano infrarrojo.

Cinemática

Es una rama de la dinámica que estudia el movimiento de los cuerpos excluyendo la influencia de masa y fuerza. Incluye desplazamiento, velocidad y aceleración sin tomar en cuenta las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

Coherente

Conexión, relación o unión de unas cosas con otras.

Colimador

Anteojo que va montado sobre los grandes telescopios astronómicos para facilitar su puntería, tiene por misión colimar los rayos luminosos.

Colimar

Obtener un haz de rayos paralelos a partir de un foco luminoso.

Configuración $f/7.5$

Relación entre el diámetro del espejo principal y la distancia focal f .

Crepúsculo

Claridad que hay desde que raya el día hasta que sale el Sol, y desde que éste se pone hasta que es de noche. Tiempo que dura esta claridad.

Chip

Término utilizado como sinónimo de *circuito integrado*,

	<i>microchip</i> o <i>semiconductor</i> . Es el componente electrónico más esencial de una computadora. Consiste de una pequeña pieza de material semiconductor (típicamente silicón) con una gran cantidad de componentes eléctricos empotrados en ella. Conforme avanza la tecnología los circuitos integrados son cada vez más pequeños y contienen más transistores.
Datos espectroscópicos	Son los que se obtienen mediante el análisis espectroscópico. Este análisis se basa en la notable propiedad de los cuerpos de poseer todos un espectro característico y que permite determinar, en una mezcla, la presencia de un elemento que entre en su composición en una porción tan pequeña como una millonésima.
Depletion (agotamiento, disminución)	La región de un semiconductor en el que un campo eléctrico ha limpiado todos los portadores libres de carga tales como electrones. El campo se puede aplicar por voltaje a un electrodo de metal en la superficie del silicón.
Electrodo	Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.
Electrovolts/electrón-volt	Energía necesaria para que un electrón venza una diferencia de potencial igual a 1 volt.
Embebido	De embeber; incorporar una cosa inmaterial dentro de sí a otra.
Emulsión fotográfica	Sustancia sensible a la luz que se deposita sobre un material

	sólido en la que se forman las imágenes en una fotografía.
Espectro	En astronomía un espectro se refiere a la descomposición de la luz en sus diferentes colores, o de manera más general a la descomposición de la radiación electromagnética en diversas longitudes de onda. El análisis del espectro de un objeto permite conocer su velocidad, temperatura, composición química, etc.
Espectroscopía	Conjunto de conocimientos referentes al análisis de espectros.
Filtros de interferencia	Filtros que permiten el paso de la luz de cierta longitud de onda con una tolerancia muy pequeña.
Foco Cassegrain	Punto de convergencia del haz luminoso en un telescopio tipo Cassegrain.
Fotoelectricidad	Electricidad producida por el desprendimiento de electrones bajo la acción de la luz.
Fotoeléctrico	Perteneciente o relativo a la acción de la luz sobre ciertos fenómenos eléctricos; como la variación de la resistencia de algunos cuerpos cuando reciben radiaciones luminosas de una determinada longitud de onda.
Fotolitrográfica	Arte de fijar y reproducir dibujos en piedra litográfica, mediante la acción química de la luz sobre sustancias convenientemente preparadas.
Fotón	Cada una de las partículas de que parece estar constituida la luz

	y, en general, la radiación, en aquellos fenómenos en que se manifiesta su naturaleza corpuscular.
Grisma	Dispositivo que dispersa la luz a la manera de un prisma o de una rejilla de dispersión.
Halo luminoso	Círculo de luz difusa en torno de un cuerpo luminoso.
Haz colimado	Conjunto de rayos luminosos de un mismo origen.
Interferencia	Acción recíproca de las ondas, ya sea en el agua, ya en la propagación del sonido, del calor o de la luz, etc., de que resulta, en ciertas condiciones, aumento, disminución o neutralización del movimiento ondulatorio.
Interferómetro de Fabry-Perot	Es un dispositivo espectroscópico de alto poder de resolución. Consiste de dos superficies planas, paralelas, altamente reflectantes y separadas por una distancia d la cual generalmente varía de algunos milímetros a varios centímetros. El espacio d puede variarse mecánicamente con el movimiento de una de las superficies planas.
Ión	Átomo, molécula o grupo de moléculas con carga eléctrica.
Ionización	Disociar una molécula en iones o convertir un átomo o molécula en ion.
Lámpara de calibración	Lámpara que emite luz de longitudes de onda conocidas.
Led	Abreviación de <i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emisor de Luz).

	Un dispositivo semiconductor que emite luz visible cuando conduce corriente. Usa significativamente menos potencia, libera menos calor y dura mucho más que un foco incandescente.
Longitud de onda	Se dice de la distancia que hay, en una onda, entre dos picos o dos valles consecutivos.
Material dieléctrico	Material aislante.
Micra	Millonésima parte de un metro, o milésima parte de un milímetro.
Nebulosa planetaria	Es una estrella que fue como el Sol y que ahora se encuentra en las etapas finales de su evolución. Se trata de una estrella expandida en cuyo centro se encuentra lo que fue el núcleo estelar. Su nombre proviene de su color verde y de su aspecto redondo.
Oblea	Hoja muy delgada, de cualquier material, con forma circular.
Obturador	Dispositivo que interrumpe o permite el paso de la luz. Generalmente es de acción muy rápida.
Openwindows	El paquete OpenWindows es una implementación de X Window para Sun Microsystem Inc. Es un protocolo para la interfaz gráfica X Windows.
Parámetros de despliegue	Características de la imagen que se pueden modificar mediante el uso del sistema computacional ADHOC/. Las características

	son: tamaño, orientación, paleta de colores, umbrales y suavidad de los píxeles.
Plano focal	Superficie imaginaria, que no siempre es un plano, donde se enfocan todos los objetos observados con un dispositivo óptico, en particular con un telescopio.
Presión	Fuerza que ejerce un cuerpo sobre cada unidad de superficie.
PUMA	Es un espectrógrafo nebulas para el estudio de la cinemática de galaxias y del medio interestelar.
Reducción de datos	Proceso por el cual se extrae toda la información relevante de un conjunto de datos científicos.
Reductor focal	Dispositivo que se puede insertar en un aparato óptico para reducir el número f (distancia focal).
Reflexión vs. refracción	Reflexión es el fenómeno que ocurre cuando ondas (de luz o sonido) chocan con una superficie y cambian de dirección mas no de longitud de onda. En el fenómeno de refracción, las ondas pasan a través del medio, el cual puede modificar su dirección y su longitud de onda.
Registro serie	Registro en un CCD capaz de contener un renglón completo del CCD, del cual se van extrayendo los píxeles uno por uno.
Rejilla	Arreglo de rendijas en un dispositivo espectroscópico donde se desea analizar el espectro de varios objetos o regiones al mismo tiempo.

Remanente de supernova	Gas en expansión que se produjo durante la explosión de una supernova. Un ejemplo bien conocido es la nebulosa del Cangrejo. La velocidad de los gases es de varios miles de kilómetros por segundo. Los gases expulsados durante la explosión arrastran a los del medio interestelar.
Resolución espacial	Es la capacidad de distinguir dos objetos suficientemente juntos en una imagen. Así, en una imagen del cielo, una alta resolución espacial permite distinguir dos estrellas suficientemente cercanas. Algo típico es 1 segundo de arco, pero con las nuevas tecnologías esto está llegando a $0.1 \sim 0.2$ segundos de arco.
Resolución espectral	El “poder de resolución” es un concepto teórico que está dado por $R = \lambda / \Delta\lambda$ donde, $\Delta\lambda$ es la diferencia de longitud de onda entre dos líneas espectrales de igual intensidad. Por lo tanto, la resolución consiste en la habilidad del instrumento para separar líneas espectrales adyacentes.
Sistema operativo	El programa más importante contenido en una computadora. El sistema operativo (OS en inglés), es una colección de programas que, juntos, manejan todas las funciones básicas de una computadora y permite que otros programas, que se estén ejecutando simultáneamente, coexistan pacíficamente. El OS

es el primer programa que se ejecuta al prender la computadora y permanece en ejecución durante todo el tiempo que ésta esté encendida. El OS también es responsable de ocultar los detalles del hardware de la computadora a los ojos del programador. El OS realiza operaciones básicas tales como reconocimiento de la entrada de datos a través del teclado, envío de datos al dispositivo de salida (monitor), mantener control de archivos y directorios en los dispositivos de almacenamiento; es el responsable de administrar los recursos del sistema incluyendo memoria, tiempos de la unidad central de procesamiento (CPU), espacio del disco duro y dispositivos periféricos (como bocinas, mouse, módem, impresora, etc.). Es la base sobre la cual se ejecutan otros programas como procesadores de texto, hojas de cálculo, juegos, etc. DOS y Windows XP son ejemplos de OS para PCs; OS 9.2 y OS X son ejemplos de OS para Machintosh. Unix y Sun son también OS.

SNR	Relación Señal a Ruido. Cociente entre el tamaño promedio de la señal y el promedio del ruido.
Telescopio de campo amplio	Telescopio capaz de ver una sección grande en el cielo.
Tensión	Estado de un cuerpo estirado por la acción de fuerzas que lo

solicitan.

UNIX

Es un sistema operativo interactivo inventado por Kenneth Thompson y Dennis Ritchie en 1969 en los Laboratorios Bell. Originalmente se distribuía de forma gratuita, ahora ha sido suplantado por diversas versiones propietarias. Unix es el primer sistema operativo desarrollado como un sistema portable. Esta característica permite que Unix se pueda utilizar como sistema operativo en casi cualquier tipo de computadora. Por ejemplo, existen sistemas operativos Unix funcionando en PCs, Machintosh, Sun e incluso en computadoras IBM. Desde sus primeros años se integró TCP/IP a Unix y es el sistema operativo más común para los servidores de internet (aunque no es el único). Al paso del tiempo, Unix ha tenido cambios y expansiones efectuadas por mucha gente alrededor del mundo (en particular Estados Unidos), dando como resultado, a principio de los 90's, un ambiente flexible y amigable. Unix es un término usado, en ocasiones, para describir sistemas operativos parecidos a Unix, por ejemplo, FreeBSD, Sun Solaris y Linux.

Voltio

Unidad de potencial eléctrico y de fuerza electromotriz en el sistema basado en el metro, el kilogramo, el segundo y el amperio. *Volt* es el nombre del voltio en la nomenclatura

internacional.

Voltaje

Cantidad de voltios que actúan en un aparato o sistema eléctrico.

REFERENCIAS

Arias, Lorena y Rosado, Margarita. Marzo de 1994. PAQUETE CIGALE, Reducción de Datos de un Interferómetro Fabry-Perot de Barrido. Comité Editorial de Publicaciones Técnicas. México, D. F. Pág. 2.

Arias, L., Langarica, R., Bernal, A., Rosado, M., Gutiérrez, L., Plana, H. y Castañeda, H. 1999. ESPECTRÓGRAFO INTEGRAL DE CAMPO PUMA, Modo Interferómetro Fabry-Perot de Barrido. Comité Editorial de las publicaciones técnicas, Instituto de Astronomía. Ensenada, B. C., México. Págs. 2-7, 29, 31, 32.

Bourke, Paul. Julio de 1997. PPM/PGM/PBM image files [en línea]. Australia. <http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/dataformats/ppm/>.

Catalina Gallego, Miguel y Catalina Gallego, Alfredo. 1999. UNIX/Linux. Primera edición. Editorial McGraw Hill. España. Págs. 9, 11, 12.

Davenhall, A. C., Privett, G. J. y Taylor, M. B. 16 de Agosto del 2001. The 2-D CCD Data Reduction Cookbook [en línea]. Starlink Cookbook 5. Council for the Central Laboratory of the Research Councils (CCLRC)/Rutherford Appleton Laboratory. Estados Unidos. <http://www.starlink.rl.ac.uk/star/docs/sc5.htx/sc5.html>.

Gutiérrez, Leonel y López, José Alberto. Los CCDs [en línea].

http://www.astrosen.unam.mx/~leonel/docs/notas/Sobre_CCDs.pdf

Hall, Jon “maddog”. 1999. Linux for Dummies. Segunda edición. Editorial IDG Books Worldwide, Inc. Foster City, CA, Estados Unidos. Págs. 12, 13.

Hearn, Donald y Baker, M. Pauline. 1995. Gráficas por computadora. Segunda edición. Editorial Prentice Hall. México. Págs. Xvii, 3, 25, 26, 32, 33, 35, 36, 46-52.

Hecht, Eugene y Zajac, Alfred. 1977. Óptica. Primera edición. Editorial Fondo Educativo Interamericano, S. A. Estados Unidos. Págs. 326-340.

Morris, R., Privett, G. J. y Davenhall, A. C. Diciembre de 1999. An Introduction to IRAF [en línea]. Starlink Guide 12. Council for the Central Laboratory of the Research Councils (CCLRC)/Rutherford Appleton Laboratory. Estados Unidos.
<http://www.starlink.rl.ac.uk/star/docs/sg12.htx/node12.html>.

Murray, James D. y VanRyper, William. 1994. Encyclopedia of graphic file formats. Primera edición. Editorial O'Reilly & Associates, Inc. Estados Unidos. Págs. 3-10, 13-15, 27-36.

Reyes Valenzuela, Atanacio. Agosto de 1999. Medición de movimiento armónico asistido por computadora. Tesis de licenciatura. UABC. México. Pág. 11.

Rosado, M., Bernal, A., Langarica, R., Cobos, F., Garfias, F., Gutiérrez, L., Tejada, C., Tinoco, S. y LeCoarer, E. Octubre de 1997. EL PUMA: Un Espectrógrafo Nebular para el Estudio de la Cinemática de Galaxias y de Medio Interestelar. SOMI XII. Memorias del Congreso de Instrumentación. México. Págs. 390-394.

Sommerville, Ian. 2001. Software engineering. Sexta edición. Editorial Iberoamericana. Estados Unidos. Págs. 3, 14.

Walter, Frederick M. 2001. PHY 445/515: Astronomy Experiments [en línea]. Advanced Physics Laboratory. Stony Brook, NY, Estados Unidos.
http://capa1.physics.sunysb.edu/~senior/astronomy/phy515_astro.html.

Welch, Brent B. 2000. Practical Programming in Tcl and Tk. Tercera edición. Editorial Prentice Hall. Estados Unidos. Págs. xlv-xlix, 603.

Wyant, James C. Enero del 2001. Multiple Beam Interference [en línea]. Optical Sciences Center, University of Arizona. Tucson, AZ, Estados Unidos.
<http://wyant.optics.arizona.edu/MultipleBeamInterference/MultipleBeamInterferenceNotes.html>.