



PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito parcial para
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

MÓDULO DE DESPLIEGUE DE IMÁGENES ASTRONÓMICAS EN TIEMPO REAL PARA EL TELESCOPIO “JÜRGEN STOCK” DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL DE LLANO DEL HATO

Por

Br. Iván Edilio Vivas Maldonado

Tutor: Prof. Andrés Arcia

Cotutor: Prof. Domingo Hernández

Asesora Industrial: MSc. Carmen Rodríguez

Agosto 2012

©2011 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

Módulo de Despliegue de Imágenes Astronómicas en Tiempo Real para el Telescopio “Jürgen Stock” del Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato

Br. Iván Edilio Vivas Maldonado

Proyecto de Grado — Investigación de Operaciones, 112 páginas

Resumen: El Módulo de Despliegue de Imágenes Astronómicas en Tiempo Real (MODIA) será parte del sistema que controla la cámara electrónica digital instalada en el telescopio *Jürgen Stock*, el más importante de los cuatro telescopios instalados en el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato (OAN). El OAN es administrado por el Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), el cual es el instituto más importante en el país en lo que a investigación astronómica se refiere.

El MODIA añade la funcionalidad de despliegue en tiempo real al sistema que controla la cámara digital instalada en el telescopio. Esta función se utilizará en las observaciones hechas en *modo rastreo o drift scan* (una de las dos modalidades para realizar observaciones en el telescopio *Jürgen Stock*), logrando con esto una evaluación visual preliminar de la calidad de las imágenes, además de minimizar el tiempo de reacción del observador para solventar problemas que surjan en una observación puesta en marcha. El MODIA está escrito en lenguaje C++, utilizando principalmente la biblioteca Qt. Se hace uso de estadística paramétrica para complementar algunas

técnicas de procesamiento de imágenes digitales, necesarias para realzar el contraste de la imagen astronómica, tales como el *Método de Expansión Lineal* y el *Algoritmo de la Media Truncada*.

Palabras clave: Procesamiento de Imágenes Digitales, Lenguaje C++, Biblioteca Qt, Despliegue de Imágenes Astronómicas, CCD, Telescopio Jürgen Stock.

Dedico este trabajo:

A Dios, por iluminarme y mostrarme el camino. Sé que estas ahí.

A Mary y María Claudia, por darle sentido a mi vida. Las amo.

A mis Padres y Hermanas, por su apoyo incondicional.

A la Familia Briceño Vivas, por darme tanta alegría.

A la Familia Rojas Gámez, por hacerme sentir uno más de ellos.

Índice general

Índice de Tablas	IX
Índice de Tablas	IX
Índice de Figuras	X
Agradecimientos	XIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Flujo de Datos	6
1.1.2. Interfaz Gráfica de usuario (IGU)	7
1.1.3. Despliegue de Imágenes en Tiempo Real	9
1.2. Justificación	10
1.3. Planteamiento del Problema	12
1.4. Objetivos	15

1.4.1. Objetivos Generales	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. Cronograma de Actividades	15
1.6. Cronograma de Evaluación	16
2. Marco Teórico	18
2.1. Centro de Investigaciones de Astronomía “Francisco J. Duarte” (CIDA)	18
2.1.1. Un Poco de Historia	18
2.1.2. Objetivos de la Organización	20
2.1.3. Modelos de la Organización	21
2.2. El Telescopio <i>Jürgen Stock</i>	22
2.3. La Cámara Electrónica Digital - Cámara QUEST	24
2.3.1. Sensores CCD's	25
2.3.2. Sistema de Electrónica de Control y Digitalización (SECD) . . .	27
2.3.3. Sistema de Adquisición y Almacenamiento de Datos (SAAD) . .	28
2.3.4. Sistemas de Refrigeración y Vacío	29
2.4. Proceso de Obtención de una Imagen Astronómica	30
2.5. Tipos de Observación	32
2.5.1. Modo Guiado o Apuntado	34
2.5.2. Modo Rastreo o Driftscan	34
2.6. La Imagen Digital	36
2.6.1. Representación del Color	37

2.6.2.	Tipos de Imágenes Rasterizadas	39
2.6.3.	Formato de Archivo de una Imagen Digital	41
2.6.4.	La Imagen Digital Generada por la Cámara QUEST	42
2.6.5.	Procesamiento de Imágenes Digitales	44
3.	Comunicación del Sistema de la Cámara QUEST	47
3.1.	Arquitectura Actual del Software del Sistema de la Cámara QUEST . .	50
3.1.1.	Características de las PCs del Sistema de la Cámara QUEST . .	52
3.2.	Arquitectura Cliente-Servidor	63
3.2.1.	Comunicación Cliente-Servidor: Sockets	65
3.3.	Estimación del Tiempo de Despliegue de la Imagen Astronómica	71
4.	Arquitectura y Funcionamiento del MODIA	75
4.1.	Arquitectura del MODIA	77
4.2.	Tareas del MODIA	78
4.2.1.	Leer una línea de la fuente	78
4.2.2.	Reescalar linealmente los datos de 16 bpp a 8 bpp	80
4.2.3.	Añadir la línea de datos a la imagen digital	81
4.2.4.	Procesar la imagen digital para realzar el contraste	82
4.2.5.	Desplegar la línea de la Imagen Digital	93
4.3.	Inconvenientes Presentados	95
4.4.	Logros Alcanzados	97

5. Conclusiones	99
Glosario	102
Bibliografía	108

Índice de Tablas

1.1. Cronograma de Actividades	16
1.2. Cronograma de Evaluaciones	17
3.1. Programas del Módulo Lector CCD	54
3.2. Programas del Módulo Analizador de Datos	55
3.3. Programas del Módulo Manejador de Datos	55
3.4. Programas del Servidor de Compresión	58
3.5. Direcciones IP de las Interfaces en los Equipos Cliente-Servidores	67

Índice de figuras

1.1. Sistema de la Cámara QUEST	5
1.2. Niveles del Sistema QUEST	7
1.3. Diferencia de Calidad entre Imágenes Astronómicas: (a), (b), (c)	14
2.1. Modelo Geográfico CIDA	21
2.2. Modelo Tecnológico CIDA	22
2.3. Telescopio <i>Jürgen Stock</i>	23
2.4. Sistema Óptico del Telescopio tipo Schmidt	24
2.5. Sensor CCD	26
2.6. Cámara QUEST	27
2.7. Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Imagen Astronómica	30
2.8. Trayectorias del Movimiento Sideral	33
2.9. Movimiento de Pivoteo de los Dedos de la Cámara QUEST	35
2.10. Mezcla por Adición de los Colores Primarios en el Modelo RGB	38
2.11. División de bits en 3 canales del Modelo RGB	41

2.12. Imagen Digital Astronómica Generada por la Cámara QUEST	43
2.13. Representación de una Imagen Digital	44
2.14. Espectro Electromagnético	45
3.1. Diagrama de Conexiones Sistema QUEST	48
3.2. Arquitectura Software Cámara QUEST	51
3.3. Diagrama de Conexiones	64
3.4. Diagrama de Flujo de la Función writen	68
3.5. Diagrama Temporal de Segmentos TCP	70
3.6. Diagrama de Conexiones	71
4.1. Nueva Arquitectura Software Cámara QUEST	76
4.2. Diagrama de Dependencias del MODIA	78
4.3. Diagrama de Flujo del Simulador del MODIA	79
4.4. División de bits en 3 Canales RGB de una Imagen de 24 bpp	81
4.5. Imagen Astronómica Desplegada Sin Realce de Contraste	82
4.6. Realce del Contraste por Transformación Logarítmica: (a), (b), (c)	84
4.7. Realce del Contraste por Transformación Potencial: (a), (b), (c)	84
4.8. Imágenes con sus Histogramas: (a), (b)	86
4.9. Imagen Transformada con Método de Histograma de Ecualización	87
4.10. Realce de Contraste por Expansión Lineal	88
4.11. Histograma de una Imagen Astronómica	89
4.12. Pruebas Gráficas de Normalidad: (a), (b)	91

4.13. Gráfico de la Función 4.4	93
4.14. Imagen Transformada con el Método de Expansión Lineal Modificada .	93
4.15. Interfaz Gráfica de Usuario del MODIA	95

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a la MSc. Carmen Rodríguez por proponerme este hermoso proyecto y por estar siempre disponible a ayudarme. Al Prof. Andrés Arcia por mostrar tanto interés en la tesis y por haber llevado el proyecto a niveles superiores a mis expectativas. Al Ing. Hernán Ramírez por creer en mis capacidades y darme la confianza para abordar este proyecto desde su raíz. Al Prof. Domingo Hernández por sus útiles indicaciones en la investigación. Al Ing. Gerardo Sánchez por compartir su valiosa experiencia en aspectos claves del desarrollo de mi tesis. A los Ingenieros Ernesto Ponsot Balaguer y Giovanni Modica por sus importantes aportes y consejos. A los Doctores Kathy Vivas, César Briceño, Juan Downes y Gladis Magris por sus comentarios y consejos que me ayudaron a proseguir con el proyecto. A los Tesistas de Física del CIDA por crear un ambiente grato de trabajo, compañerismo y solidaridad. A todo el personal de la Fundación CIDA, en especial a los Departamentos de Investigación, Técnico y Cómputo, por incluirme en sus reuniones de estudiantes y valorar los resultados del proyecto.

Introducción

Generalmente, los sistemas de información contienen subsistemas de menor relevancia, y estos a su vez, pueden ser componentes de sistemas más amplios denominados supersistemas, compuestos por las organizaciones que los contienen y utilizan. Este es el caso del Módulo de Despliegue de Imágenes Astronómicas en Tiempo Real (MODIA), el cual está dentro una organización (supersistema) dedicada a la investigación científica de la Astronomía en Venezuela. Esta organización, denominada Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), es la institución más importante en el país en lo que a investigación astronómica se refiere. El CIDA cuenta con un grupo de investigadores, apoyados por un equipo de ingenieros en diversas áreas que están dedicados a la innovación tecnológica, instrumentación científica y desarrollo de software para uso científico.

El CIDA está encargado de Administrar el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato (OAN), ubicado cerca de Apartaderos en el Estado Mérida. El OAN cuenta con cuatro telescopios: un telescopio doble astrógrafo, un telescopio reflector,

un telescopio refractor y un telescopio schmidt; este último, llamado telescopio *Jürgen Stock* (el más importante de los cuatro), tiene una cámara electrónica digital de tipo *CCD*¹, instalada en el año 1998.

Para controlar la cámara, se cuenta con una interfaz gráfica de usuario que permite manejar los parámetros necesarios para realizar una observación. Esta interfaz gráfica contaba con un módulo para desplegar las imágenes astronómicas en tiempo real para una observación en *modo rastreo*. El MODIA añadió esta funcionalidad al sistema que controla la cámara.

Para el desarrollo del MODIA se utilizó la biblioteca Qt, que utiliza como lenguaje nativo a C++. Esta biblioteca tiene una variedad de herramientas para la creación de interfaces gráficas de usuario y para el procesamiento de imágenes digitales. Se probaron varios algoritmos para mejorar la visualización de la imagen digital (realce del contraste). En el proyecto se propone la modificación del algoritmo “Expansión Lineal” utilizando estadística paramétrica; esta técnica logra mejorar la interpretación visual de la imagen que se despliega en tiempo real.

El MODIA logra recuperar la funcionalidad de despliegue en tiempo real. Como consecuencia, se logra minimizar el tiempo de observación perdido si ocurre alguna falla, lo cual es muy importante, ya que más del 60 % de las noches del año están nubladas y se debe aprovechar al máximo una noche despejada. Además, el MODIA logra crear un ambiente ideal de trabajo en un Observatorio Astronómico, ya que el usuario puede observar por pantalla el cielo que el telescopio está captando en el

¹siglas en inglés de *charge-coupled device*: dispositivo de carga acoplada. (ver Glosario).

momento.

El siguiente documento tiene como objetivo dar a conocer el ambiente en el que se desenvuelve el Módulo de Despliegue de Imágenes Astronómicas, así como la descripción de módulos con funcionalidades similares que preceden al MODIA (Antecedentes); los inconvenientes que tienen los observadores e investigadores a la hora de efectuar observaciones (Planteamiento del Problema) y la finalidad e importancia del Módulo en el contexto de las observaciones realizadas con el telescopio *Jürgen Stock* (Objetivos y Justificación).

1.1. Antecedentes

La cámara electrónica digital instalada en 1998 en el Telescopio *Jürgen Stock* de 1 metro de abertura, el más importante de los cuatro telescopios instalados en el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato (OAN), fue construida gracias a la *Colaboración QUEST*², la cual agrupa a personal de la Universidad de Yale (Estados Unidos), la Universidad de Indiana (Estados Unidos), el CIDA (adscrita al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias de Venezuela), y la Universidad de Los Andes (Venezuela); y es por esta colaboración que la cámara es conocida como *Cámara QUEST*.

La cámara consiste en un mosaico de 16 sensores CCD's de 2048 x 2048 píxeles de 15 μm (Snyder et al., 1998), lo que permite hacer “barridos” (drift scans) del cielo, hasta 12 grados de declinación aproximadamente. En la Figura 1.1, observamos la disposición de los diferentes sistemas que componen la Cámara QUEST, tales como:

- Sistema de Refrigeración.
- Sistema de Vacío.
- Sistema de Electrónica de Control y Digitalización (SECD).
- Sistema de Adquisición y Almacenamiento de Datos (SAAD).

Los sistemas de Refrigeración y Vacío se encargan de reducir los niveles de ruido térmico que pueden saturar una imagen; esto se produce cuando los píxeles (elementos

²siglas en inglés de *Quasar Equatorial Survey Team*: Equipo de Estudio de Quasares Ecuatoriales

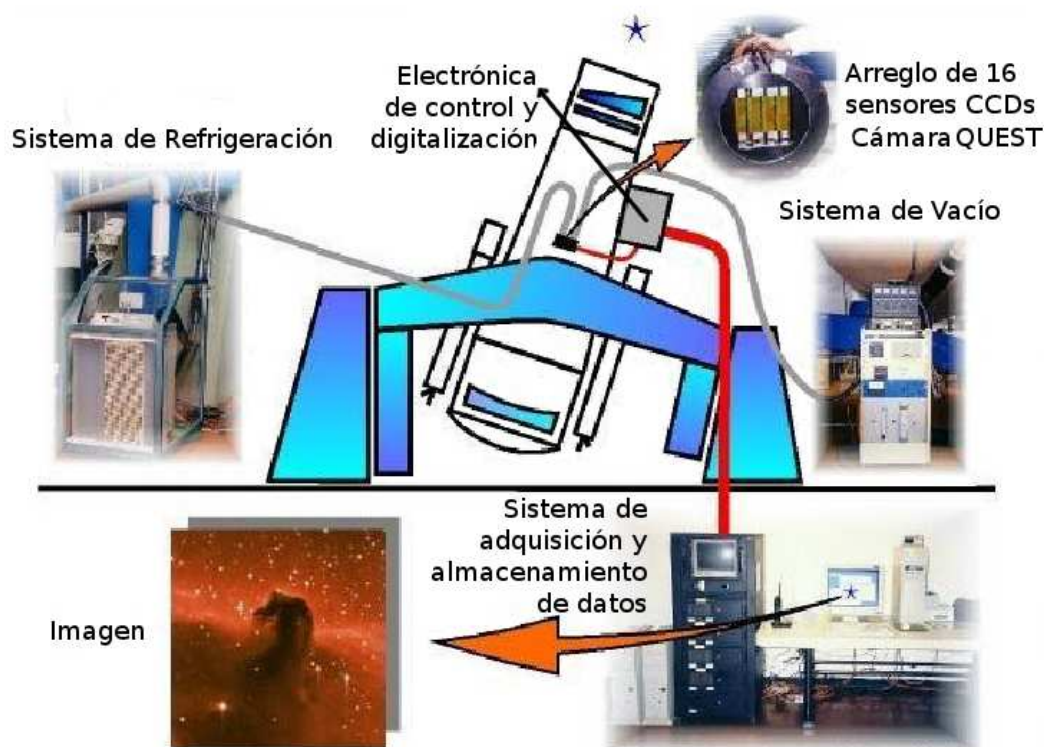


Figura 1.1: Sistema de la Cámara QUEST (Cortesía CIDA)

fotosensibles) de un sensor CCD alcanzan el nivel máximo de electrones que se liberan al incidir la luz (fotones) sobre ellos. A mayor temperatura, mayor ruido térmico; por esto el sistema de refrigeración mantiene los CCD's a temperaturas cercanas a los -80°C y el sistema de vacío evita la condensación a esas temperaturas.

El Sistema de Electrónica de Control y Digitalización de Datos está compuesto por un total de 32 tarjetas: 16 tarjetas digitales y 16 tarjetas Analógicas/Digitales (A/D), utilizadas para sincronizar y leer los 16 CCD's de la cámara QUEST.

El sistema de Adquisición y Almacenamiento de Datos sirve para controlar la adquisición, almacenamiento y manejo de los datos procedentes de los CCD's luego

de realizar una observación con el telescopio. Además, este sistema cuenta con una interfaz que el usuario utiliza para efectuar la comunicación con la cámara.

1.1.1. Flujo de Datos

En la Figura 1.2, se observan los sistemas involucrados en el proceso de obtención de una imagen astronómica, organizados en niveles. En el nivel 1, los sensores CCD's captan la luz y la convierten en una señal analógica. Luego, en el nivel 2, esta señal es convertida en una señal digital a través de las tarjetas A/D del Sistema de Electrónica de Control y Digitalización. En el nivel 3 está el hardware del subsistema de Adquisición de Datos, que cuenta con cuatro computadoras (etiquetadas en la Figura 1.2 como PC1, PC2, PC3 y PC4), que se encargan de recibir los datos enviados por el SECD y distribuirlos al Subsistema de Almacenamiento (nivel 4), el cual dispone de dos computadoras (etiquetadas en la Figura 1.2 como PC5 y PC6) cuya función es almacenar de manera provisional los datos que se envían del nivel anterior.

Luego, en el nivel 5, los datos almacenados en las dos computadoras del nivel 4, son transferidos a PC7, que cuenta con un disco duro de alta capacidad. En esta misma computadora se encuentra la interfaz gráfica de usuario que se encarga de recibir o enviar las señales que controlan el proceso de toma de datos; en esta computadora también se monitorea la calidad de la imagen digital obtenida durante una observación. Seguidamente, los datos son transferidos a un disco duro portátil que se transporta a la sede principal del CIDA en la ciudad de Mérida, donde finalmente, estos datos son

almacenados de forma definitiva en cintas magnéticas LTO-3. En [Sabbey et al. \(1998\)](#) también se describe este proceso de obtención de datos y los sistemas involucrados.

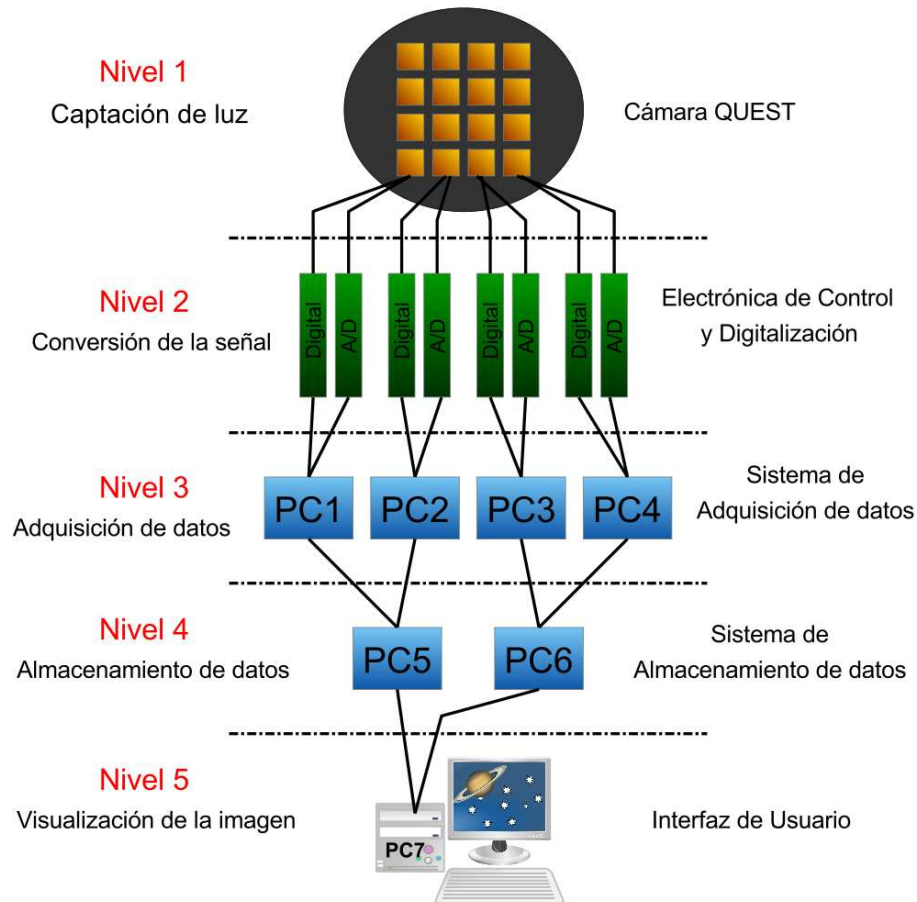


Figura 1.2: Niveles del Sistema de la Cámara QUEST

1.1.2. Interfaz Gráfica de usuario (IGU)

En [Baltay et al. \(2002\)](#) se describe la IGU inicial, escrita en Tcl/Tk³, instalada en el computador PC7 de la Figura 1.2. Esta IGU es conocida como “*Programa Observe*”.

Las funciones de este paquete de software son:

³Tool Command Language/Tool Kit: Lenguaje utilizado para la creación de interfaces gráficas.

1. Controlar y monitorizar todo el sistema. Permite controlar varios aspectos, tales como:

Tiempo de Exposición: Tiempo que el obturador del telescopio permanecerá abierto. Se utiliza en las observaciones en modo guiado.

Número de Líneas: Cada sensor CCD es un arreglo particular de 2048 x 2048 píxeles. Una línea corresponde a la lectura de la primera fila de píxeles. Se utiliza en las observaciones en modo rastreo.

Señales del Reloj: Permiten controlar la frecuencia de barrido de los CCD's.

Registro de Procesos: Permite observar los mensajes de registro de los procesos del sistema.

Cabeceras Fits: Datos que se agregan al encabezado primario de cada imagen digital.

2. Actuar como repositorio central de información de estado, manteniendo informaciones como:

Índice de la Observación: Número identificador de la observación a realizar.

Modo de Observación: Existen dos modalidades de observación: Modo Guiado y Modo Drift Scan o Rastreo.

Posición de los Dedos: La matriz de sensores CCD's de la cámara está dispuesta en cuatro columnas móviles de cuatro CCD's cada una. Cada columna se conoce como "dedo" y la movilidad permite adaptar las columnas a

diferentes niveles de declinación del telescopio.

3. Guiar al observador, a través de la secuencia de pasos necesarios para realizar una observación correctamente.

1.1.3. Despliegue de Imágenes en Tiempo Real

En [Baltay et al. \(2002\)](#) también se expone un visualizador en tiempo real de imágenes astronómicas escrito en ANSI C que formaba parte del “Programa Observe”. Este módulo funcionaba por medio de llamadas a la biblioteca *X11*⁴, y presentaba una visión del cielo que pasaba sobre el telescopio desde la perspectiva de un determinado CCD.

Este visualizador, llamado *XDrift*, dejó de funcionar al actualizar la computadora PC7 en donde estaba instalado (véase Figura 1.2). La pérdida de funcionalidad se debió a que el programa *XDrift* utilizaba la biblioteca gráfica *XLib*, la cual proporciona rutinas que hacen peticiones al servidor *X11* para crear ventanas, dibujar elementos gráficos como botones, líneas, etc. Particularmente, la función *XCreateImage*, utilizada para asignar la memoria necesaria para una estructura *XImage* (estructura de una imagen digital para *XLib*), tiene entre sus argumentos la *profundidad de color*⁵ de la imagen digital. Esta función falla en profundidades de color mayores a 8 bpp en la mayoría de las últimas versiones del servidor *XOrg*. Esta misma falla es reportada por

⁴*X Windows System* en su versión 11 (*X11*), es un protocolo que dota de interfaz gráfica a los sistemas Unix.

⁵Es la cantidad de bits de información necesarios para representar el color de un píxel en una imagen digital. (ver Sección 2.6.1).

otros usuarios en la lista de correos de la página web de XOrg sin ninguna solución propuesta. Otra de las razones por las cuales no se hicieron esfuerzos por recuperar la funcionalidad del programa XDrift, es que este módulo procesaba la imagen utilizando un algoritmo llamado “Rebin” que se utiliza para redimensionar la imagen; en este caso, el XDrift redimensionaba la imagen de 2048 píxeles de ancho a 512 píxeles de ancho y rescalaba la profundidad de color de la imagen de 16 bpp a 8 bpp. En estos procesos se perdía significativamente la calidad de la imagen digital.

Gracias al trabajo de [Rodríguez \(2007\)](#), se logró recuperar el diseño, especificación y modularización de los programas que componen el software original que controla la cámara QUEST. Este trabajo también consiguió la adaptabilidad a nuevos requisitos planteados por el CIDA.

Por lo tanto, el MODIA es parte del Programa Observe y recupera la funcionalidad de despliegue en tiempo real de este programa, con el que se puede monitorizar la calidad de las imágenes astronómicas al mismo tiempo en que el cielo pasa sobre el telescopio, en una observación en modo rastreo.

1.2. Justificación

Aunque la ubicación del OAN, cerca del *ecuador celeste*⁶, ofrece una gran ventaja frente a otros observatorios del mundo, las condiciones meteorológicas no son buenas. Cerca del 60 % de las noches del año están nubladas, por lo tanto se debe aprovechar al

⁶Proyección del ecuador terrestre en la esfera celeste.

máximo las noches despejadas, que por lo general son en la temporada que comprende los meses entre Noviembre y Marzo.

Aquí radica la importancia del MODIA, el cual pretende minimizar el tiempo de detección de errores después de la puesta en marcha de una observación en modo rastreo. Estos errores pueden ser causa de problemas mecánicos del telescopio, problemas de comunicación entre los subsistemas de la cámara digital, errores involuntarios del observador al introducir valores incorrectos en el Programa Observe, etc.

Los problemas al realizar observaciones son bastante comunes. Existen protocolos para evitar algunos de estos problemas, tales como: el chequeo periódico de la comunicación entre las diferentes máquinas de los sistemas de adquisición y almacenamiento de datos, la verificación de la apertura del obturador del telescopio antes de empezar una observación, etc. Pero esto no garantiza el buen funcionamiento del sistema.

Con el MODIA se desea minimizar el tiempo de reacción del observador para solventar los problemas que surgen en una observación puesta en marcha. Actualmente se estima que el tiempo perdido de observación es de aproximadamente 15 minutos hasta la nueva verificación de la imagen. Además, el MODIA proporciona una condición ideal de trabajo en un observatorio, ya que se ve en tiempo real lo que la cámara QUEST capta a través del telescopio *Jürgen Stock*.

El MODIA fue construido utilizando el lenguaje de programación C++, empleando

principalmente la biblioteca Qt. Esta biblioteca ofrece las siguientes ventajas:

- Facilita la creación de interfaces gráficas de usuario.
- Qt es software libre y de código abierto.
- Utiliza el lenguaje de programación C++ de forma nativa.
- Ofrece extensa documentación.
- Posee herramientas para el procesamiento de imágenes digitales.
- Tiene herramientas para el despliegue de imágenes digitales.

1.3. Planteamiento del Problema

Para analizar la calidad de una imagen, existen dos mediciones importantes que son: el *Seeing* y la *Elipticidad*.

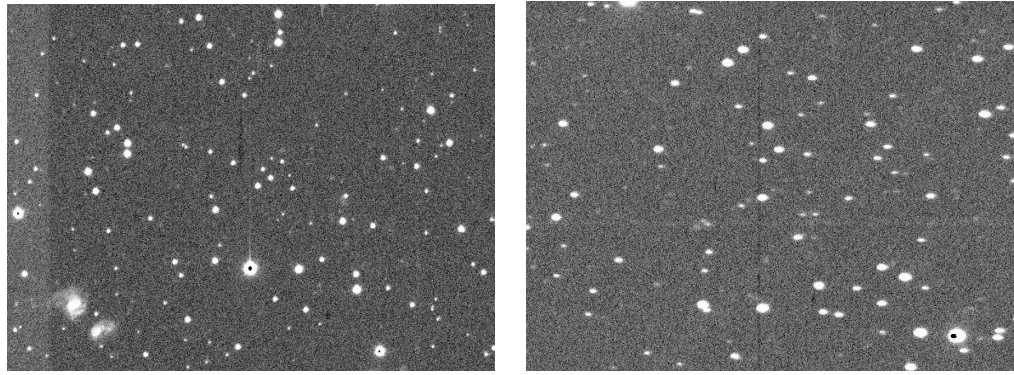
“El Seeing es una medida del efecto distorsionador de la atmósfera sobre las imágenes de objetos astronómicos” ([Astropráctica, 2010](#)). Se mide en una escala de 0 a 5 donde los valores cercanos a cero significan que la imagen es buena, es decir, los objetos astronómicos en la imagen están poco distorsionados por la atmósfera, y viceversa.

“La Elipticidad es el grado de achatamiento que pueden presentar los objetos celestes debido a varios factores” ([Astropráctica, 2010](#)). Una buena imagen astronómica debe tener estrellas con elipticidades cercanas a cero.

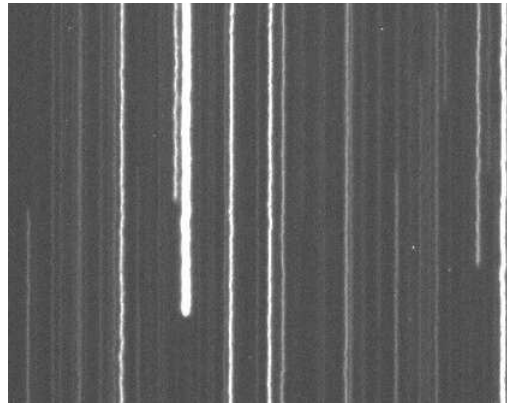
Aunque el MODIA no realiza este tipo de análisis tan preciso, si es una herramienta de análisis visual preliminar para detectar objetos (estrellas) que sean notablemente achatados o elongados. Al pasar esta prueba visual preliminar, se procede a hacer un análisis más detallado de la imagen. Un ejemplo sobre la diferencia de calidad entre imágenes, se puede apreciar en la Figura 1.3. Obsérvese que la Figura 1.3(a) es una imagen de calidad aceptable, ya que las estrellas (puntos blancos) se ven circulares, a diferencia de la Figura 1.3(b) en donde las estrellas presentan un cierto grado de achatamiento (elipticidad $\gg 0$) producido probablemente por una mala *posición de dedos* (véase Sección 2.5.2) que no se corresponde a la declinación del telescopio; también la Figura 1.3(c) presenta una calidad deficiente ya que sólo se observan los trazos que dejan las estrellas al pasar por el sensor CCD, producido posiblemente por el *movimiento sideral del telescopio*⁷, que en una observación en *modo rastreo*, no debería presentarse.

No existía un programa para monitorizar las observaciones en tiempo real. Esta verificación se hacía con un programa externo al Programa Observe, llamado `observacion_directaV6.pl`. Este programa tiene la función de transferir y analizar las imágenes de un sólo CCD, de un dedo o del mosaico completo. Pero esta transferencia y análisis toma algo de tiempo, alrededor de 5 ó 6 minutos para el arreglo completo de CCD's. Esto se traduce en una pérdida considerable de tiempo de observación, ya que, si se detecta algún error en las imágenes entonces se deben hacer las modificaciones

⁷Movimiento del telescopio para seguir un astro, compensando el movimiento de rotación de la Tierra.



(a) Calidad Aceptable (Estrellas Puntuales) (b) Calidad Deficiente (Estrellas Elongadas)



(c) Calidad Deficiente (Trazos de Estrellas)

Figura 1.3: Diferencia de Calidad entre Imágenes Astronómicas: (a), (b), (c) (Cortesía CIDA)

necesarias para solventar ese problema y repetir la observación, lo cual llevaría un tiempo aproximado de 15 minutos hasta la nueva verificación de la imagen. Este programa es eficiente para el análisis de la calidad de imágenes, pero para el monitoreo de observaciones en modo rastreo, no es el programa más conveniente.

El MODIA es una herramienta integrada al Programa Observe que sirve como medio de evaluación visual preliminar. Este módulo sustituye al programa `observacion_directaV6.pl` en su función de monitoreo, más no en su función de análisis de calidad de imágenes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivos Generales

Desarrollar una herramienta computacional que permita el despliegue en tiempo real de imágenes astronómicas para el telescopio *Jürgen Stock* del Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar una herramienta de evaluación preliminar (monitoreo) de las observaciones hechas en modo rastreo con el telescopio.
- Estudiar los diferentes algoritmos para procesar imágenes digitales que ayuden a una buena visualización de la imagen.
- Integrar el Módulo de Despliegue de Imágenes Astronómicas al Programa Observe.

1.5. Cronograma de Actividades

A continuación, se describe el conjunto de actividades que permitirá el desarrollo del presente proyecto de grado (véase Tabla 1.1):

Actividades:

- 1. Investigación sobre la teoría de procesamiento de imágenes digitales.
- 2. Proceso gerencial del proyecto.
- 3. Análisis del dominio del proyecto.
- 4. Definición, análisis y especificación de los requerimientos.
- 5. Diseño del sistema.
- 6. Diseño de componentes.
- 7. Instalación del sistema.
- 8. Pruebas del sistema.

Actividad \ Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	✓	✓	✓															
2				✓	✓	✓												
3							✓	✓										
4									✓	✓								
5											✓	✓						
6													✓	✓				
7															✓	✓		
8																	✓	✓

Tabla 1.1: Cronograma de Actividades

1.6. Cronograma de Evaluación

El cronograma de evaluaciones para el presente proyecto muestra en la Tabla 1.2.

Evaluaciones:

- 1. Reuniones con el tutor.

- 2. Introducción de la propuesta de grado.
- 3. Análisis del dominio del proyecto.
- 4. Avances del proyecto a los jurados.
- 5. Entrega de la primera versión del proyecto a los jurados.
- 6. Entrega final del proyecto de grado.
- 7. Defensa del proyecto de grado.

Evaluación \ Semana																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
2	✓	✓																
3			✓															
4										✓								
5												✓						
6														✓				
7															✓			

Tabla 1.2: Cronograma de Evaluaciones

2.1. La Organización: Centro de Investigaciones de Astronomía “Francisco J. Duarte” (CIDA)

2.1.1. Un Poco de Historia

En 1950, el Gobierno Venezolano le encarga al Dr. Eduardo Rohl, quien dirigía para entonces el Observatorio Cagigal, viajar a Alemania para hacer gestiones para la adquisición de los equipos necesarios para un observatorio astronómico, una estación geomagnética y sismológica y una estación meteorológica. Particularmente, el observatorio astronómico para Venezuela tenía previstos los siguientes instrumentos: un telescopio Schmidt de la firma Askania, un doble astrógrafo de Askania, un reflector de Zeiss, un refractor de Zeiss, entre otros. En 1954, se firman los contratos con las compañías alemanas con el fin de construir el nuevo observatorio astronómico en la sede del Observatorio Cagigal en la ciudad de Caracas. Sin embargo, diversos problemas

y cambios políticos, y luego la muerte de Eduardo Röhl causaron la paralización temporal de la construcción. El proyecto fue retomado 6 años después por una comisión encabezada por el físico y matemático Francisco J. Duarte, quienes tuvieron como tarea principal, realizar un estudio de diferentes zonas del país para la ubicación definitiva del observatorio astronómico, ya que Caracas y su creciente contaminación lumínica, no era el sitio adecuado para su construcción. Dos años después, en 1962, se llega a la conclusión que la mejor ubicación la ofrecía la región de los Andes, cerca de la ciudad de Mérida, ya que a mayor altura es menos la distorsión a causa de la atmósfera. Otras consideraciones para la toma de esta decisión fueron que no existe contaminación lumínica considerable y también que en Mérida hay una importante universidad: la Universidad de Los Andes (ULA).

La continuidad del proyecto se paraliza de nuevo hasta 1971. Los equipos permanecieron almacenados en Caracas sin sufrir daños considerables. Fue en este año cuando el Dr. Marcel Roche, presidente del CONICIT (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas), nombra varias comisiones para trabajar en la logística de traslado y recuperación de los equipos (cúpulas y plataformas incluidas), tarea que se realizaría en Mérida en espacios de la ULA. Luego, la ULA realizó un estudio de la resistencia del suelo y subsuelo en varios lugares dentro de la zona indicada por la búsqueda del sitio. Se eligió una colina cerca del pueblo de Llano del Hato para la ubicación definitiva del observatorio y la Universidad procedió a la adquisición de los terrenos.

2.1.2. Objetivos de la Organización

- Administrar el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato, ubicado cerca de Apartaderos en el Municipio Rangel del Estado Mérida.
- Realizar investigaciones relevantes en el campo de la astronomía utilizando la capacidad de los grandes telescopios ubicados en el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato.
- Publicar los resultados de las investigaciones en las revistas profesionales internacionales y nacionales con el objetivo de difundirlo a través de los medios de comunicación social (impresos, audiovisuales y digitales).
- Promover los estudios de la astronomía en el ámbito profesional en las universidades nacionales y de formación básica en los otros niveles del sistema educativo nacional.
- Difundir y popularizar la astronomía entre el público en general, especialmente en los escolares de los diferentes niveles del sistema educativo del país.
- Promover la integración de la Fundación con las comunidades de su entorno y viceversa, para fortalecer el sistema de organización social compuesto por los Consejos Comunales, Cooperativas y otras Organizaciones Sociales, coadyuvando con el cumplimiento de las políticas públicas nacionales.

2.1.3. Modelos de la Organización

En la Figura 2.1 se observa el modelo geográfico de la organización. En la sede principal se alojan las oficinas de investigación, ingeniería y administración. En el Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato (OAN) se encuentran las 4 cúpulas que alojan 4 telescopios, el Museo de Astronomía y Ciencias del Espacio (MACE) y las residencias que poseen dormitorios y comedor para los trabajadores que cumplen guardias de trabajo.

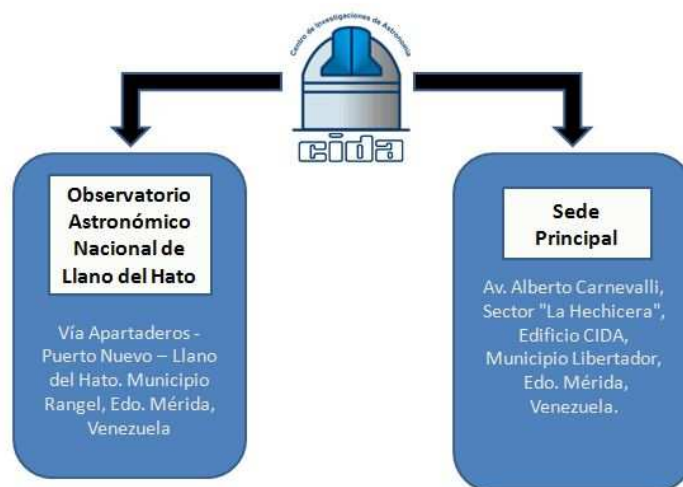


Figura 2.1: Modelo Geográfico CIDA

El siguiente modelo tecnológico (véase Figura 2.2) resume el proceso de las actividades de trabajo del CIDA: Los Astrónomos redactan protocolos de proyectos observacionales los cuales son entregados a los Observadores Profesionales quienes junto a los Asistentes Científicos, realizan las observaciones correspondientes. Estas imágenes son guardadas en dispositivos de almacenamiento. Luego, las imágenes son procesadas y entregadas a los investigadores. Los Astrónomos utilizan estos datos para

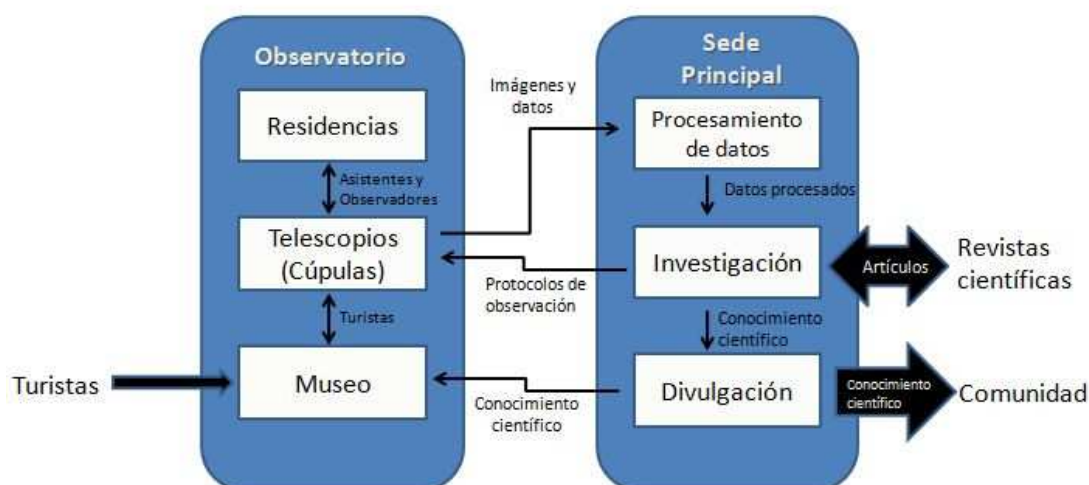


Figura 2.2: Modelo Tecnológico CIDA

realizar sus investigaciones, redactadas en forma de artículos que podrían ser publicados en revistas científicas en el área de Astronomía. Este conocimiento científico también es transmitido al Departamento de Divulgación, el cual se encarga de transferir ese conocimiento al público en general a través de diferentes medios, tales como: el Museo de Astronomía y Ciencias del Espacio, el planetario itinerante, publicaciones, entre otros.

2.2. El Telescopio *Jürgen Stock*

Este telescopio es el más importante de los cuatro telescopios instalados en el OAN. El Telescopio Jürgen Stock (Figura 2.3), “es un instrumento con características ópticas que lo hacen idóneo para proyectos observacionales que involucren búsqueda de objetos específicos sobre extensas áreas en el cielo” (CIDA, 2011).



Figura 2.3: Telescopio *Jürgen Stock* (Cortesía CIDA)

El Telescopio *Jürgen Stock* es un *telescopio tipo Schmidt* de un metro de abertura (véase Figura 2.4). El tubo que encierra y sostiene los elementos ópticos tiene una longitud de 7 metros. En la boca del telescopio se encuentra la *lente correctora* de un metro de diámetro, que arregla la *aberración esférica*¹ producida por el espejo esférico primario. Este espejo, con un peso de una tonelada y un diámetro de 1.5 metros, se encuentra en la parte inferior. En la zona focal se encuentra la *lente aplanadora de campo*, un juego de filtros intercambiables y la cámara electrónica digital (Cámara QUEST), la cual permite adquirir, almacenar y procesar las imágenes astronómicas. Este telescopio dispone de un prisma de un metro de diámetro que puede ser colocado al frente de la lente correctora. De esta manera, es posible obtener simultáneamente los espectros de todos los objetos celestes presentes en el campo de visión del instrumento.

¹Es un defecto en la fabricación de los espejos y las lentes. (ver Glosario).

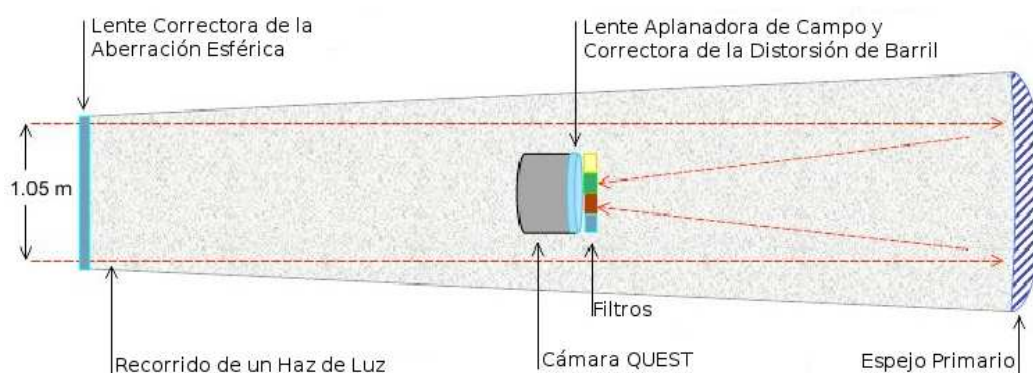


Figura 2.4: Sistema Óptico del Telescopio tipo Schmidt (Cortesía Dr. Juan Downes)

El telescopio puede mantener en observación un astro determinado, anulando localmente su movimiento sobre la bóveda celeste gracias a un motor eléctrico que impulsa el movimiento de giro. La estructura mecánica del telescopio, también llamada “montura”, es del tipo ecuatorial de doble horquilla. El telescopio es protegido por una cúpula de 16 metros de diámetro que puede girar horizontalmente 360 grados de forma continua.

2.3. La Cámara Electrónica Digital - Cámara QUEST

Anteriormente, las observaciones astronómicas se registraban en *placas fotográficas*. Esta tecnología se utilizó en la comunidad astronómica hasta la última década del siglo pasado, ya que ofrecía la ventaja de tener buena sensibilidad lumínica y alto grado de resolución. Pero la introducción de los detectores o sensores CCD's en el campo de la astronomía, revolucionaron las observaciones astronómicas, ya que son más eficientes en

términos de sensibilidad y ofrecen la gran ventaja que los datos se generan directamente en forma digital.

Particularmente en el OAN, la cámara electrónica digital fue instalada en 1998 en el Telescopio *Jürgen Stock*. Esta cámara de 67.1 Megapíxeles, consiste principalmente en un mosaico de 16 sensores CCD's. Sin embargo, el sistema completo de la cámara QUEST está compuesto por un conjunto de subsistemas ([Rodríguez, 2007](#)), que son:

- Sensores CCD's.
- Electrónica de control y digitalización.
- Sistema de adquisición y almacenamiento de datos.
- Sistema de refrigeración y vacío.

2.3.1. Sensores CCD's

Los CCD's son sensores de silicio que cuantifican la luz que incide sobre ellos. Cada CCD está formado por los siguientes componentes (ver Figura 2.5):

Píxel-sensores: Son elementos fotosensibles dispuestos en cuadrícula; al caer los fotones (luz) sobre ellos, éstos interactúan con los átomos de silicio y liberan electrones.

Registro Serial: Es un bloque paralelo al arreglo de píxel-sensores que recibe los paquetes cargados de los *canales de parada*.

Amplificador: Recibe uno por uno los paquetes cargados del *registro serial* e inicia el proceso de cuantificación. Esto consiste en medir la carga depositada y generar un voltaje proporcional a la cantidad de luz que recibió.

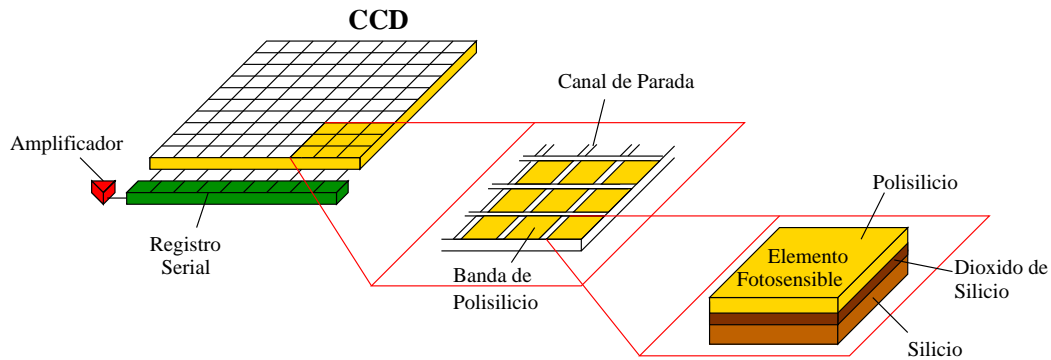


Figura 2.5: Sensor CCD (Cortesía MSc. Carmen Rodríguez)

La cámara QUEST consta principalmente de un conjunto de 16 sensores CCD's de 2048 x 2048 píxeles (píxel-sensores) de $15\ \mu m$, dispuestos en columnas o “dedos móviles” con cuatro sensores cada uno (ver Figura 2.6). Esta movilidad, que se explica con más detalle en la Sección 2.5, permite adaptar las columnas a diferentes niveles de *declinación*². Los sensores están instalados en la zona focal del telescopio como se aprecia en la Figura 2.4. Un juego de filtros puede ser montado sobre los detectores, lo que permite eliminar (filtrar) determinadas longitudes de onda, dejando pasar sólo aquellas necesarias para un estudio determinado, siendo los filtros B (Blue), V (Visual), R (Red), I (Infrared) y un filtro $H\alpha$, los empleados regularmente durante las observaciones con el telescopio.

²Es una medida utilizada por los astrónomos para especificar lugares en el cielo. (ver Glosario).

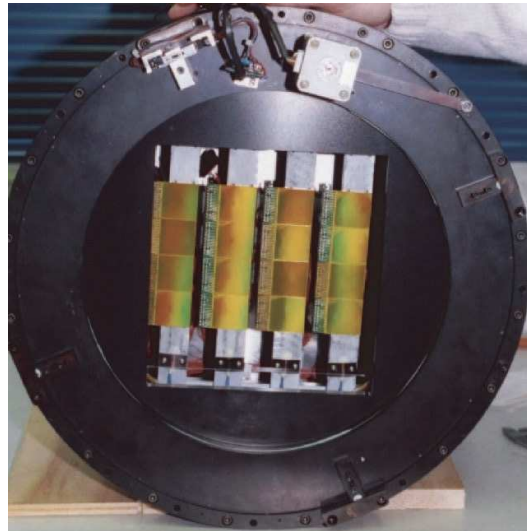


Figura 2.6: Cámara QUEST (Cortesía CIDA)

2.3.2. Sistema de Electrónica de Control y Digitalización (SECD)

La electrónica de control y digitalización de datos está integrada por un conjunto de 32 tarjetas electrónicas, de las cuales, 16 son tarjetas digitales y las otras 16 son tarjetas analógicas/digitales. Las tarjetas están instaladas en un bastidor de forma cúbica ubicado en la zona externa del telescopio (ver Figura 2.3). Estas tarjetas se utilizan para sincronizar y leer los 16 detectores de la cámara QUEST. Cada CCD está controlado por dos tarjetas: una digital y otra analógica/digital, como se observa en la Figura 1.2. La *tarjeta digital* es la que se encarga de generar y distribuir las señales de temporización necesarias para la operación de los CCD's. La *tarjeta analógica/digital* es la encargada de recibir la señal de video analógica de los CCD's, de procesarla y de enviarla al sistema de adquisición de datos. También, el Sistema de Electrónica de

Control y Digitalización posee un *pulso de inicio* que se encarga de producir la señal de reloj que se requiere para controlar la frecuencia de barrido de los CCD's, cuando la cámara es operada en *modo driftscan* (ver Sección 2.5.2).

2.3.3. Sistema de Adquisición y Almacenamiento de Datos (SAAD)

Este sistema está compuesto por dos subsistemas y una interfaz de usuario. Su configuración actual consta de siete PC's, de las cuales cuatro son para el subsistema de Adquisición de Datos, dos para el subsistema de Almacenamiento de Datos y una para la Interfaz del Usuario. El primero de los subsistemas, el de Adquisición de Datos (PC1, PC2, PC3 y PC4 de la Figura 1.2), se encarga de recibir los datos enviados por el SECD y de distribuirlos al subsistema de Almacenamiento. El segundo, el subsistema de Almacenamiento de Datos (PC5 y PC6 de la Figura 1.2), tiene la función de almacenar los datos que provienen de los CCD's. PC7 posee una interfaz gráfica de usuario para el monitoreo y control del sistema y también se utiliza para almacenar temporalmente los datos de las observaciones en su disco duro al culminar una noche de observación. Luego, los respaldos de los datos se guardan en un disco duro externo en formato pseudo-FITS, es decir, un encabezado ASCII FITS seguido por la imagen de datos comprimida, en un archivo con extensión “.fits.enc”.

2.3.4. Sistemas de Refrigeración y Vacío

Estos sistemas, se ubican cerca del telescopio (ver Figura 1.1) y permiten reducir los niveles de *ruido térmico* que pueden saturar una imagen en pocos segundos. El ruido térmico es la agitación de electrones que se produce porque los CCD's no sólo liberan electrones al incidir luz, sino que también lo hacen por efecto de la temperatura. A mayor temperatura mayor ruido térmico y viceversa. Por lo tanto, para reducir el *ruido térmico* es necesario enfriar todo el conjunto de CCD's a valores muy bajos de temperatura. Esto se logra con un sistema criogénico de lazo cerrado ([Snyder et al., 1998](#)) con el cual se puede llegar a temperaturas inferiores a los -80°C y asegura que todos los CCD's tengan una temperatura uniforme con variaciones menores a 1°C . Pero al disminuir la temperatura a valores tan bajos, el vapor de agua que se encuentra en el aire se condensa sobre las superficies frías, así que para evitar los problemas de condensación, las líneas que transportan el líquido refrigerante a la cámara se encuentran al vacío. Para lograr la condición de vacío se usan dos bombas: una mecánica de vacío primario y una turbomolecular de alto vacío. Estas bombas no se conectan durante una observación en proceso; de hecho se conectan sólo periódicamente ya que una vez que el aire es extraído, la condición de vacío puede durar hasta varias semanas.

2.4. Proceso de Obtención de una Imagen Astronómica

El proceso de obtención de una imagen astronómica utilizando la cámara QUEST, se resume en el diagrama de flujo de la Figura 2.7:



Figura 2.7: Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de una Imagen Astronómica

El proceso comienza con la selección del tipo de observación (ver Sección 2.5) y otros parámetros, a través del *Programa Observe* descrito en la Sección 1.1.2. De forma general, para cualquiera de los dos tipos de observaciones, la obtención de la imagen comienza con la apertura del *obturador* de la cámara, dispositivo que permite la entrada

de luz a los CCD's. Luego, comienza la fase de recolección de carga eléctrica (fase 1 del diagrama de flujo), en la cual los fotones (luz) interactúan con los átomos de silicio (componente del CCD) y liberan electrones; estos electrones son acumulados en paquetes cargados (cargas eléctricas) en los *canales de parada* del CCD. Seguidamente se inicia la transferencia de la carga acumulada desde los *canales de parada* al *registro serial* del CCD (fase 2). A continuación, los paquetes cargados se trasladan uno por uno al *amplificador*, elemento que se encarga del proceso de cuantificación (fase 3); este proceso consiste en medir la carga de cada paquete y generar un voltaje proporcional a la cantidad de luz que se recibió. El proceso de mover los paquetes cargados debe repetirse una y otra vez hasta leer todo el arreglo de píxel-sensores del detector.

Como se puede observar, las tres primeras etapas del proceso se realizan dentro del CCD. La señal de salida del sensor es el voltaje generado por el amplificador. Esta *señal analógica* es convertida en una *señal digital* (fase 4) a través de la tarjeta analógica/digital que es parte del Sistema de Electrónica de Control y Digitalización (ver Sección 2.3.2). Luego, la señal digital es transferida al subsistema de adquisición de datos (fase 5); este subsistema está compuesto de cuatro computadores (PC1, PC2, PC3 y PC4 de la Figura 1.2), donde cada uno recibe las señales digitales de una columna o dedo de la cámara QUEST, es decir, cada computador recibe los datos de cuatro sensores CCD's. En estas computadoras se construye la imagen digital, utilizando como formato de archivo "FITS comprimido", como se explica en la Sección 2.3.3. Como estas computadoras tienen poca capacidad de almacenamiento, entonces los datos son

transferidos a otras dos computadoras con más espacio de disco duro (fase 6) que componen el subsistema de almacenamiento de datos (PC5 y PC6 de la Figura 1.2). Los datos de PC1 y PC2 son almacenados en PC5 y los de PC3 y PC4 en PC6. Estas conexiones se pueden apreciar mucho mejor en la Figura 1.2.

Finalmente, para poder observar la imagen astronómica (fase 7) es necesario transferirla a PC7. Este computador tiene instalado el programa que controla la cámara QUEST (Programa Observe) y otros programas para el análisis de la calidad de la imagen, tal y como se describe en la Sección 1.3. Adicionalmente, al finalizar la jornada de observación, los datos (imágenes astronómicas) son transferidos en su totalidad a PC7 y a un disco duro externo de gran capacidad, el cual se utiliza para trasladar las imágenes digitales a la sede del CIDA en la ciudad de Mérida para su posterior uso en investigaciones científicas.

2.5. Tipos de Observación

Antes de hablar sobre los tipos de observación que se pueden realizar con el telescopio *Jürgen Stock*, es necesario saber cómo es el movimiento de los astros en el cielo, ya que el telescopio y la cámara QUEST se deben adaptar a éste movimiento para poder realizar una correcta observación astronómica.

El Movimiento Sideral

El *movimiento propio* de un astro es la medida del cambio de su posición en el cielo en el tiempo, después de que el *movimiento impropio* es considerado. El *movimiento impropio* de un astro se refiere al cambio de sus coordenadas sobre el cielo que no proviene del movimiento de la estrella en sí mismo ([Wikipedia, 2011](#)). Entonces, el movimiento sideral se refiere al movimiento impropio de una estrella producido por el movimiento de rotación de la Tierra. Este desplazamiento aparente describe una trayectoria distinta mientras el astro está más alejado del ecuador celeste. Como se aprecia en la Figura 2.8, el movimiento de una estrella que esta sobre el ecuador celeste, describiría una trayectoria en línea recta en sentido Este-Oeste; pero a medida que la estrellas se encuentren más alejadas del ecuador, sus trayectorias describen arcos cuyos radios decrecen mientras más cercanos estén de los polos celestes. Justo en los polos, el desplazamiento aparente del astro sería nulo.

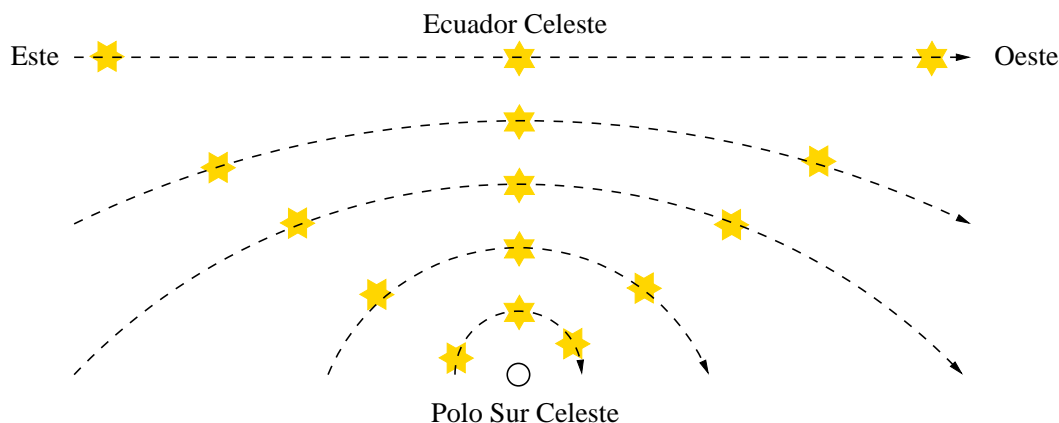


Figura 2.8: Trayectorias del Movimiento Sideral

Ahora, se explica cómo se deben adaptar el telescopio y la cámara para realizar una

observación del cielo en sus dos modalidades:

2.5.1. Modo Guiado o Apuntado

El Modo Guiado es la técnica tradicional de observación; consiste en fijar un sector del cielo o un astro sobre los CCD's y seguir con el telescopio el movimiento sideral del mismo. Esto se logra gracias a un motor eléctrico que impulsa el movimiento de giro del telescopio. En este modo el obturador de la cámara se abre y se mantiene así durante un tiempo predeterminado. Una vez que transcurre el tiempo de exposición, se cierra el obturador y la imagen fija del cielo que se formó sobre los CCD's se transfiere al computador, es decir, los CCD's se leen después de realizar una exposición. En esta modalidad se recomienda posicionar paralelamente los dedos de la cámara. En el Modo Guiado o apuntado, por cada exposición se crea una imagen por cada detector CCD, es decir, se obtienen 16 imágenes.

2.5.2. Modo Rastreo o Driftscan

A diferencia del modo guiado, en el Modo Rastreo el telescopio permanece orientado a *declinación* y *ángulo horario*³ constantes, es decir, el telescopio permanece en una posición fija y el cielo se desplaza sobre los sensores CCD's. En el texto de [Downes \(2011\)](#) se habla de esta modalidad y dice que los objetos observados preservarán su forma real si se cumplen simultáneamente dos condiciones:

³Es el arco contado desde el punto de intersección del ecuador celeste con el meridiano del observador hasta el punto donde está el astro, en sentido horario (ver Glosario).

1. Las trayectorias de los astros deben ser rectilíneas y ocurrir, en promedio, sobre una fila de píxel-sensores del CCD.
2. La lectura de los detectores CCD's se debe realizar a una frecuencia sincronizada con la velocidad lineal de las imágenes, es decir, una frecuencia de lectura que es función del *movimiento sideral* y de la *declinación*.

La linealidad de las trayectorias en el CCD se logra alineando los dedos perpendicularmente al camino estelar del objeto celeste (ver Figura 2.9). Cada uno de los dedos tiene un punto de pivote sobre el cual se mueve. Entonces, un objeto se traslada en promedio sobre una fila de píxel-sensores en cada detector y atraviesa los 4 detectores de una misma columna o dedo de la cámara, resultando en una observación casi simultánea en hasta cuatro filtros diferentes.

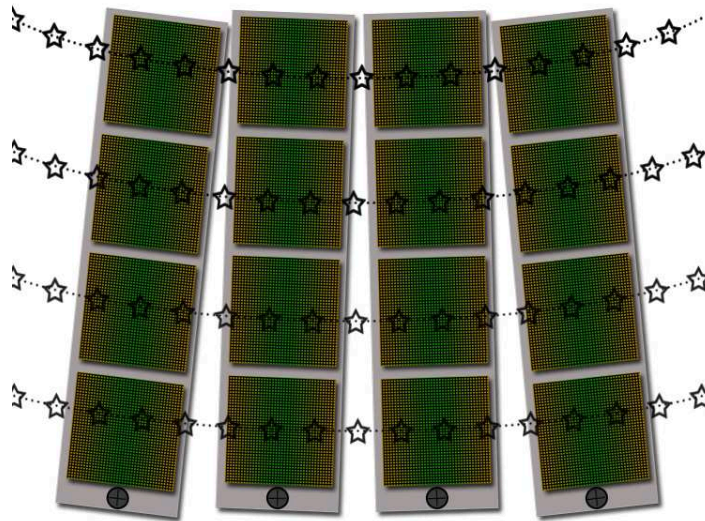


Figura 2.9: Movimiento de Pivoteo de las Columnas o Dedos de la Cámara QUEST para adaptarse a la trayectoria de las estrellas

2.6. La Imagen Digital

Ahora que se sabe cómo se genera una imagen astronómica (imagen digital), es necesario profundizar en este contexto, ya que es el centro de nuestro estudio para el desarrollo del MODIA.

Una imagen digital es una representación bidimensional de una imagen real utilizando bits (unos y ceros). Se puede clasificar en dos tipos según su resolución:

Gráfico Vectorial: Son las imágenes que poseen resolución dinámica, es decir, se puede ampliar su tamaño sin pérdida de calidad o resolución. Estas imágenes están formadas por objetos geométricos independientes (segmentos, polígonos, arcos, etc.), cada uno de ellos definido por distintos atributos matemáticos de forma, de posición, de color, etc.

Gráfico Rasterizado: Son imágenes que poseen resolución estática, es decir, no se puede ampliar su tamaño sin que la pérdida de calidad sea notoria. Los gráficos rasterizados son llamados también mapas de bits, imágenes matriciales o bitmaps. Este tipo de imágenes están formadas por píxeles o puntos de color, dispuestos en cuadrícula. Esta rejilla de píxeles se le denomina *raster*.

De ahora en adelante, se referirá al término “Imagen Digital” como gráficos rasterizados, ya que son el tipo de imágenes que genera la cámara QUEST.

2.6.1. Representación del Color

El color en un píxel de una imagen digital, se representa mediante dos aspectos:

El Modelo de Color

Los colores se pueden describir de muchas maneras diferentes, cada método basado en un modelo de color. Los modelos de color describen los colores que se ven en las imágenes digitales e impresas y permiten establecer un espacio único común en todos los equipos electrónicos que adquieren y reproducen el color.

Existe una variedad de modelos de color, utilizados en diferentes ámbitos. Los más populares son los siguientes ([Proyectacolor, 2011](#)):

- RGB: Es el modelo de *síntesis aditiva*⁴ del color. Este modelo es usado en trabajos digitales.
- CMYK: Corresponde a la *síntesis sustractiva*⁵ del color. Este modelo se aplica más que todo en medios impresos.
- HSB: Se basa en la percepción humana del color.

De estos modelos, el más usado es el RGB (siglas en inglés de Red, Green, Blue). Como ya se mencionó, el cual representa un color mediante la mezcla por adición de los colores primarios de este modelo: Rojo, Verde y Azul, tal como se observa en la [Figura 2.10](#).

⁴Mezcla simultánea o superposición de los colores primarios.

⁵Es el principio en el que por la capacidad de absorción de tres filtros juntos se puede obtener diversidad de colores.

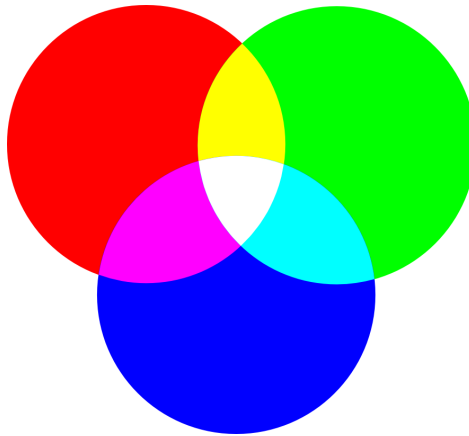


Figura 2.10: Mezcla por Adición de los Colores Primarios en el Modelo RGB

Para indicar la proporción de mezcla, se asigna un número entero positivo a cada color, donde el valor cero significa que ese componente no interviene en la mezcla y a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Ese valor representa la intensidad luminosa del componente en la mezcla. El intervalo de valores dependerá de la cantidad de bits por píxel o *profundidad de color* que tenga la imagen digital.

La Profundidad de Color

La profundidad de color o bits por píxel (bpp) se refiere a la cantidad de bits de información necesarios para representar el color de un píxel en una imagen digital. En el sistema binario de numeración, una profundidad de bits de n implica que cada píxel de la imagen puede tener 2^n posibles valores y por lo tanto, representar 2^n colores distintos. ([Wikipedia, 2011](#)).

La profundidad de color se puede representar de dos maneras:

- **Color Indexado:** Los valores de color de los píxeles hacen referencia a valores indexados en una tabla, llamada habitualmente mapa de colores o paleta de colores. Se utiliza comunmente en profundidades de color iguales o menores a 8 bpp.
- **Color Directo:** Cuando los valores de profundidad de color aumentan a más de 8 bpp, se torna impráctico mantener una tabla o mapa de colores debido a la gran cantidad de valores que tendría que almacenar esa tabla. En esos casos se prefiere codificar directamente dentro de cada píxel los tres valores de intensidad luminosa que define un color cualquiera en el modelo RGB.

2.6.2. Tipos de Imágenes Rasterizadas

Particularmente, las imágenes rasterizadas se pueden clasificar según la profundidad de color que tengan. Se dividen principalmente en tres tipos de imágenes:

1. **Imagen Binaria:** Es aquella que se le asigna un sólo bit para representar el color. Por lo tanto, $2^1 = 2$ posibles colores, usualmente blanco y negro.
2. **Imagen en Escala de Grises:** En este tipo de imágenes, cada píxel lleva sólo información de la intensidad de la luz, donde el cero representa al color negro y a medida que el valor aumenta, la tonalidad de gris cambia hasta llegar al color blanco. Las profundidades de color posibles para una imagen en escala de grises son:

- $2 \text{ bpp} = 2^2 = 4$ tonalidades de grises.
- $4 \text{ bpp} = 2^4 = 16$ tonalidades de grises.
- $8 \text{ bpp} = 2^8 = 256$ tonalidades de grises.
- $16 \text{ bpp} = 2^{16} = 65,536$ tonalidades de grises.

3. **Imagen en Color:** Los píxeles de este tipo de imágenes incluyen información del color, es decir, cada píxel posee tres canales de información, uno para cada componente del Modelo RGB. Algunas profundidades de color utilizadas en estas imágenes son:

- $2 \text{ bpp} = 2^2 = 4$ colores. Llamado también CGA⁶
- $4 \text{ bpp} = 2^4 = 16$ colores. Conocido como VGA⁷
- $8 \text{ bpp} = 2^8 = 256$ colores. Denominado también como Super VGA.
- $16 \text{ bpp} = 2^{16} = 65,536$ colores. Llamado *High Color* (color de alta densidad).
- $24 \text{ bpp} = 2^{24} = 16,777,216$ colores. Conocido como *True Color* (color verdadero).
- $32 \text{ bpp} = 2^{32} = 4,294,967,296$ colores. Llamado también *High Definition* (alta definición).

En el Modelo RGB, los bits asignados para la profundidad de color de una imagen deben dividirse por 3. En la Figura 2.11 se observa un ejemplo de la división de bits

⁶De sus siglas en inglés de *Color Graphics Adapter*.

⁷De sus siglas en inglés de *Video Graphics Array*.

para una imagen de 16 bpp. En este caso la configuración es 5-6-5, es decir, se asignan 5 bits para el componente rojo, 6 bits para el verde y 5 bits para el canal azul, logrando así 32 intensidades o tonalidades de color para el componente rojo, 64 para el verde y 32 para el azul. Como estos canales se mezclan para lograr diferentes colores, entonces por combinatoria se deduce que la totalidad de colores en una imagen de 16 bits se obtiene multiplicando las posibles tonalidades de cada canal individual, logrando así una gama de 65.536 posibles colores para cada píxel.

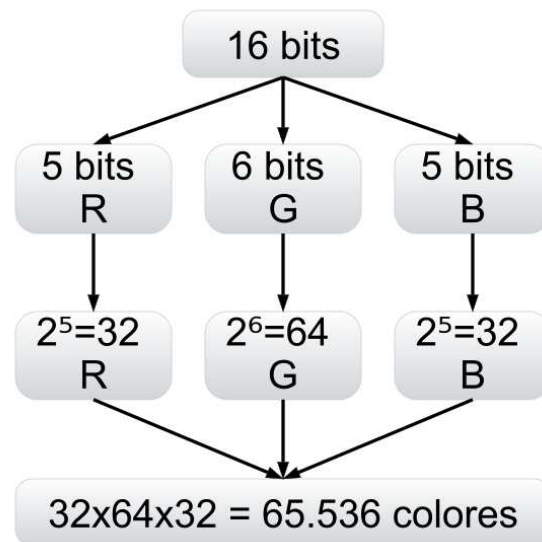


Figura 2.11: División de bits en 3 canales del Modelo RGB

2.6.3. Formato de Archivo de una Imagen Digital

Los archivos gráficos tienen una estructura de datos que permite que se puedan almacenar imágenes de forma legible para algunos programas en particular. La mayoría de los formatos de imágenes digitales están compuestos por:

- Una cabecera que contiene atributos como las dimensiones de la imagen, el tipo de codificación, etc.
- Los datos de la imagen que contiene información sobre la matriz de píxeles.

Los formatos de archivo de imagen los podemos clasificar en dos grupos ([Nikonistas, 2011](#)):

1. **Formato sin compresión:** Permite guardar las imágenes sin pérdida de información, es decir, se puede guardar la imagen con la máxima calidad. Tiene la desventaja que ocupa más espacio en el disco duro. Algunos de los formatos más conocidos son: RAW, TIFF y FITS.
2. **Formato con compresión:** En este formato se pierde parte de la información del archivo al guardarla, lo que se traduce en una pérdida de calidad de la imagen. Tiene la ventaja que ocupa poco espacio en el disco duro. Los formatos más populares son: PNG, JPEG, GIF, entre muchos otros.

2.6.4. La Imagen Digital Generada por la Cámara QUEST

Ahora que sabemos las propiedades de una imagen digital, veamos cuáles son las características particulares de una imagen digital astronómica generada por la cámara QUEST, como la de la Figura [2.12](#):

- Imagen de tipo Raster o de Mapa de bits.
- Imagen en escala de grises.

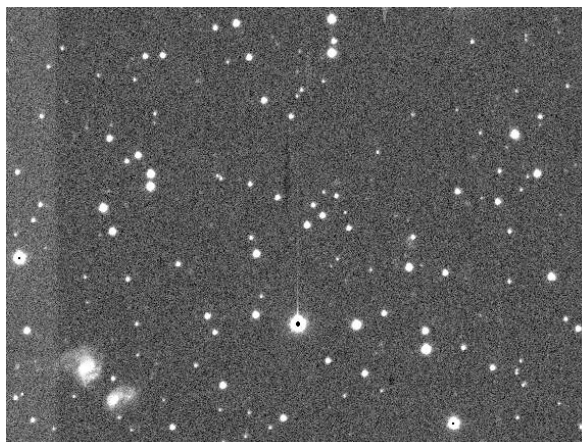


Figura 2.12: Imagen Digital Astronómica Generada por la Cámara QUEST

- Imagen con profundidad de color de 16 bpp = 65.536 tonalidades de grises.
- La profundidad de color esta representada en *Color Directo*.
- El formato de archivo es FITS (formato sin compresión).

Vale la pena mencionar la razón por la que las imágenes son generadas en escala de grises y no a colores. Como se mencionó en la Sección 2.4, en la fase de recolección de carga eléctrica, los electrones son liberados y acumulados en paquetes cargados en los *canales de parada* del CCD. Mientras más electrones son acumulados, más intensidad de luz es captada. Esta cantidad de electrones son llamadas “cuentas”, cuyo rango viene definido por la profundidad de color de la imagen, es decir, desde 0 (cero) hasta 65.535 cuentas. Estas *cuentas* sólo representan la intensidad lumínica captada por cada píxel-sensor de la cámara y no poseen información sobre el color. Si se quisiera obtener una imagen astronómica a color, se deben hacer tres observaciones de la misma zona del cielo utilizando tres filtros de colores distintos: uno rojo, uno verde y otro azul (si se

utiliza el modelo RGB), para luego superponer las tres imágenes y obtener una imagen digital a color que es el resultado de la mezcla de esos tres colores o filtros.

2.6.5. Procesamiento de Imágenes Digitales

En el texto de [Gonzalez et al. \(2001\)](#), una imagen se define como una función bidimensional $f(x_{i,j})$, donde i y j son coordenadas espaciales en el plano y corresponden al ancho y altura de la imagen respectivamente; el valor de f es llamado *intensidad* o *nivel de gris*. Cuando estos valores son finitos y discretos, entonces se les llama *imagen digital*. El campo del Procesamiento de Imágenes Digitales se refiere entonces al tratamiento o cambio de la función que representa a los elementos o píxeles de la imagen digital, por medio de una computadora. La Figura 2.13 muestra la representación de la imagen digital que se utilizará en este trabajo, donde cada punto o píxel simboliza el valor de intensidad lumínica en la posición i,j .

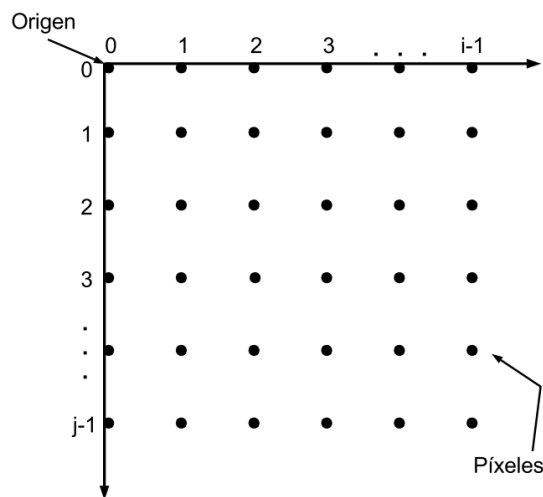


Figura 2.13: Representación de una Imagen Digital

La visión humana está limitada a la banda visible del *Espectro Electromagnético* (ver Figura 2.14). Sin embargo, las computadoras pueden cubrir casi todo este espectro, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. Por lo tanto, el procesamiento de imágenes digitales abarca un amplio y variado campo de aplicaciones. Por ejemplo, las imágenes de *Rayos Gamma* son utilizadas en el campo de la medicina nuclear para el escaneado de huesos; también se utilizan en observaciones astronómicas para detectar radiaciones gamma. Las imágenes generadas por dispositivos que emiten *Rayos X*, son bien conocidas en el área de medicina; aunque también se utilizan en el campo de astronomía para estudios específicos del cielo.

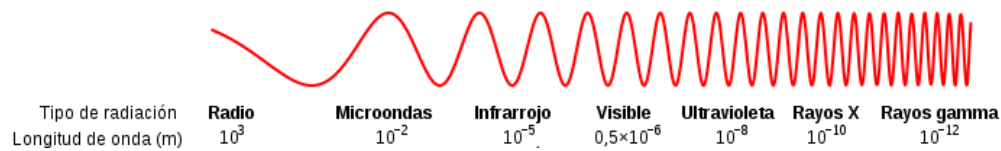


Figura 2.14: Espectro Electromagnético

El procesamiento de imágenes digitales se puede clasificar en tres tipos:

1. **Procesamiento de Bajo Nivel:** Involucra operaciones para la reducción de ruido, realce del *contraste*⁸ y nitidez de la imagen. En este tipo de procesamiento, tanto la entrada como la salida son imágenes digitales.
2. **Procesamiento de Nivel Medio:** Implica tareas como la *segmentación*⁹, la descripción de objetos para reducirlos a una forma más adecuada para el procesamiento, y la clasificación o reconocimiento de los objetos individuales.

⁸Es la diferencia relativa en intensidad entre un punto de una imagen y sus alrededores.

⁹Partición de una imagen en regiones u objetos.

3. **Procesamiento de Alto Nivel:** Implica darle un sentido lógico a un conjunto de objetos reconocidos (análisis de imágenes).

El desarrollo del MODIA se basa en el procesamiento de bajo nivel de la imagen astronómica, ya que estas imágenes son de alto contraste, es decir, estas imágenes se caracterizan por tener objetos muy brillantes en un fondo muy oscuro, por lo tanto, se deben procesar digitalmente para poder observar con claridad los astros u objetos celestes. Esta área del procesamiento de imágenes digitales se le llama *realce de la imagen digital*, y a continuación se definirá formalmente.

Realce de la Imagen Digital

Los procesos de realce de imágenes consisten en una serie de técnicas o algoritmos cuyo objetivo es mejorar la apariencia visual de una imagen, ya sea en contraste, ruido, escala de grises, distorsiones, luminosidad, falta de nitidez, etc., o bien convertir la imagen a una mejor forma para su análisis. El principal objetivo del realce de la imagen es procesar una imagen de tal manera que el resultado obtenido sea el apropiado para una aplicación específica, en este caso, para la visualización en tiempo real de imágenes astronómicas. Los métodos de realce se pueden dividir en dos categorías:

1. **Realce en el Dominio Espacial:** Consiste en la manipulación directa de los píxeles de la imagen.
2. **Realce en el Dominio Frecuencial:** Corresponde a técnicas basadas en la representación frecuencial (histograma) de los píxeles.

Comunicación del Sistema de la Cámara QUEST

En este capítulo se ahonda en la descripción del sistema de la cámara QUEST expuesta en la Sección 2.3. Aquí se hará énfasis en las conexiones en red y en la arquitectura de los diferentes elementos que componen el sistema. También se describirán las características de software y hardware de las computadoras que intervienen en el proceso de toma de imágenes.

La figura 3.1 es una versión más detallada de la figura 1.2 del capítulo anterior. Allí se observan todas las conexiones existentes desde la Cámara QUEST hasta PC7, que contiene la interfaz del usuario. Nótese que el diagrama sólo incluye las conexiones de 4 CCD's (por razones de espacio), aunque realmente cada CCD está conectado a 2 tarjetas para el control y digitalización de las señales. Cada detector del diagrama representa una columna de CCD's. El diagrama pretende simplificar el camino de datos de cada columna de sensores CCD's de la cámara QUEST. La estimación de los tiempos de procesos y transferencias de una línea de datos, está hecha más adelante en la Sección 3.3.

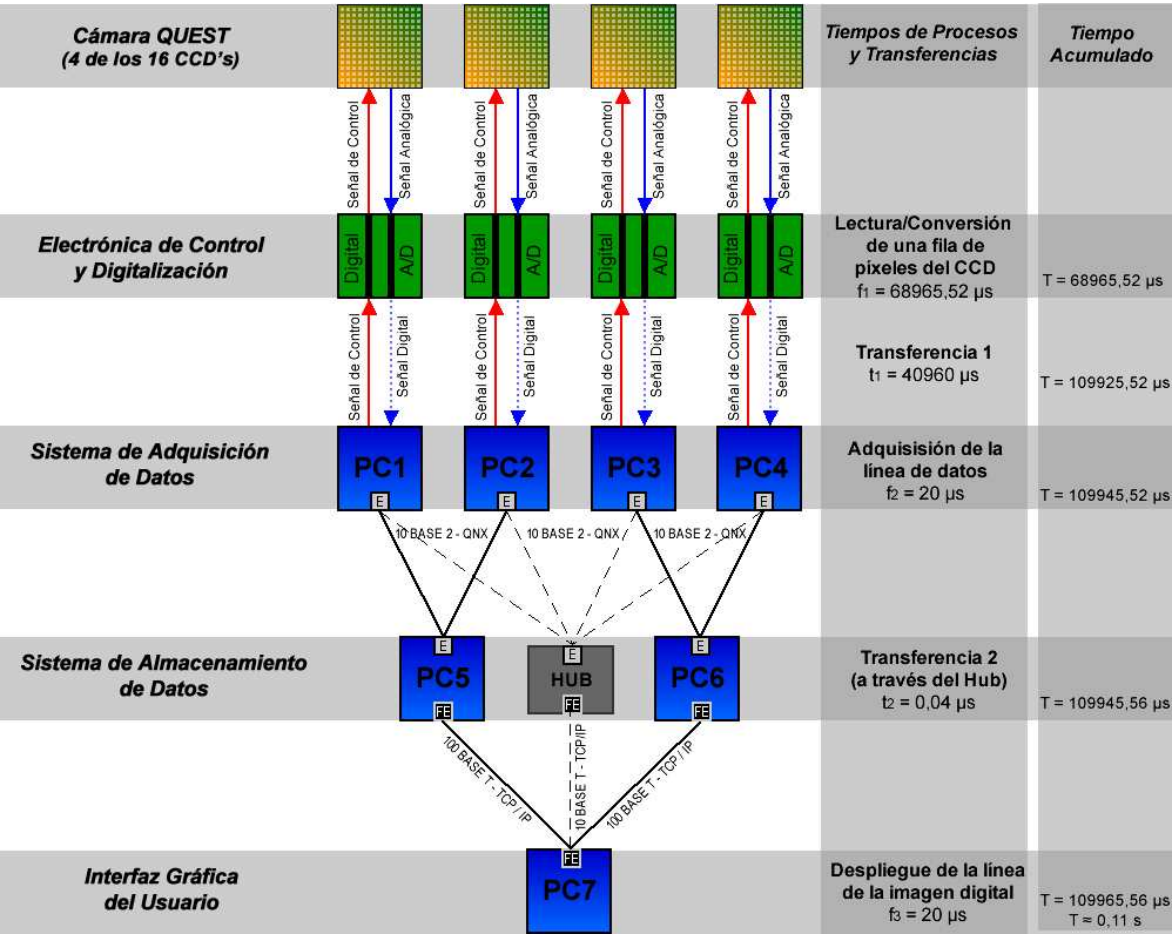


Figura 3.1: Diagrama de Conexiones del Sistema de la Cámara QUEST. Incluye los tiempos de procesos y transferencias de una línea de datos hasta el despliegue en PC7.

En el diagrama se pueden ver dos tipos de conexiones:

Conexiones para señales eléctricas: Se identifican en la sección superior del diagrama, donde las conexiones son denotadas con líneas rojas y azules. Conectan cada CCD de la cámara con 2 tarjetas: una digital y otra analógica/digital (A/D). La tarjeta digital es la responsable de distribuir las señales de control o temporización necesarias para la operación de los detectores. La tarjeta A/D es la encargada de recibir la señal analógica, procesarla, convertirla en una señal

digital y enviarla al sistema de adquisición de datos (PC1, PC2, PC3 y PC4 de la figura 3.1) a través de cable coaxial; esta transferencia se hace de la siguiente forma: la primera columna de sensores (4 CCD's) son enviados a PC1, la segunda columna a PC2, la tercera a PC3 y la cuarta a PC4. El diagrama de la figura 3.1 es una abstracción de un esquema más detallado del Sistema de Control de los Detectores y Electrónica de Lectura y Salida en el artículo de Baltay et al. (2002).

Conexiones de red de computadoras: Se identifican en la parte inferior del diagrama (figura 3.1), desde el sistema de adquisición de datos hasta la interfaz del usuario. Estas conexiones se pueden describir con los estándares utilizados en el área de redes computacionales. Estas computadoras están conectados describiendo una topología de árbol en una configuración 4-2-1 (en la figura 3.1 se aprecia como un árbol invertido). Los datos digitalizados son enviados desde el Sistema de Adquisición hasta el Sistema de Almacenamiento, utilizando una conexión 10BASE2¹ con *protocolo QNX/IPC*². La transferencia de datos se hace de la siguiente manera: las imágenes digitales que están en PC1 y PC2 son enviadas a PC5, y las imágenes que están en PC3 y PC4 se envían a PC6. Finalmente, los datos situados en el Sistema de Adquisición son transferidos a PC7 a través de una conexión 100BASE-T³ y *protocolo TCP/IP*⁴.

¹Notación para describir una conexión de 10 Mb/s de velocidad, Banda Base, y tipo de cable coaxial de 50 Ω .

²Protocolo de conexión para el sistema operativo QNX.

³Conexión de 100 Mb/s de velocidad, Banda Base, y tipo de cable UTP de par trenzado.

⁴Siglas en inglés para Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP). Protocolos que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras.

Adicionalmente, existe una conexión directa entre PC1, PC2, PC3 y PC4 con PC7 (denotada en la figura 3.1 con líneas negras punteadas.) que se utiliza específicamente para el MODIA y se explicará con más detalle en la Sección 3.2.

3.1. Arquitectura Actual del Software del Sistema de la Cámara QUEST

La figura 3.2 documenta los módulos del sistema y muestra las interacciones entre ellos, los protocolos usados para el intercambio de información, dónde se efectúa el mapeo de memoria y las llamadas a los dispositivos de entrada y salida. En esta arquitectura se exponen 11 módulos que agrupan los programas necesarios para que el sistema alcance los objetivos planteados al inicio del proyecto QUEST. Entre estos objetivos se pueden enumerar los siguientes (Rodríguez, 2007):

1. Diseñar, construir y poner en operación una cámara electrónica digital para un telescopio Schmidt de un metro de diámetro, que permitiera cubrir una sección amplia del cielo, utilizando sólo detectores CCD's.
2. Optimizar la cámara electrónica para fotometría y espectroscopía.
3. Permitir la toma de imágenes digitales usando hasta cuatro [U+FB01]ltros simultáneamente.
4. Diseñar y construir un obturador especialmente adaptado para la cámara.

- 5. Manejar el procesamiento de entrada y salida de datos a través de un computador.
- 6. Proporcionar programas para el análisis y compresión de datos en línea.

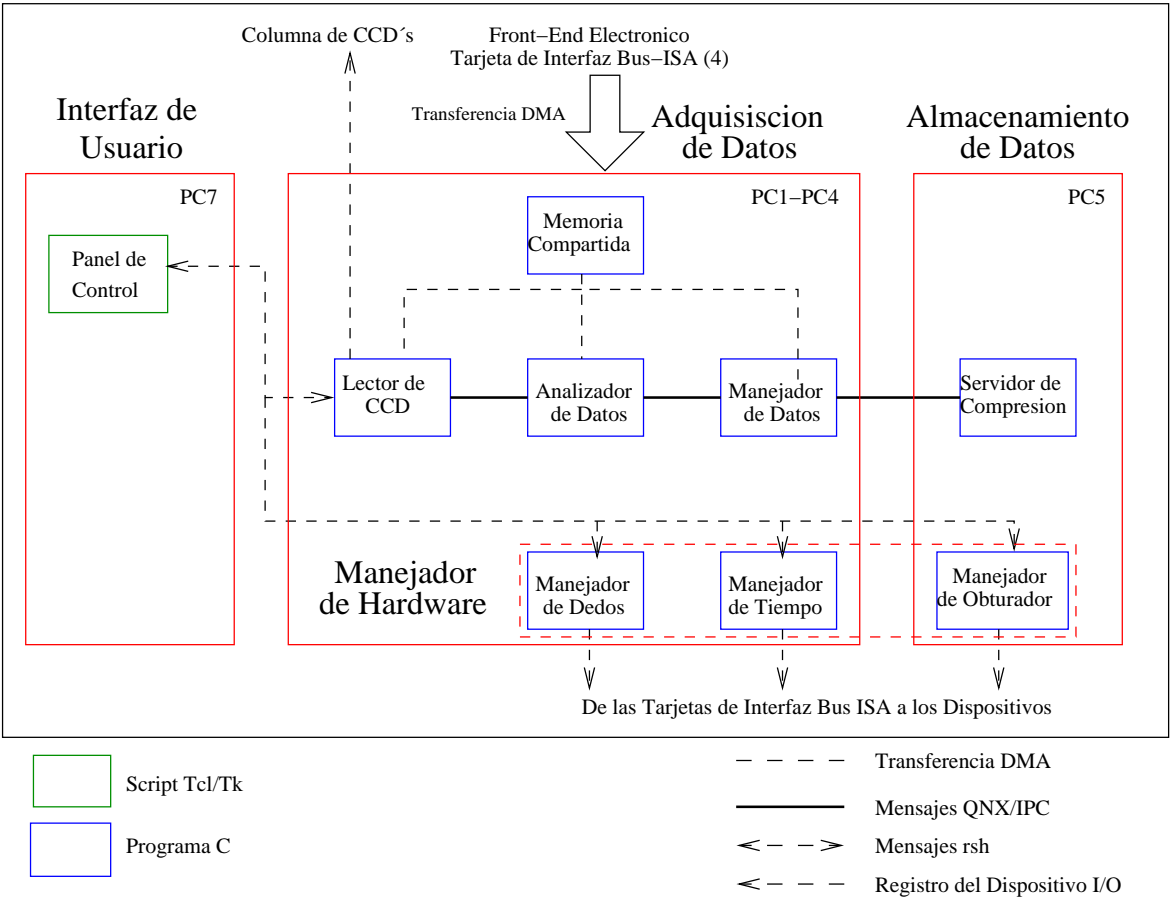


Figura 3.2: Arquitectura actual del software del sistema de la cámara QUEST (Cortesía MSc. Carmen Rodríguez)

Estos once módulos están distribuidos en los siete computadores interconectados por redes Ethernet, mostrados en la figura 3.1). A continuación, se describen estos siete computadores clasificados en tres subsistemas interdependientes, incluyendo descripciones tanto en hardware como en software.

3.1.1. Características de las Computadoras del Sistema de la Cámara QUEST

Las computadoras del Sistema de la Cámara QUEST tienen diversas características y funciones. Algunas de ellas tienen tecnología del año 1998 (año de instalación de la Cámara QUEST en el telescopio Stock) y se siguen utilizando en la actualidad. Estos equipos y parte de su software, tienen características únicas, es decir, tanto hardware como software fueron diseñados únicamente para el telescopio *Jürgen Stock* del OAN. La única computadora que se ha actualizado periódicamente es PC7 (ver figura 3.1) que tiene instalada la interfaz gráfica de usuario y otras herramientas para el análisis de imágenes astronómicas. Veamos a continuación los detalles de las computadoras que integran el sistema.

Descripción de las Computadoras del Subsistema de Adquisición de Datos

Como se ha dicho anteriormente, las computadoras de este subsistema son PC1, PC2, PC3 y PC4 de la figura 3.1, llamadas también QNX1, QNX2, QNX3 y QNX4 debido al sistema operativo que utilizan. Estas computadoras no han sufrido ninguna modificación desde su instalación; tienen las mismas características de hardware y software desde entonces, sólo difieren en sus funciones dentro del sistema. Cada computadora adquiere los datos enviados de una columna del arreglo de CCD's, es decir, cada una adquiere los datos de cuatro detectores distintos de la cámara. Las características específicas son las siguientes:

Hardware:

- ▷ Procesador: Intel Pentium.
- ▷ Frecuencia de reloj: 75 MHz.
- ▷ Memoria RAM: 32 MB.
- ▷ Capacidad de almacenamiento: 0.5 GB.
- ▷ Interfaces: 2 interfaces Ethernet EZ-2000CT.

Software:

La particularidad más relevante es el Sistema Operativo que utilizan: QNX. Es un sistema operativo (no libre) poco conocido, hecho especialmente para aplicaciones de tiempo real, que ofrece un ambiente de programación UNIX. Dentro de cada PC de este subsistema, están instalados un conjunto de programas (la mayoría escritos en Lenguaje C) necesarios para que el sistema alcance los objetivos funcionales planteados por los creadores del proyecto QUEST. Algunos de estos objetivos son:

- Optimizar la cámara QUEST para *fotometría*⁵ en observaciones hechas en modo drift scan y *espectroscopia*⁶ de imágenes hechas a través de un prisma objetivo.
- Manejar el procesamiento de entrada y salida de datos a través de cada computadora del subsistema de adquisición de datos.

⁵Consiste en sumar todo el flujo de fotones observado dentro de un radio determinado a partir del centro de un objeto (estrella).

⁶Equivalente de la fotometría para imágenes con espectros.

- Proporcionar varios tipos de análisis, estadísticas y compresión de datos en tiempo real.

Este conjunto de programas están separados en tres módulos: Módulo Lector CCD, Módulo Analizador de Datos y Módulo Manejador de Datos; los cuales se explican a continuación:

a. Módulo Lector CCD:

Este módulo inicia el controlador de los CCD's y los otros módulos del sistema (Analizador y Manejador de datos) y envía reportes de estatus a la interfaz gráfica de PC7 (Programa Observe). Este módulo está compuesto por seis programas que se detallan en la Tabla 3.1.

Programa	Descripción
<code>ccd.c</code>	Es el programa principal y se inicia cuando recibe la señal de control que indica que debe iniciar la adquisición de datos. Hace llamados a los demás programas del módulo.
<code>dma.c</code>	Contiene funciones para la transferencia de datos a través de DMA
<code>partport.c</code>	Contiene funciones para manejar las interrupciones en el puerto paralelo
<code>timer.c</code>	Contiene funciones para manejar contadores de tiempo para los pulsos de inicio del sistema
<code>dates.c</code>	Contiene funciones que devuelven la fecha como texto para que se incluyan en los encabezados de las imágenes
<code>rate.c</code>	Calcula la frecuencia de barrido de cada CCD

Tabla 3.1: Programas del Módulo Lector CCD

b. Módulo Analizador de Datos:

Este módulo tiene todos los elementos necesarios para ejecutar diversos análisis y estadísticas de los datos en tiempo real. Actualmente, la mayoría de estos programas no están en uso. Aunque el código está hecho, se asume que los objetivos iniciales de

esos programas no fueron alcanzados. Este módulo está compuesto por 13 programas que se detallan en la Tabla 3.2.

Programa	Descripción
survey.c	Es el programa principal. Es iniciado por el Módulo Lector CCD. Permite analizar datos en tiempo real
measure.c	Contiene funciones para evaluar el objeto (estrella) y medir los parámetros de su forma
detect.c	Contiene funciones para la detección de objetos
writecat.c	Contiene funciones para escribir información del objeto
bufobj.c	Escribe la información del objeto en la GUI vía sockets
conv.c	Realiza la convolución de 2 líneas de datos
hist.c	Genera histogramas de las imágenes
kthval.c	Retorna el k-ésimo valor más pequeño en el arreglo de datos
makebias.c	Hace un falso BIAS (imagen de calibración)
ramp.c	Contiene funciones que complementan el cálculo de histogramas
scroll.c	Contiene funciones para procesar la imagen. El antiguo programa de despliegue lo utilizaba, recibiendo los datos vía socket
sky.c	Calcula el brillo del cielo y normaliza la medida
stamper.c	Hace estampas de la imagen alrededor de objetos detectados

Tabla 3.2: Programas del Módulo Analizador de Datos

c. Módulo Manejador de Datos:

Una vez que el módulo Lector CCD inicia la ejecución del Manejador de Datos, este se encarga de recibir cada una de las líneas de datos de las imágenes para construir la imagen FITS (comprimida o sin comprimir). Este módulo está compuesto por tres programas que se detallan en la Tabla 3.1.

Programa	Descripción
writer.c	Manda los datos a otro programa para su compresión
wfitshdr.c	Escribe el encabezado del archivo FITS
writefits.c	Crea el archivo FITS sin compresión

Tabla 3.3: Programas del Módulo Manejador de Datos

Acceso Directo a Memoria:

La transferencia de datos que se hace desde la Electrónica de Control y Digitalización hasta el Sistema de Adquisición (ver línea azul punteada de la figura 3.1), se realiza por medio de cable coaxial hasta las tarjetas controladoras de los CCD's que están integradas en PC1, PC2, PC3 y PC4. Estas tarjetas tienen un *bus ISA*⁷ que realiza transferencias de datos por medio de *Acceso Directo a Memoria* (DMA⁸). Según Rodríguez (2007), cada uno de estos buses acceden a la memoria para leer o escribir independientemente del procesador principal. En otras palabras, el procesador puede paralelamente acceder y procesar datos ya adquiridos, mientras que en el fondo continúa la transferencia de datos a otros bloques de memoria, lo que conduce a un incremento en la productividad del sistema. Éstos bloques de memoria son compartidos por los diferentes procesos explicados en las tablas anteriores.

Memoria Compartida:

Los tres módulos mencionados anteriormente hacen uso de *memoria compartida* para el intercambio de datos. La memoria compartida consiste en zonas de memoria con la característica de poder ser accedidas por varios procesos o programas simultáneamente. En otras palabras, los cambios que un proceso realice a los valores almacenados en memoria compartida son visibles para los demás procesos que utilicen esa misma memoria compartida. A diferencia de la memoria compartida, “la memoria convencional a la que puede acceder un proceso es local a ese proceso y cualquier intento de

⁷Siglas en inglés para Industry Standard Architecture (ISA). Es un tipo de ranura para tarjetas, integrada a la placa madre.

⁸Siglas en inglés para Direct Memory Access.

direccionar esa memoria desde otro proceso provocaría una violación de segmento” (Blanchette, 2008).

Descripción de las Computadoras del Subsistema de Almacenamiento de Datos

Las computadoras de este subsistema son PC5 y PC6 de la figura 3.1, llamados también QNX5 y QNX6 respectivamente. Estas computadoras tampoco han sufrido modificaciones desde su instalación. PC5 y PC6 tienen la función de almacenar de manera temporal las imágenes que se realizan en una jornada de trabajo, ya que las computadoras del Sistema de Adquisición tienen poca capacidad de almacenamiento. Los datos adquiridos por PC1 y PC2 se almacenan en QNX5, y los datos de PC3 y PC4 se guardan en PC6. Las características de estos equipos son la siguientes:

Hardware:

- ▷ Procesador: Cyrix 686.
- ▷ Frecuencia de reloj: 133 MHz.
- ▷ Memoria RAM: 64 MB.
- ▷ Capacidad de almacenamieto: 16 GB (2 discos duros de 8 GB cada uno).
- ▷ Interfaces: 2 interfaces Ethernet EZ-2000CT, y 1 interfaz Fast Ethernet genérica.

Software:

Al igual que las computadoras del Sistema de Adquisición, los equipos de este sistema

también utilizan el sistema operativo QNX descrito anteriormente. Además, poseen un conjunto de programas para la compresión de las imágenes y para controlar algunos dispositivos mecánicos del telescopio como son: el Obturador y los Dedos.

a. Servidor de Compresión:

En una noche de observación se pueden generar grandes cantidades de datos. Cada imagen digital astronómica (en formato FITS) ocupa un espacio en memoria de 8.4 MB aproximadamente. Si se multiplica ese espacio de memoria por 16 (cantidad de CCD's de la cámara QUEST) y por la cantidad máxima de cuadros que se pueden generar en una jornada de observación ($25 \text{ cuadros/hora} * 10 \text{ horas} = 250 \text{ cuadros}$), entonces se podrían producir hasta 33 GB de datos por noche. Esta cantidad de datos puede ser un inconveniente para el almacenamiento y transferencia de datos, sobretodo en equipos de casi 15 años de antigüedad. Es por esta razón que se utilizan técnicas de compresión para las imágenes digitales. El Módulo Manejador de Datos identifica el CCD del que provienen los datos que recibe e inicia el Servidor de Compresión en la máquina que corresponda (PC5 ó PC6). Después de la compresión, se genera un archivo con extensión `fits.enc`, con un peso aproximado de 5.2 MB. Los programas de este módulo se detallan en la Tabla 3.4.

Programa	Descripción
<code>compressor.c</code>	Manda los datos a otro programa para su compresión Se encarga de recibir las líneas de datos, de comprimirlos y de escribirlas a disco.
<code>encode.c</code>	Contiene funciones para la compresión de la imagen.
<code>decode.c</code>	Contiene funciones para la descompresión de la imagen.

Tabla 3.4: Programas del Servidor de Compresión

b. Manejador de Obturador:

El Obturador es un dispositivo mecánico que permite la entrada de luz al foco del telescopio. Está compuesto por unas láminas que se abren o cierran de forma radial. Este instrumento fue fabricado especialmente para el telescopio Stock, ya que no existen versiones comerciales que se puedan adaptar a las características de este telescopio.

El llamado al Manejador del Obturador se hace a través de la interfaz grafica de usuario en PC7, de modo que el obturador se abra al iniciar una observación (en cualquiera de sus dos modalidades) y se cierre al terminar. Es posible ejecutar este módulo manualmente a través de la consola linux. Este módulo comprende un sólo programa, llamado: `obtuver2.c`, pero a diferencia del módulo anterior, este sólo se encuentra instalado en PC5.

c. Manejador de Dedos:

Como se explicó en la Sección 2.5.2, los Dedos o columnas de detectores, deben situarse perpendicularmente al movimiento sideral de las estrellas. Se recuerda que la posición de cada dedo dependerá de la declinación del telescopio, y son valores que han sido previamente calculados y están tabulados en una tabla que está a disposición del observador.

El programa manejador de Dedos, llamado `movde2.c`, está instalado sólo en PC5 y se corre directamente desde una consola Linux. Este programa despliega un menú de texto que permite escoger el dedo que se desea mover, así como la posición deseada por el usuario.

Descripción de la Computadora con la Interfaz Gráfica de Usuario

Esta computadora, conocida como Babel, ha sido la única computadora del sistema de la cámara QUEST que ha tenido varias actualizaciones a lo largo del tiempo. La razón principal es que no utiliza el sistema operativo QNX, sino que ha utilizado distribuciones libres de Linux. Algunas de las funciones de esta computadora son las siguientes:

1. Alojar la interfaz gráfica de usuario, llamada "Programa Observe". Este programa está hecho en Tcl/Tk⁹ y se encarga de controlar y monitorear la cámara QUEST al momento de realizar las observaciones.
2. Grabar temporalmente los datos u observaciones de las últimas jornadas de trabajo hasta que estos sean respaldados de manera definitiva en el servidor de datos principal.
3. Alojar programas para el análisis de la calidad de imágenes, tales como el programa `\observacion_directaV6.pl` cuya función principal es transferir y analizar las imágenes de un sólo CCD, de un dedo o del mosaico completo. El análisis es hecho en términos del Seeing y la Elipticidad, tal y como se explicó en la Sección 1.3.

La computadora PC7 fue actualizado por última vez el 21 de Septiembre de 2007.

Las características de hardware y software actuales son las siguientes:

⁹Del acrónimo en inglés: Tool Command Language/Tool Kit. Es utilizado para la creación de interfaces gráficas.

Hardware:

- ▷ Procesador: Pentium D.
- ▷ Frecuencia de reloj: 3.4 GHz.
- ▷ Memoria RAM: 2 GB.
- ▷ Capacidad del disco duro: 300 GB.

Software:

- ▷ Sistema Operativo: Linux 32 bits.
- ▷ Distribución: Fedora Core 7.
- ▷ Entorno gráfico: KDE 3.5.7-21.
- ▷ GUI: Programa Observe.

El “Programa Observe” se ha modificado en los últimos años para cumplir con requerimientos del Departamento Científico del CIDA. El cambio más destacado consiste en la adición de un formulario que contiene campos que debe llenar el usuario antes de cada observación. Estos campos son las especificaciones propias de la observación, tales como: nombre del proyecto al que pertenece, ascensión recta, declinación, ángulo horario, filtros, foco, condiciones del cielo, etc. Todos estos campos son añadidos al encabezado de la imagen digital.

Actualización de PC7

El MODIA está escrito en lenguaje C++ y utiliza Qt como principal biblioteca. La última versión de Qt (4.7) requiere tener actualizada la biblioteca GlibCXX¹⁰. El sistema actual de PC7 tiene la versión 2.6.4 de esta biblioteca y se requiere la versión 3.4.9 o superior. Actualizar este tipo de librerías en un sistema con características tan singulares como el Sistema QUEST, que está constantemente en uso, no es sencillo. Como los equipos del OAN son únicos, el funcionamiento de estos es crítico; entonces se trabaja bajo la filosofía: “*si funciona, no lo toques*”. Por lo tanto, la actualización de algún equipo del sistema de la cámara QUEST (tanto en hardware como en software) requiere de pruebas preliminares antes de ser sustituido.

Recientemente se compró una nueva cámara CCD para el Telescopio Stock que se estima instalar a finales de este año 2011. Los nuevos sensores CCD's, construidos especialmente para el telescopio *Jürgen Stock* del OAN, se encargaron a una compañía inglesa y su costo total fue de 1 millón de dólares aproximadamente, la cantidad más alta que ha gastado el CIDA desde la instalación de los telescopios hace más de 40 años. Motivada a esta inversión, se aprobó también la compra de un nuevo computador PC7 con un costo aproximado de 8 mil dólares. Sus características son las siguientes:

Hardware:

- Procesador: Intel Xeon X5667 (2 procesadores para servidores).
- Frecuencia de reloj: 3.06 GHz.

¹⁰Biblioteca estándar del lenguaje C++ de GNU/Linux

- Memoria RAM: 48 GB.
- Capacidad de almacenamiento: 8 TB (4 discos duros SAS de 2 TB cada uno).
- Tarjeta de Red: PCIe-4 de 1 Gb (4 tarjetas).

Software:

- Sistema Operativo: Linux 64 bits.
- Distribución: Fedora Core 14.

La distribución Fedora Core 14 de Linux, tiene las últimas versiones de la biblioteca GlibCXX de forma nativa, lo que permitirá la instalación de la biblioteca Qt y su ambiente de desarrollo, QT Creator.

3.2. Arquitectura Cliente-Servidor

La arquitectura cliente-servidor consiste básicamente en un programa cliente que realiza peticiones a otro programa (servidor) que le da respuesta. En esta arquitectura la capacidad de proceso está repartida entre las computadoras que alojan el cliente y el servidor. La separación entre cliente y servidor es una separación de tipo lógico, donde el servidor no se ejecuta necesariamente sobre una sola máquina ni es necesariamente un sólo programa ([Wikipedia, 2011](#)).

La figura 3.3 representa un segmento del diagrama de conexiones de la figura 3.1. Esta sección, comprende la conexión directa que existe desde el Sistema de Adquisición

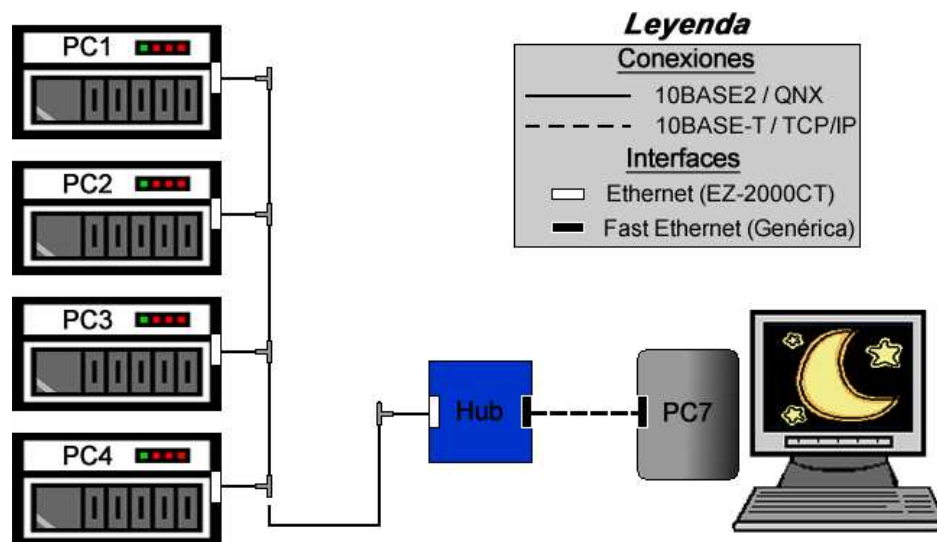


Figura 3.3: Diagrama de Conexiones de un Segmento del Sistema de la Cámara QUEST (PC1, PC2, PC3 y PC4) hasta la Interfaz Gráfica del Usuario en PC7, sin pasar por PC5 y PC6. Se mencionó anteriormente que esta conexión directa era la que utilizaba el antiguo programa de despliegue de imágenes astronómicas (*XDrift*), y que el MODIA pretende recuperar.

Ahora que se identifica la trayectoria de los datos, faltaría determinar los procesos que actúan en la transferencia de datos. Entonces, ¿Cuáles son los programas Cliente y Servidor?. En el caso particular del Sistema de la Cámara QUEST, el programa cliente será el que recibe los datos de la imagen digital; en otras palabras, el programa cliente será el MODIA, que estará instalado en PC7. El programa servidor es un poco más complicado de determinar. La idea principal es reutilizar el mismo programa servidor que utilizaba el antiguo programa XDrift, pero ¿Cuál es?.

Se recuerda que en la sección 3.1.1, donde se explicaron las características de las computadoras del Sistema de Adquisición, se definen tres módulos en los que están

clasificados todos los programas que están instalados en las computadoras de este subsistema (ver tablas 3.1, 3.2 y 3.1). En total, son más de veinte programas que corren simultáneamente en cada una de estas cuatro computadoras, al momento de realizar una observación. Para examinar estos programas, se aplicó un proceso de Ingeniería en Reversa, el cual consiste en recuperar información del sistema de software a partir del código fuente. De esta inspección, se concluyó que el programa servidor se encuentra en el Módulo Analizador de Datos y se llama `scroll.c` (ver Tabla 3.2). Este programa, que se llamará Servidor, manda una por una las líneas de datos de la imagen digital procedente de un sólo CCD de la cámara, a una determinada frecuencia. El antiguo programa XDrift tenía una interfaz en la cual el observador podía escoger el CCD del cual se deseaba obtener el despliegue en tiempo real. Este programa mostraba la imagen de un sólo detector a la vez.

3.2.1. Comunicación Cliente-Servidor: Sockets

Se sabe que cada píxel tiene un valor numérico que representa la intensidad lumínica (cuentas) del fragmento del cielo capturado por el detector; a ese valor, se le asigna el tipo de dato “`unsigned short int`” (`ushort`), de 2 Bytes (16 bits) de tamaño y cuyo rango de valores es: $[0, 65.535]$. Entonces, al multiplicar: $2 \text{ bytes/pixel} * 2048 \text{ pixeles} = 4096 \text{ bytes}$ por cada línea de datos, que se debe transferir a través del Socket.

Los Sockets se refieren al método para crear una conexión entre dos procesos o programas, para intercambiar cualquier flujo de datos de manera fiable y ordenada.

Los Sockets están caracterizados por su *dominio*, *tipo* y *protocolo de transporte* ([The GNU C Library, 2011](#)).

- El *dominio* se refiere al formato de identificación del computador huésped o “*host*” al cual se desea conectar. La identificación consta de su dirección IP¹¹ y el puerto de salida.
- Existen dos *tipos* de Sockets: de flujo y de datagrama. Los Sockets de flujo utilizan el protocolo TCP, el cual nos asegura el orden de los objetos durante la transmisión. Los Sockets de datagrama utilizan el protocolo UDP¹², en el cual se construye un paquete de datos con información sobre su destino y se envía afuera, sin necesidad de una conexión.
- El *protocolo de transporte* es el que usa cada tipo de Socket: TCP o UDP.

El programa `scroll.c` (el Servidor del MODIA), utiliza la función `writen`¹³, la cual envuelve a la función `write`¹⁴ que escribe o envía la línea de datos al Socket. La función `write` tiene tres parámetros, que son: el descriptor del socket, la línea de datos y la cantidad de bytes de la línea de datos que se desea enviar. Esta función devuelve un entero con la cantidad de bytes que efectivamente se escribieron en el Socket. Esta función es similar a `send`¹⁵, pero no tiene un parámetro adicional que incluye opciones de entrada-salida del Socket.

¹¹Es una etiqueta numérica que identifica a una tarjeta de red (interfaz) de una computadora.

¹²Siglas en inglés de User Datagram Protocol.

¹³La función `writen` está especificada en el programa `sock.c` del Módulo Analizador de Datos.

¹⁴La función `write` está declarada en la biblioteca “`unistd.h`”.

¹⁵La función `send` está declarada en la biblioteca “`sys/socket.h`”.

Para establecer la comunicación entre los Sockets del Cliente y Servidor, se especifica como dominio una dirección IP determinada (ver Tabla 3.5) y el puerto de salida 2241. El tipo de Socket es de flujo, que utiliza el protocolo de transporte TCP.

Interfaz	Dirección IP
PC1	172.16.176.195
PC2	172.16.176.193
PC3	172.16.176.192
PC4	172.16.176.194
PC7	172.16.175.191

Tabla 3.5: Direcciones IP de las Interfaces en los Equipos Cliente-Servidores

Una vez establecida la conexión, los datos se transmiten mediante el intercambio de segmentos. *“Puede pensarse en los datos que fluyen en una conexión como en un flujo de octetos. Los datos de cualquier segmento en particular pueden ser el resultado, total o parcial, de una llamada **send** única, o de múltiples llamadas **send**”* (RFC793, 1981). En nuestro caso, la función **write** es invocada por la función **writen** (ver Figura 3.4). Esta función envuelve en un bucle a **write**, y la llama una o más veces, hasta que la cantidad de bytes escritos en el Socket sea igual a 4096. Luego, el módulo de TCP empaqueta en segmentos la línea de datos y efectúa una llamada al módulo de internet para que transmita cada segmento al módulo de TCP del destino (en PC7) a través de datagramas de Internet.

Como se mencionó anteriormente, el flujo de datos enviado sobre la conexión de TCP se debe entregar de forma fiable y ordenada al destino. La transmisión es fiable

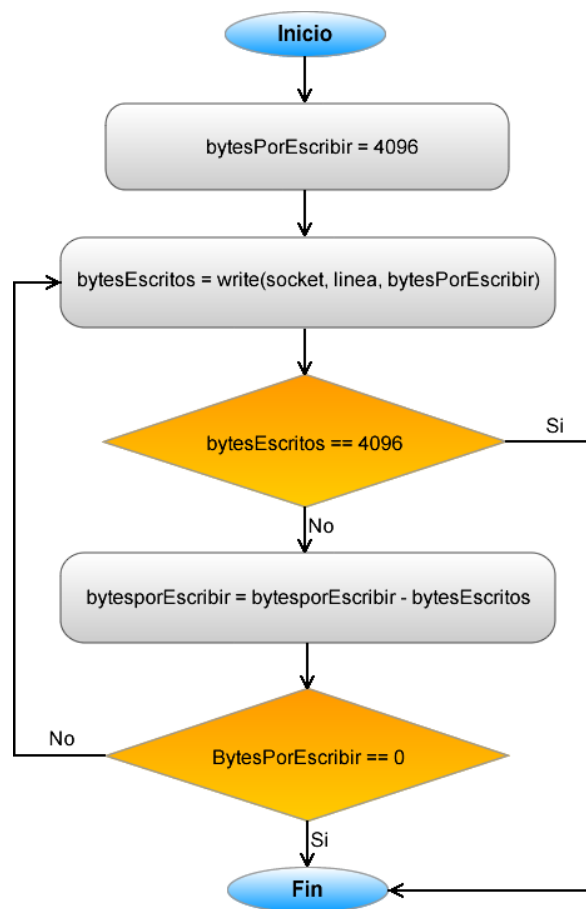


Figura 3.4: Diagrama de Flujo de la Función `writen` del Programa `scroll.c`

gracias al uso de *números de secuencia* y de *acuses de recibo* (ACK¹⁶). Los números de secuencia sirven para ordenar los segmentos TCP recibidos y detectar errores en la entrega, y el acuse de recibo es un mensaje que envía el receptor para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado a su destino. Para controlar el flujo de datos, el TCP receptor devuelve una “ventana” (dentro del mensaje ACK) al TCP emisor. Esta ventana indica cuántos bytes el receptor puede aceptar y es variable durante la conexión.

¹⁶Abreviación del término en inglés “acknowledgment”.

La línea de datos escrita en el Socket, es fragmentada en varios segmentos debido a que existe un *Tamaño Máximo de Segmento* (MSS¹⁷). Cuando se usa el protocolo TCP para efectuar una conexión, las computadoras que se conectan deben acordar y establecer el tamaño de la *Unidad Máxima de Transferencia* (MTU¹⁸) que ambos puedan aceptar. En el caso del protocolo TCP, el MTU es de aproximadamente 1500 bytes. La relación entre el MSS y el MTU es la siguiente ([RFC879, 1983](#)):

$$MSS = MTU - \text{tamaño del encabezado TCP/IP}$$

Para la arquitectura Cliente-Servidor que utiliza el MODIA, se observó el empaquetamiento en segmentos de la línea de datos (hecha por módulo TCP del emisor), utilizando el *programa analizador de paquetes*¹⁹ llamado “Wireshark”, el cual fue instalado en PC7. Se identificaron los segmentos de datos a partir de las direcciones IP de las interfaces de PC1 (origen) y PC7 (destino), y del protocolo de transferencia (TCP). La figura 3.5 muestra que la línea de datos que captura el programa servidor (procedente de la cámara QUEST) es fragmentada en cuatro segmentos (en el módulo TCP de la capa transporte²⁰), ya que sobrepasa la MTU. Los tamaños de los segmentos TCP suman 4096 bytes. Cada segmento recibido por el programa cliente (MODIA) es almacenado temporalmente en un *buffer* hasta que el tamaño total de la línea (4096 bytes) es alcanzado. Luego, el MODIA despliega la línea a través de la interfaz gráfica de usuario.

¹⁷Siglas en inglés de “Maximum Segment Size”.

¹⁸Siglas en inglés de “Maximum Transfer Unit”.

¹⁹Llamado en inglés “sniffer”, el cual es un programa que observa el tráfico que circula por una red de computadoras.

²⁰Una de las siete capas del Modelo OSI (open system interconnection).

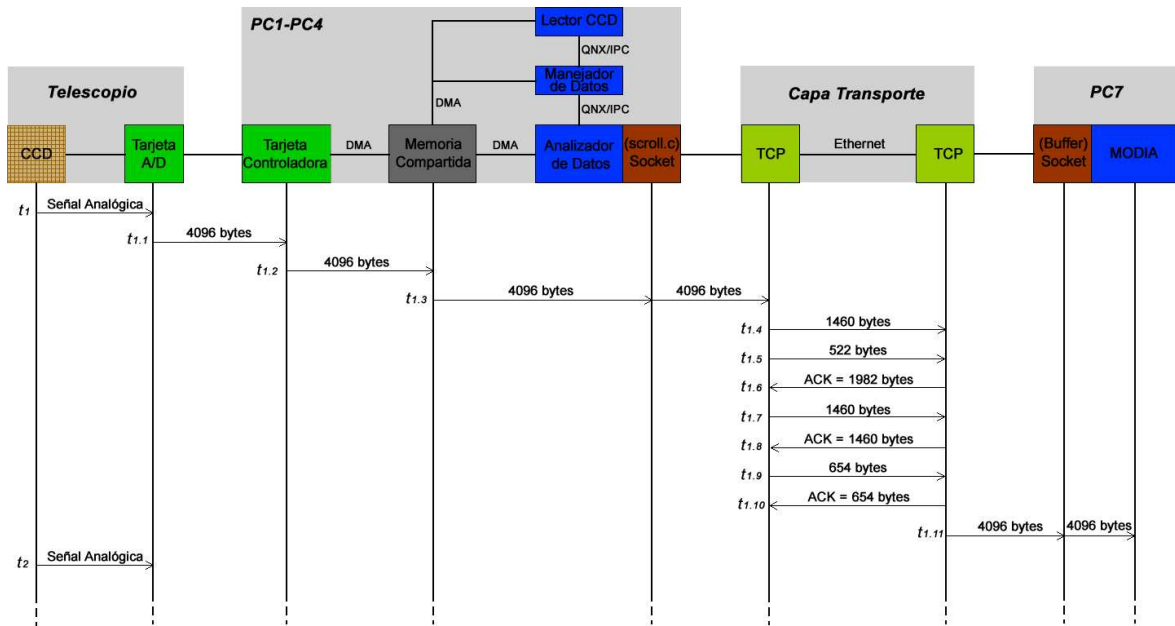


Figura 3.5: Diagrama Temporal de Segmentos TCP

En La figura 3.5 también observamos que la segmentación (tamaño de los paquetes) es desorganizada, y en consecuencia, poco eficiente en la transferencia. Nótese que el primer segmento alcanza el MSS (1460 bytes) y el segundo es de menor tamaño (522 bytes), luego el tercer segmento vuelve a alcanzar el MSS y el cuarto es de menor tamaño (654 bytes). Aunque los segmentos se envían y reciben de forma fiable y ordenada gracias al protocolo de transferencia TCP, la segmentación puede ser optimizada, es decir, que los segmentos sean del máximo tamaño posible. Queda como trabajo futuro el estudio de técnicas en la Capa Aplicación, que mejoren el proceso de transferencia a nivel de la Capa Transporte.

3.3. Estimación del Tiempo del Proceso de Despliegue de la Imagen Astronómica

En la figura 3.6 se observan tres fases en el proceso de despliegue de cada línea de datos capturada por los sensores CCD's. Entre cada fase existe un tiempo de transmisión. Entonces, el tiempo total que tarda una línea, desde que es leída por el detector hasta que es desplegada por el MODIA, es el tiempo que dura cada fase (f_1 , f_2 , f_3), más los tiempos de transmisión (t_1 , t_2). Este tiempo total se puede expresar mediante la siguiente expresión:

$$Tiempo\ Total = \sum_{i=1}^3 f_i + \sum_{j=1}^2 t_j \quad (3.1)$$

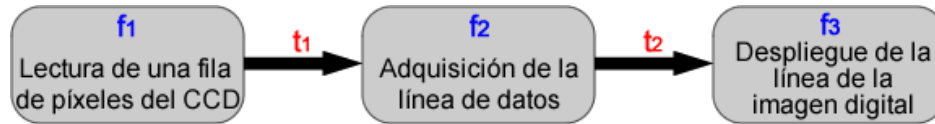


Figura 3.6: Fases para estimar el tiempo de despliegue de una línea de datos

Fase 1 (f_1): Lectura de una fila de píxeles del CCD

El MODIA está diseñado para desplegar imágenes cuando el telescopio funciona en modo rastreo o Drift Scan. A diferencia del modo clásico de observación, el modo guiado (ver capítulo 2.5.1), donde el tiempo de exposición a la luz depende del tiempo de apertura del obturador, en el modo Drift Scan, el tiempo de exposición se define como el tiempo que le toma a un objeto atravesar un CCD. Entonces, el barrido del detector

se hace línea por línea, a una determinada frecuencia que es función del *movimiento sideral* y de la *declinación* del telescopio. Se toma como aproximación, una frecuencia de barrido de $14,5 \text{ Hz}$ (Sabbey et al., 1998). Entonces, el tiempo de la fase 1 se puede expresar en el siguiente término:

$$f_1 = \frac{1}{14,5} = 0,0689655 \text{ seg} = 68965,51724 \mu\text{seg} \quad (3.2)$$

Se debe mencionar que para empezar a observar objetos celestes en el Modo Drift Scan, el objeto debe atravesar todo el CCD. Por lo tanto, el primer cuadro de la imagen (las primeras 2048 líneas) no mostraría una imagen válida, ya que los objetos aún no han tenido el tiempo de exposición requerido en este modo de observación. Entonces, se debe esperar $0,0689655 \text{ seg} * 2048 \text{ pixels} \simeq 141 \text{ seg}$, para poder observar una imagen astronómica válida a través del MODIA.

Tiempo de Transferencia 1 (t_1)

El tiempo de transferencia de una línea entre los CCD's y el Sistema de Adquisición de datos, viene dado por el tiempo que toma leer una línea de datos desde el CCD. Los datos se transfieren en ráfagas de 2048 datos, a una frecuencia de $50 \text{ kHz} = 50000 \text{ Hz}$ (Sabbey et al., 1998), lo que se traduce en un tiempo de lectura por línea (t_1) de:

$$t_1 = \frac{1}{50000} * 2048 = 0,04096 \text{ seg} = 40960 \mu\text{seg} \quad (3.3)$$

Fase 2 (f_2): Adquisición de la línea de datos

El tiempo de adquisición de cada línea de datos, se define como el tiempo de escritura en *DMA* en cada uno de los cuatro computadores del Sistema de Adquisición. Este tiempo es de 20 μseg (Sabbey et al., 1998). Entonces:

$$f_2 = 20 \mu seg \quad (3.4)$$

Tiempo de Transferencia 2 (t_2)

El tiempo de transferencia de una línea de datos entre PC1 (del Sistema de Adquisición de Datos) y PC7 (ver Figura 3.3), se determinó utilizando el programa “Wireshark”. Como se indicó en la sección 3.2.1, la transferencia de una línea de datos se hace fragmentada en cuatros segmentos. Entonces, el tiempo t_2 se calculó sumando los tiempos promedios de transferencia de cada uno de los 4 segmentos (\bar{t}_S).

$$t_2 = \sum_{i=1}^4 \bar{t}_{Si} = 0,0365225 \mu seg \quad (3.5)$$

Fase 3 (f_3): Despliegue de la línea de la imagen digital

El tiempo de despliegue de una línea de la imagen digital es el tiempo que toma el MODIA en leer la línea de datos del Socket, procesarla, transformarla en imagen digital y desplegarla. Para medir este tiempo se utilizó la clase *QTime* de la biblioteca Qt, que devuelve el tiempo (en *mseg*) de despliegue de cada línea de datos. Se tomó un

promedio de más de 500 líneas desplegadas y el resultado fue de 0,82 *mseg* por línea.

Por lo tanto:

$$f_3 = 0,82 \text{ mseg} = 0,00082 \text{ } \mu\text{seg} \quad (3.6)$$

Finalmente, la estimación del tiempo total del proceso de despliegue de la imagen astronómica, se calcula con la ecuación 3.1:

$$Tiempo \text{ Total} = f_1 + t_1 + f_2 + t_2 + f_3$$

$$Tiempo \text{ Total} = 109945,5546 \text{ } \mu\text{seg}$$

$$Tiempo \text{ Total} \approx 0,11 \text{ seg}$$

Arquitectura y Funcionamiento del MODIA

Ahora que se expuso todo el contexto teórico necesario para el desarrollo del proyecto, entonces podemos abordar la arquitectura y funcionamiento paso a paso del MODIA. Sin embargo, antes de hablar de estos puntos, es importante ubicar este módulo dentro de la arquitectura actual del software del sistema de la cámara QUEST. Para ésto, modificamos la figura 3.2 para anexarle el módulo de despliegue. La nueva arquitectura la observamos en la figura 4.1, la cual muestra el MODIA en la sección de la Interfaz de Usuario (PC7) junto con el Panel de Control (Programa Observe) de los CCD's.

En resumen, el software recibe líneas de datos del programa servidor (programa `scroll.c` del módulo analizador de datos), las cuales contienen valores enteros que representan la intensidad de la luz de cada píxel-sensor de un CCD. Luego, el módulo realiza varias tareas para poder visualizar de manera aceptable la imagen digital. El software despliega la imagen captada por un detector a la vez, pero la interfaz gráfica tiene un panel en el que se podrá cambiar la captura del CCD y así abarca los 16

CCD's de la cámara QUEST. La lectura, proceso y despliegue de la imagen digital se hace línea por línea, ya que el MODIA está diseñado para desplegar observaciones hechas en *modo rastreo o drift scan*. Como se mencionó en la Sección 2.5.2, en esta modalidad la lectura de los detectores CCD's se realiza a una frecuencia sincronizada con la velocidad lineal de los astros según su *movimiento sideral*, en otras palabras, la lectura se hace fila por fila en cada CCD de la cámara, a una frecuencia predeterminada que depende del *movimiento sideral* de los astros a una cierta *declinación*.

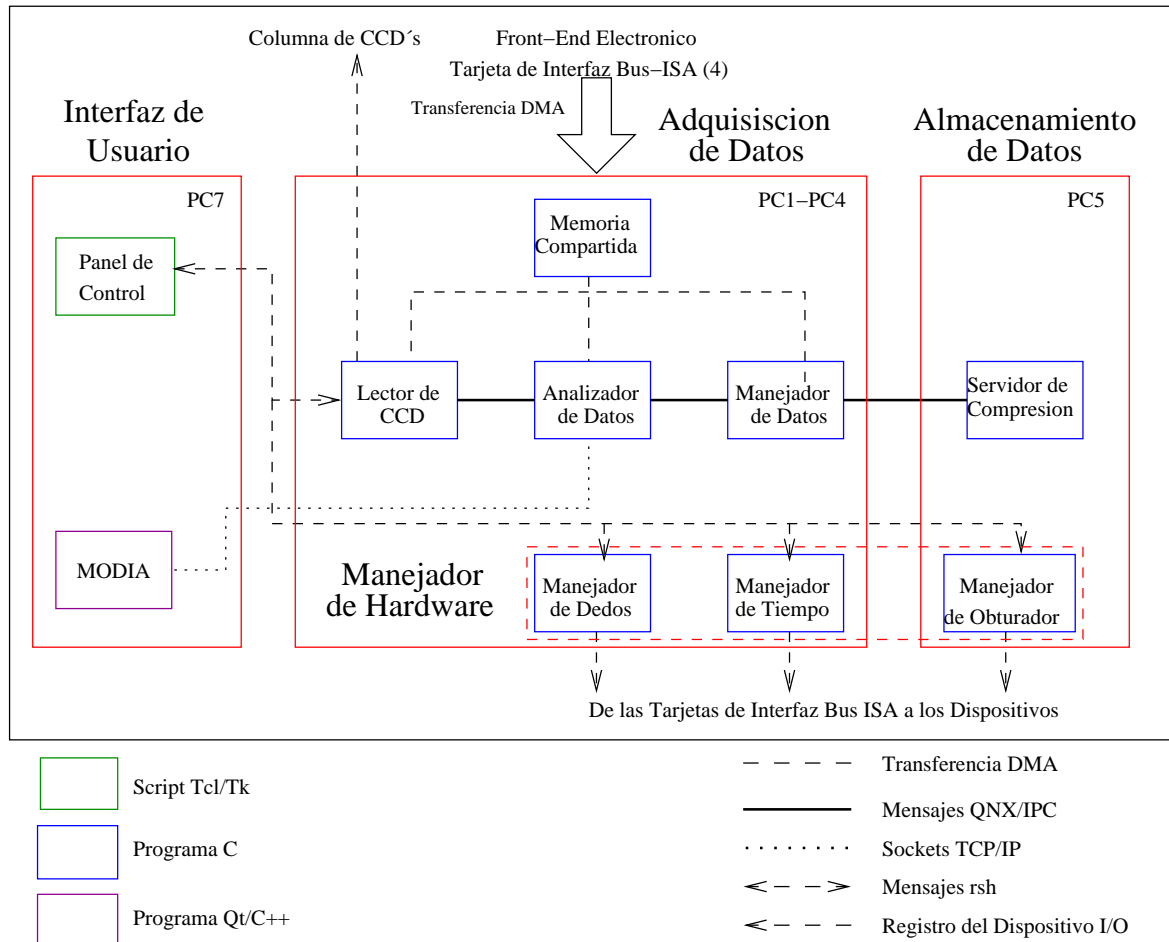


Figura 4.1: Nueva Arquitectura del software del sistema de la cámara QUEST que incluye el MODIA

El módulo está escrito en Lenguaje C++, utilizando principalmente la biblioteca Qt. Se utilizó como ambiente de desarrollo el *Qt Creator*, el cual es un entorno de desarrollo integrado o IDE¹, que facilita la escritura, visualización y compilación del código fuente.

4.1. Arquitectura del MODIA

La arquitectura del MODIA se muestra en la figura 4.2. Ahí observamos las dependencias entre las diferentes clases que se desarrollaron para realizar todas las tareas que se describen en la siguiente sección. El software utiliza básicamente tres clases que se describen a continuación:

Clase “conexionSocket”: Contiene funciones que establecen la conexión con el Socket emisor del programa servidor. Después de establecida la conexión, los segmentos capturados son almacenados en un *buffer* hasta que se completan los 4096 bytes de la línea de datos.

Clase “gui_modia”: Se encarga de generar la interfaz gráfica a partir de clases propias de la biblioteca Qt. Esta clase hace uso de la clase “modia” para poder desplegar la imagen digital.

Clase “modia”: Contiene funciones que se encargan de construir y procesar la imagen digital a partir de las líneas de datos recibidas por el Socket.

¹En inglés *Integrated Development Environment*

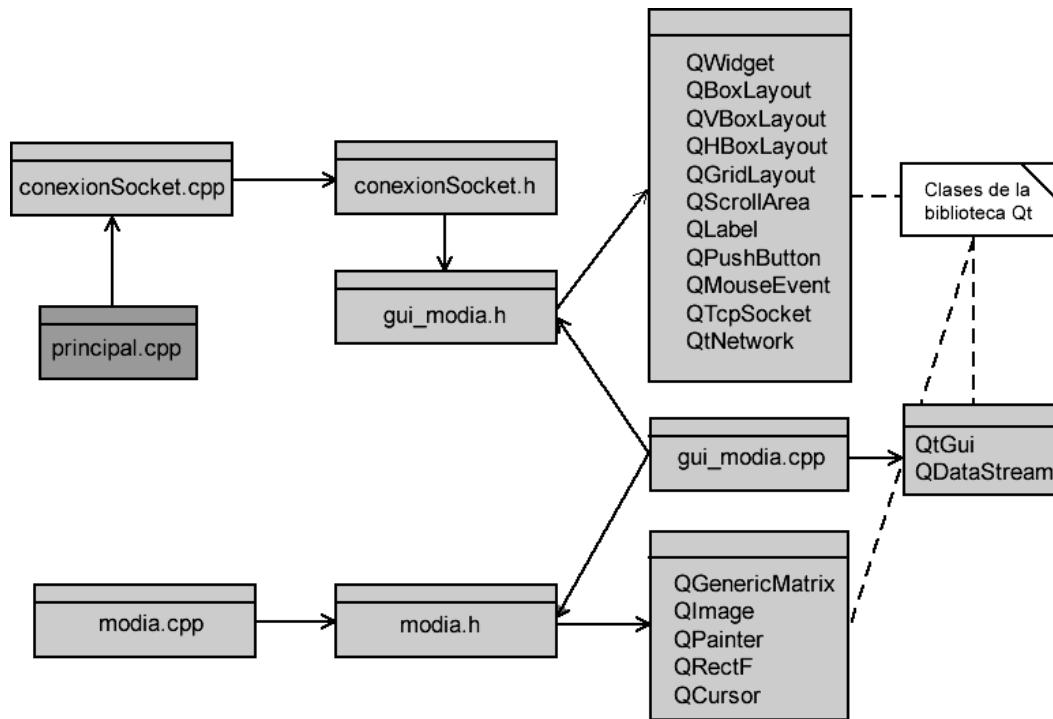


Figura 4.2: Diagrama de Dependencias del MODIA

4.2. Tareas del MODIA

Las tareas que realiza el MODIA, se resumen en el diagrama de flujo de la figura 4.3 y se explican paso a paso.

4.2.1. Leer una línea de la fuente

La fuente se refiere al programa cliente que se encuentra instalado en PC1. En la sección 3.2.1, se explicó cómo es el proceso de transferencia entre Cliente y Servidor; se recuerda que la línea de datos (de 4096 bytes de tamaño) es fragmentada y llega al Socket del MODIA en cuatro segmentos. Cada segmento es almacenado temporalmente en un *buffer* hasta que el número de bytes recibidos es igual a 4096. En este caso,

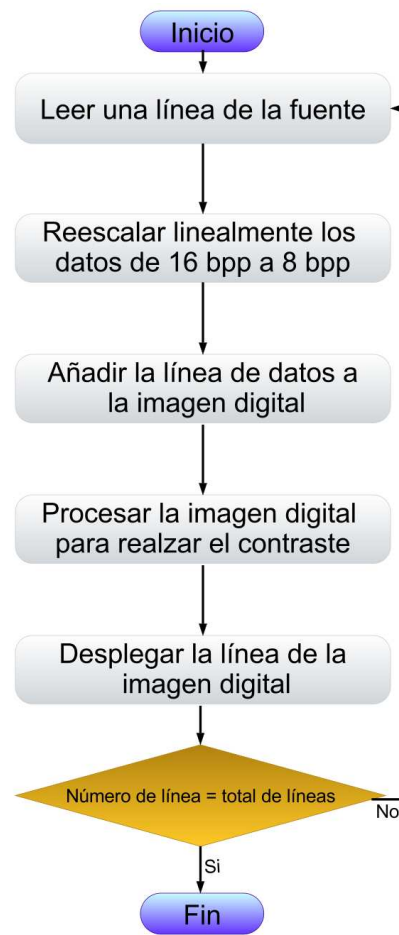


Figura 4.3: Diagrama de Flujo del Simulador del MODIA

el buffer es un vector de tipo `ushort` con 2048 elementos de longitud. Cuando el vector está lleno, entonces se almacena en una matriz de números enteros (`ushort`), que representa la matriz de datos de la imagen digital, donde cada celda simboliza la intensidad lumínica o *cuentas* de cada píxel-sensor de un CCD, cuyo rango corresponde al de una imagen de 16 bpp de profundidad de color.

4.2.2. Reescalar linealmente los datos de 16 bpp a 8 bpp

Para construir una imagen digital utilizando la biblioteca Qt, se utiliza la clase *QImage*. Esta clase provee de una representación de la imagen que permite acceso directo a los datos de los píxeles y puede utilizarse para la visualización a través de otras clases. Para la construcción de la imagen, se debe asignar previamente un formato a la imagen digital. Desafortunadamente, *QImage* aún no ofrece un formato de 16 bpp en escala de grises. Entonces, para poder desplegar la imagen utilizando *QImage*, se deben reescalar los datos a un formato que soporte esta clase.

Partiendo del hecho de que la máxima discriminación tonal del ojo humano se establece alrededor de las 250 tonalidades de grises ([Gonzalez et al., 2001](#)), y además, que el MODIA está diseñado para la visualización de la imagen y no para su análisis; entonces una opción viable es reescalar los datos de 16 bpp a 8 bpp ($2^8 = 256$ niveles de gris). Esta solución se puede implementar utilizando un formato de 8 bpp en escala de grises indexado, es decir, utilizando una tabla que contiene los índices de los 256 niveles de gris. Sin embargo, utilizar una tabla o mapa de colores podría dificultar la codificación, por lo que se decidió utilizar un formato de 8 bpp en color directo utilizando el Modelo RGB, es decir, cada píxel contiene información del color en tres componentes o canales sin utilizar un mapa de colores. Pero, ¿Cómo se representa la escala de grises en el Modelo RGB? Para representarla, se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\text{Valor en } R = \text{Valor en } G = \text{Valor en } B \quad (4.1)$$

Entonces, para que cada canal pueda tener 256 niveles de color (correspondiente a una imagen de 8 bpp), se debe utilizar un formato de 24 bpp de profundidad de color. Como se observa en la Figura 4.4, cada componente de una imagen de 24 bpp posee 8 bits. Pero como se debe cumplir con la condición 4.1, esta imagen de 24 bits no posee $2^{24} = 16,777,216$ colores, sino que tiene 256 tonalidades de grises.

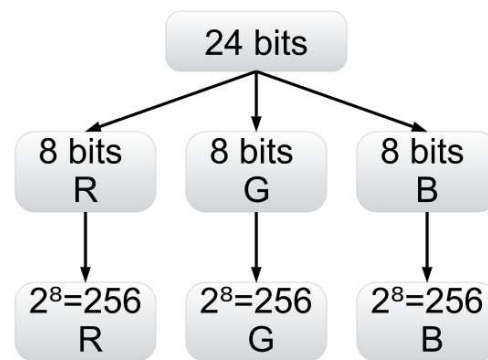


Figura 4.4: División de bits en 3 Canales RGB de una Imagen de 24 bpp

4.2.3. Añadir la línea de datos a la imagen digital

Como ya se ha garantizado que los datos de entrada son correctos, es decir, que los datos están reescalados a un formato que soporta Qt, entonces ya se puede construir la imagen digital utilizando la clase QImage. Esta imagen se inicializa con dimensiones de 2048 píxeles de ancho y valor n de alto; donde n es el número de líneas totales que la observación en *modo rastreo* leerá. Cada línea de datos leída será añadida a esta estructura de imagen digital y se almacenará para ser procesada en el siguiente paso.

4.2.4. Procesar la imagen digital para realzar el contraste

En el texto de [Gonzalez et al. \(2001\)](#) se indica que el ojo humano es muy bueno en interpretar atributos espaciales en una imagen, pero es pobre en resolver rasgos que son caracterizados por diferencias muy sutiles en color o brillo. Las técnicas de realce de contraste son útiles para acentuar esas diferencias sutiles en los valores de los datos y de esa manera mejorar la interpretación visual.

Las imágenes astronómicas tienen la particularidad de ser imágenes de alto contraste, es decir, poseen objetos muy brillantes (astros) en un fondo muy oscuro (fondo de cielo). Si se despliega una imagen astronómica sin realzar su contraste, o sea, sin transformar los valores de los píxeles, entonces se obtendría una imagen como la de la Figura 4.5, en la que sólo los objetos muy brillantes son apreciables en un fondo de cielo totalmente negro.



Figura 4.5: Imagen Astronómica Desplegada Sin Realce de Contraste

Para atacar este problema, existen varias técnicas o algoritmos de transformación de la imagen diseñados para mejorar el contraste. Se explicarán aquellos métodos que se

utilizaron y ayudaron a encontrar una solución aceptable para el despliegue de imágenes astronómicas. Es importante mencionar que el MODIA se puede adaptar para utilizar cualquier algoritmo de transformación de la imagen digital. Las pruebas que se explican a continuación, fueron implementadas utilizando el MODIA.

Transformación Logarítmica ([Gonzalez et al., 2001](#))

La función de transformación se muestra en la ecuación 4.2:

$$f(x_{i,j}) = c \log(1 + x) \quad (4.2)$$

donde c es una constante arbitraria y x el valor de intensidad lumínica de la imagen de entrada en la posición i,j . La forma de la curva logarítmica hace que esta transformación cambie un rango estrecho de valores bajos de grises (grises oscuros) de la imagen de entrada, en una gama más amplia de niveles de grises en la imagen de salida. En las Figuras 4.6, se observa la mejora del contraste para diferentes valores de c . Nótese que para $c=100$ se obtiene una imagen con una mejora significativa del contraste, pero no es lo suficientemente buena como para cumplir con los objetivos del proyecto.

Transformación Potencial ([Gonzalez et al., 2001](#))

La función de transformación tiene la forma de la ecuación 4.3:

$$f(x_{i,j}) = c x^\gamma \quad (4.3)$$

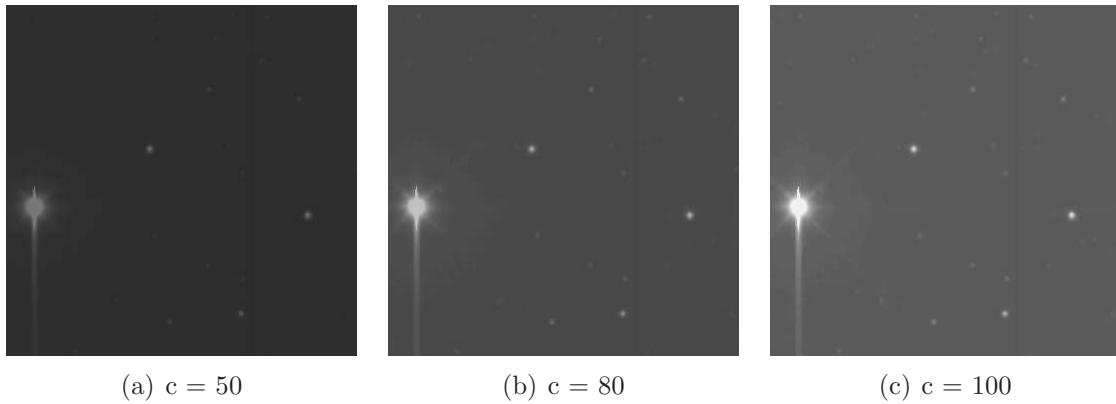


Figura 4.6: Realce del Contraste por Transformación Logarítmica para Diferentes valores de c : (a), (b), (c)

donde c y γ son constantes positivas. La curva de esta función es similar a la de la transformación logarítmica con la diferencia de que si el valor de γ es mayor que 1, entonces se obtiene el efecto opuesto de contraste. Las Figuras 4.7 muestran tres imágenes desplegadas con esta transformación; para $\gamma = 0,3$ (Figura 4.7(b)), se obtiene un realce de contraste notorio, pero sigue sin cumplir con las expectativas del proyecto.

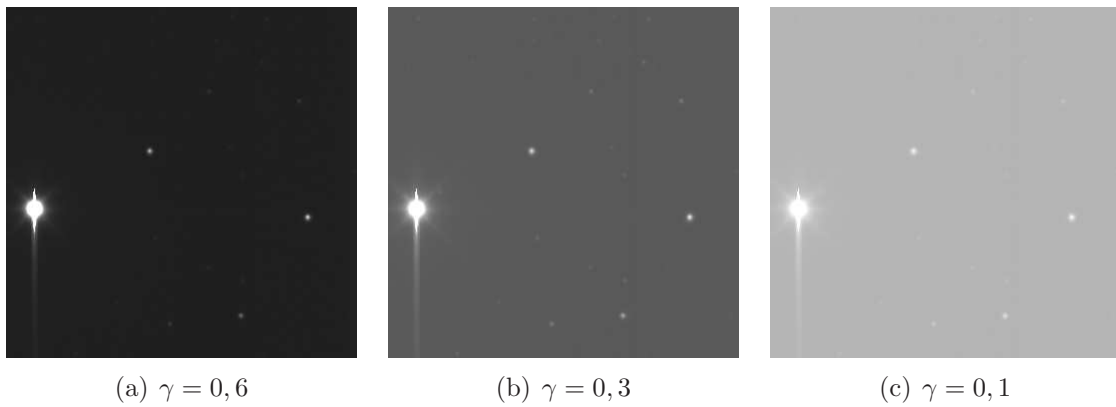


Figura 4.7: Realce del Contraste por Transformación Potencial para Diferentes valores de γ : (a), (b), (c)

Histograma de Ecualización ([Gonzalez et al., 2001](#))

Se recuerda que un *histograma* es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la longitud de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables. En el caso de las imágenes digitales, el histograma puede indicar si una imagen es oscura, brillante, de poco o alto contraste. En la Figura 4.8, se aprecian dos ejemplos de imágenes con sus respectivos histogramas. En la imagen oscura (Figura 4.8(a)), los valores de los píxeles están concentrados en la parte izquierda (valores bajos de gris) del eje horizontal. El caso contrario (Figura 4.8(b)), los valores de los píxeles están al lado derecho correspondiente a los valores altos de la escala de grises.

Entonces, el algoritmo del Histograma de Ecualización transforma la imagen de manera que su histograma resultante se encuentre repartido en todo su dominio, ya que, un histograma ideal es aquel en el que los valores de los píxeles están distribuidos uniformemente en el eje horizontal. El problema con este método es que no se puede aplicar a cualquier imagen. Al aplicar el algoritmo a la imagen astronómica que hemos utilizado hasta ahora (ver Figura 4.9), se observa que el resultado no es el esperado.

Expansión Lineal ([Kumar, 2005](#))

Este algoritmo también hace uso del histograma. En este método se calculan el mínimo y máximo de los valores del histograma y luego se reescalan o expanden

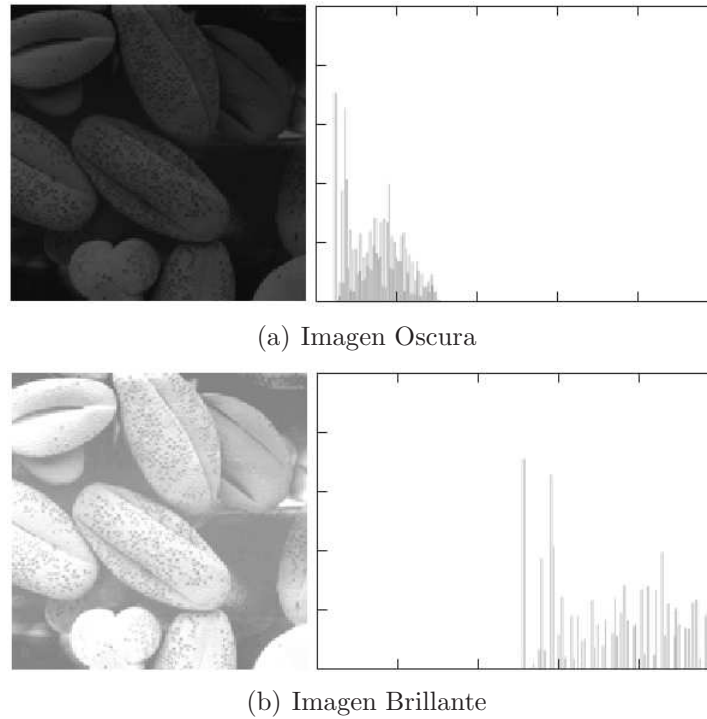


Figura 4.8: Imágenes con sus Histogramas: (a), (b)

los datos linealmente entre esos valores. En la Figura 4.10 se observa un ejemplo de esta técnica: el histograma de la imagen representa una imagen brillante ya que sus valores están concentrados en los niveles altos de la escala de grises. En este caso, el valor mínimo del histograma (intensidad = 130) se reasigna al color negro extremo (intensidad = 0), y el máximo (intensidad = 240) al color blanco extremo (intensidad = 255); entonces los valores intermedios son reescalados en un nuevo intervalo: [130;240]. Con este método se logra que las características o detalles que eran oscuros en la imagen original, se aclaren en la imagen de salida.

El problema de aplicar este algoritmo a una imagen astronómica, es que esta presenta un histograma muy particular como el que se observa en la Figura 4.11. En este tipo de imágenes, un gran porcentaje de los valores de intensidad lumínica son



Figura 4.9: Imagen Astronómica Transformada con el Método de Histograma de Ecualización

niveles bajos de gris, ya que la mayor parte de la imagen la ocupa el fondo del cielo. Un pequeño porcentaje de cuentas se encuentra esparcido por el dominio de valores y corresponde a las diferentes intensidades lumínicas que presentan las estrellas de la imagen. En el extremo derecho del eje, se observa una pequeña barra que se refiere a los *píxeles saturados*². Entonces, si se aplica el algoritmo a la imagen astronómica, al hallar el mínimo y el máximo del histograma, estos valores prácticamente estarían en los extremos del dominio de valores de la imagen de entrada, por lo tanto, se obtendría una imagen de salida sin contraste mejorado, similar a la de la Figura 4.5.

Para resolver este problema, se propone una modificación a este algoritmo que se llamará *Expansión Lineal Modificada*.

²Píxeles que han alcanzado su máximo valor.

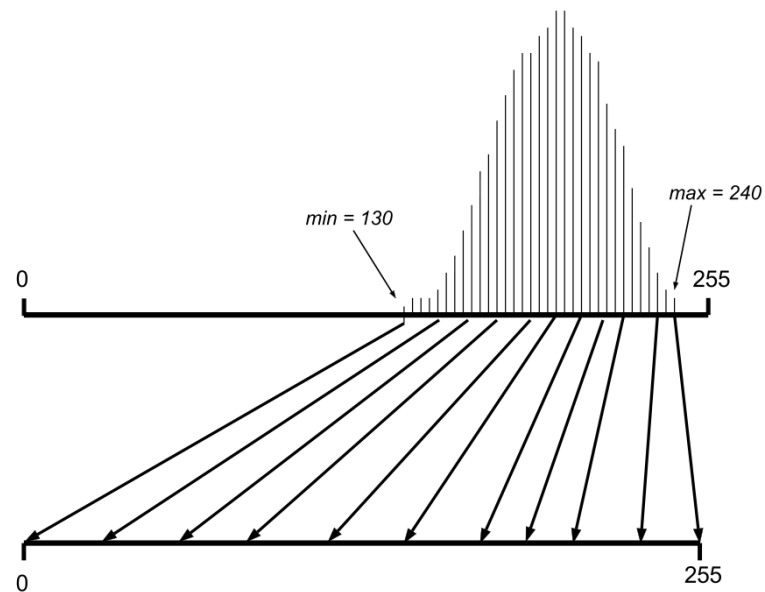


Figura 4.10: Representación Gráfica del Realce de Contraste por Expansión Lineal a partir del Histograma de la Imagen

Expansión Lineal Modificada

Como se mencionó anteriormente, un histograma representa la frecuencia con la que los valores de intensidad lumínica se repiten en la imagen; pero si estos valores de intensidad de luz o niveles de gris, son considerados como variables aleatorias en el intervalo $[0, 1]$, entonces su histograma representaría su *Función de Densidad de Probabilidad* (FDP) ([Gonzalez et al., 2001](#)). La FDP es una función que describe la densidad de la probabilidad en cada punto del espacio, de tal manera que la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor dentro de un determinado conjunto, sea la integral de la función de densidad sobre dicho conjunto ([Wikipedia, 2011](#)). La FDP debe pertenecer a una *Distribución de Probabilidad*, pero, ¿a cuál? Para responder a esta pregunta, se deben aplicar algunos procedimientos estadísticos sobre

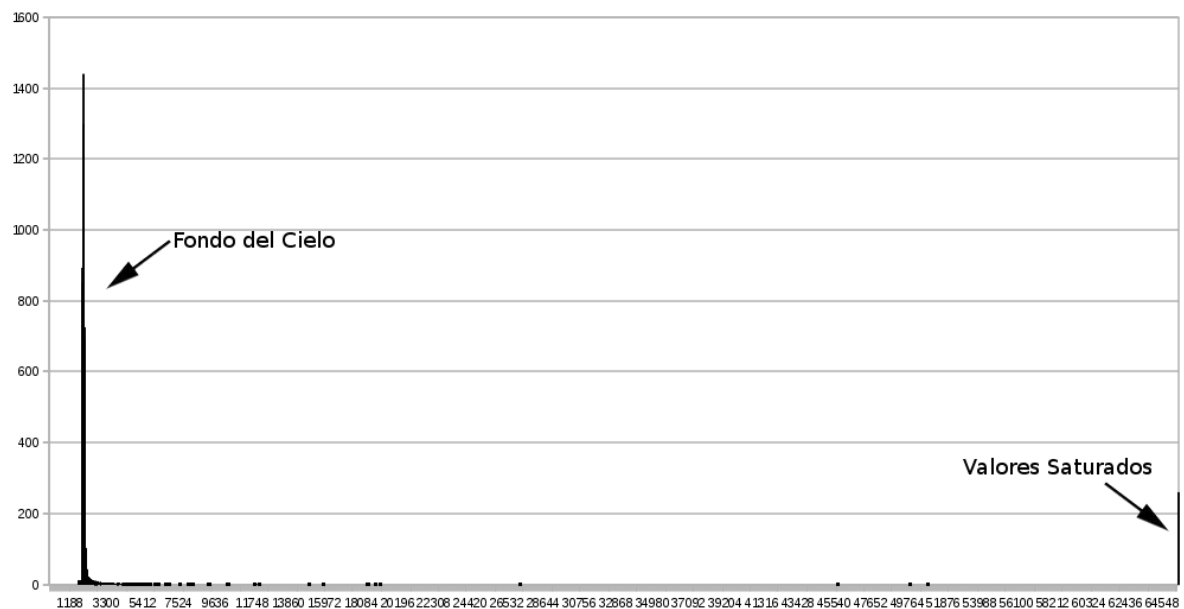


Figura 4.11: Histograma de una Imagen Astronómica

los datos.

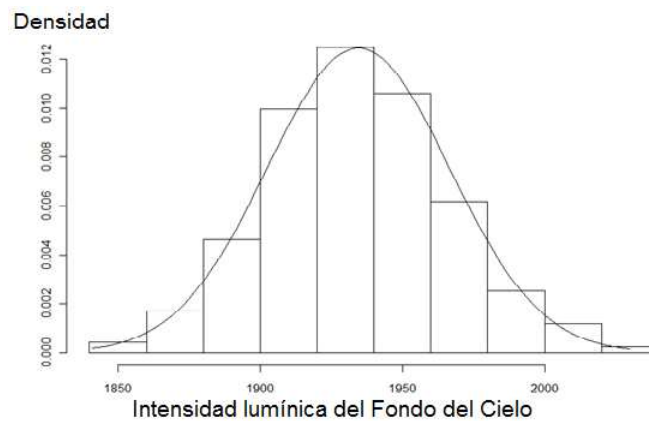
La *estadística paramétrica* es una rama de la estadística que comprende los procedimientos estadísticos y de decisión que están basados en los parámetros de las distribuciones de los datos reales. La mayoría de los procedimientos paramétricos requiere conocer la forma de distribución para las mediciones resultantes de la población estudiada. Cuando se desconoce totalmente la distribución que siguen los datos, entonces debemos aplicar primero un *test no paramétrico*, que ayude a conocer primero la distribución ([Wikipedia, 2011](#)).

Una de las distribuciones de probabilidad que con más frecuencia aparece en fenómenos reales es la Distribución Normal. Al ver el histograma de la imagen astronómica (Figura 4.11), se detalla que el “pico” que denota al fondo del cielo tiene cierta forma acampanada, por lo que podemos sospechar que los datos o valores

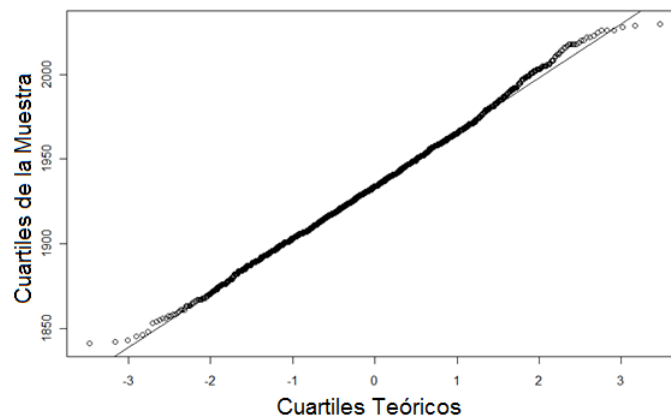
de intensidad que pertenecen al fondo del cielo podrían ser representados por la Distribución Normal. El fondo del cielo siempre abarca la gran mayoría del área de una imagen astronómica, así que se utilizará como referencia para el estudio de esta técnica. Pero la imagen astronómica no sólo posee valores del fondo del cielo, sino que tiene un pequeño porcentaje de valores que corresponden al brillo de las estrellas que están repartidos en el dominio de los datos.

Para poder aplicar alguna prueba estadística que ayude a identificar la distribución de los datos del fondo del cielo, se debe descartar aquellos valores que se encuentren muy alejados de la media de los datos de la imagen. Para lograr ésto, aplicamos el *algoritmo de la media truncada* (Clipped Mean), que calcula de manera iterativa la media de los datos, descartando en cada iteración aquellos valores que esten más alejados de 3 veces la *desviación estándar* ($\mu \pm 3\sigma$).

Luego que se obtienen sólo los datos del fondo del cielo, se pueden hacer algunos procedimientos estadísticos para demostrar su Normalidad. En la Figura 4.12 se observan dos métodos gráficos para demostrar Normalidad. En la Figura 4.12(a) se ve claramente que los datos agrupados (histograma) se ajustan bien a una curva Normal teórica con los parámetros *media* (μ) = 1935 y *desviación estándar* (σ) = 32. No obstante, se nota un leve problema de “corrimiento” a la izquierda por parte de los datos con respecto a la densidad teórica. La gráfica Q-Q de probabilidad Normal (Figura 4.12(b)), muestra un ajuste aceptable a lo esperado para el caso de la Normal. No obstante, los valores de los cuartiles extremos pueden estar ocasionando problemas de ajuste.



(a) Histograma del Fondo del Cielo y Curva Normal



(b) Gráfico Q-Q para la Normal

Figura 4.12: Pruebas de Normalidad: (a), (b)

Al aplicar algunas pruebas no paramétricas, obtenemos los siguientes resultados:

- Prueba de Normalidad Chi-cuadrado de Pearson: Con esta prueba se obtienen los siguientes estadísticos: $P = 51,7464$ y $p - value = 0,08314$. Se concluye que: *No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad al 5 %.*
- Prueba de Normalidad de Cramer-von Mises: Aquí se calcularon los siguientes estadísticos: $w = 11,22$ y $p - value = 0,07642$ y se concluye igual que en la prueba anterior: *No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad al*

5 %.

Así, de manera general, la hipótesis de Normalidad puede aceptarse, aún cuando el ajuste en términos estadísticos debería ser mejor en algunas pruebas.

Entonces, volviendo al tema del realce de contraste, se recuerda que en el método anterior, los datos se reescalan entre el mínimo y el máximo del histograma de la imagen; pero en la técnica propuesta en este proyecto llamada Expansión Lineal Modificada, los extremos de este intervalo serán calculados utilizando los parámetros de la distribución Normal. Se sabe que en una curva Normal, más del 95 % de la probabilidad se encuentra entre: $\mu \pm 2\sigma$, donde μ es la media y σ la desviación estándar. Dicho esto, llamaremos z_1 al extremo izquierdo del intervalo de reescalamiento y z_2 al extremo derecho, entonces: $z_1 = \mu - 2\sigma$ y $z_2 = \mu + 2\sigma$, obteniendo así la función de transformación que se observa en la ecuación 4.4, y cuya gráfica se detalla en la Figura 4.13.

$$f(x_{i,j}) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \in [0; z_1) \\ \frac{255}{z_2 - z_1}(x - z_1) & \text{para } x \in [z_1; z_2] \\ 255 & \text{para } x \in (z_2; 255] \end{cases} \quad (4.4)$$

Finalmente, al transformar la imagen astronómica con este método, se obtiene una imagen de salida como la mostrada en la Figura 4.14. Esta imagen presenta una mejora del contraste bastante considerable en comparación con los métodos anteriores. Se detallan estrellas con brillos débiles que en las imágenes anteriores eran imperceptibles. Es una imagen que ofrece una visualización muy aceptable, por lo tanto, el MODIA

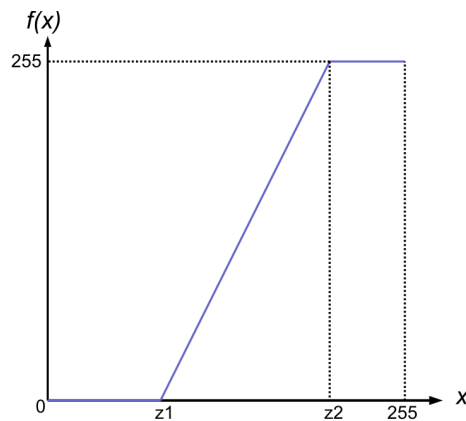


Figura 4.13: Gráfico de la función que representa el método de expansión lineal modificada

usa este método para el despliegue de las imágenes astronómicas.

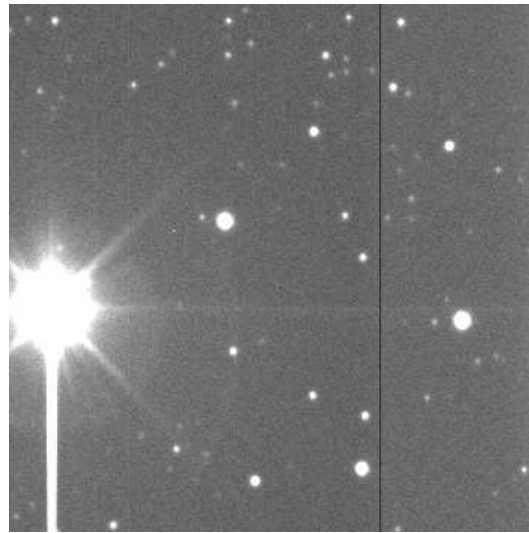


Figura 4.14: Imagen Astronómica Transformada con el Método de Expansión Lineal Modificada

4.2.5. Desplegar la línea de la Imagen Digital

Para el despliegue de las imágenes, se diseñó una interfaz gráfica de usuario que despliega la imagen digital en tiempo real línea por línea, es decir, se anexa

una línea de 2048 píxeles, una debajo de la otra, mostrando sólo las últimas 512 líneas de la imagen digital. El despliegue logra un efecto de “desplazamiento” del cielo, que se puede apreciar de mejor forma en el video, cuyo enlace es: <http://www.youtube.com/watch?v=A5WryrM2NAk>.

Adicionalmente, la interfaz gráfica de usuario posee un panel en la parte superior de la ventana que tiene tres secciones (ver Figura 4.15), que a continuación se explican:

CCD's: Esta sección está compuesta por 16 botones que representan a los 16 CCD's de la cámara QUEST, de manera que el observador pueda escoger la imagen de cualquier detector, una a la vez. Cada botón manda un mensaje al programa servidor a través del Socket; el mensaje contiene la etiqueta del CCD.

Cuentas: Ofrece información del valor de las cuentas (intensidad lumínica) de un píxel en particular (con posición x e y) de la imagen que se está desplegando. Esto se logró utilizando los eventos del *mouse* que ofrece la clase *QMouseEvent* de la biblioteca Qt.

Fondo del Cielo: Suministra información estadística del Fondo del Cielo, tal como la media μ y la desviación estándar σ , que son de mucha utilidad para el observador, ya que es información cuantitativa de las condiciones del cielo.

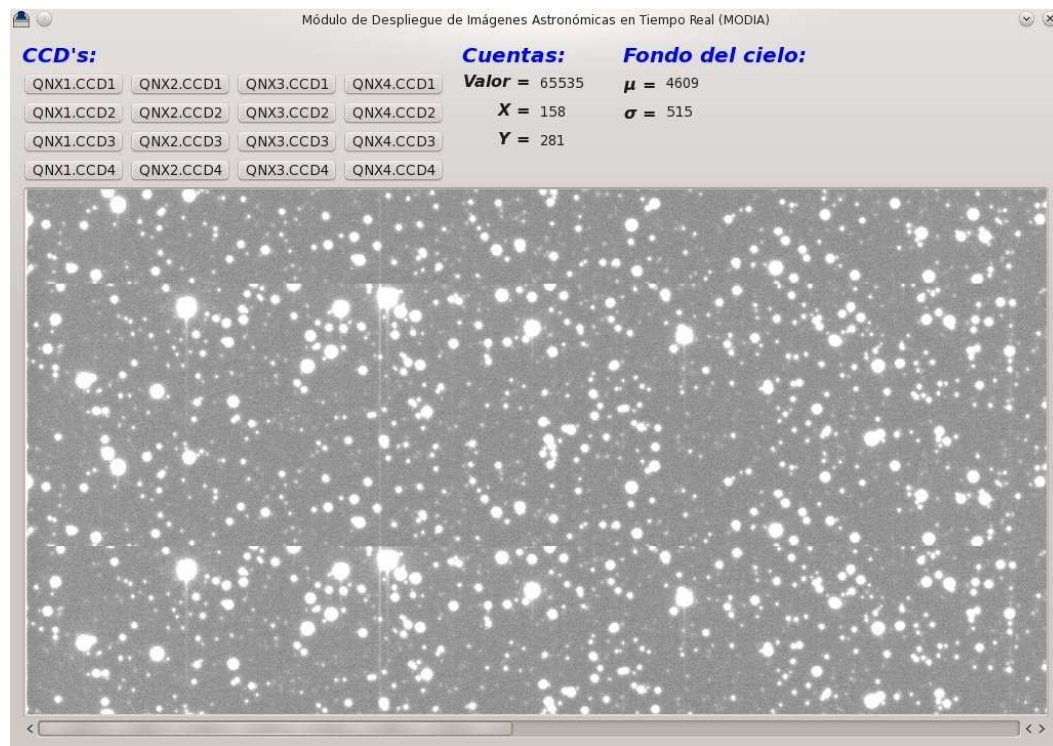


Figura 4.15: Interfaz Gráfica de Usuario del MODIA

4.3. Inconvenientes Presentados

Estadística en Tiempo Real

Como se mencionó en la sección 4.2.4, el método que utiliza el MODIA para realzar el contraste es la *Expansión Lineal Modificada*. Este método utiliza los parámetros μ y σ de la Distribución Normal para calcular los límites del rango de reescalamiento. Además, se recuerda que el despliegue de la imagen digital en tiempo real se hace línea por línea, una debajo de la otra. Entonces, ¿Cómo se calculan estos parámetros en una imagen digital que está cambiando constantemente?

Se sabe que cada vector de datos capturado por el MODIA es almacenado en una

matriz numérica. Pero cada 512 *líneas leídas*³, el MODIA aplica el algoritmo de la *Media Truncada* para descartar aquellos valores que no pertenecen al Fondo del Cielo. Luego, se procede a calcular la media y la desviación estándar a partir de la ecuaciones 4.5 y 4.6 (Smith, 1986).

$$\mu = \sum x \quad (4.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (4.6)$$

Donde x es el valor de la cuenta de cada píxel y n la cantidad de elementos de la muestra.

Con los parámetros μ y σ del Fondo del Cielo calculados, se procede a evaluar los límites del rango de reescalamiento z_1 y z_2 , como se explicó en la sección 4.2.4. Este procedimiento se repetirá cada 512 líneas mientras dure la observación en modo rastreo. En otras palabras, la última sección de 512 líneas de la imagen digital, se desplegará utilizando estadística de las 512 líneas anteriores a esa sección. De esta forma se logra que el software se adapte automáticamente a las condiciones actuales del cielo.

Ingeniería en Reversa al Programa Cliente

El Programa Cliente (`scroll.c`) es parte del software original que controla la cámara QUEST. Todos los módulos que se explican en la sección 3.1.1, fueron programados por personal perteneciente a la Colaboración QUEST, la mayoría de

³Se propuso calcular la estadística cada 512 líneas, ya que parece razonable realzar el contraste cuatro veces por cuadro (1 cuadro = 2048 líneas).

ellos Astrónomos. El software carece de documentación, por lo tanto, para modificar cualquier programa, se debe hacer una interpretación directa del código fuente, lo que dificulta de manera considerable cualquier cambio que se desee. Aunque el software posee esta desventaja, se ha utilizado (y se sigue utilizando) por casi 15 años en el OAN y ha funcionado sin problemas. Se trabaja bajo la filosofía “*si funciona, no lo toques*”, pero las necesidades de software por parte de los Investigadores han cambiado con el tiempo y se ha hecho necesario cambiar algunas características del software original.

Gracias al trabajo de [Rodríguez \(2007\)](#), en el que por medio de un proceso de ingeniería en inversa seguido de un proceso de reingeniería aplicado al sistema de adquisición de imágenes del telescopio *Jürgen Stock*, se logró recuperar el diseño, especificación y modularización de los programas que lo componen. Este trabajo también consiguió adaptabilidad a nuevos requisitos planteados por el CIDA, tal como el desarrollo del MODIA.

4.4. Logros Alcanzados

El MODIA ha logrado recuperar la funcionalidad de despliegue en tiempo real al Programa Observe que controla la cámara QUEST. Como consecuencia, se logra minimizar el tiempo de observación perdido si ocurre alguna falla al realizar una observación en modo rastreo, lo cual es un resultado importante ya que más del 60 % de las noches del año están nubladas y se debe aprovechar al máximo una noche despejada.

Además, el MODIA logra crear un ambiente ideal de trabajo en un Observatorio Astronómico, ya que el usuario puede observar por pantalla el cielo que el telescopio está captando en el momento.

Otro logro, es el desarrollo de una versión adicional del MODIA (MODIA 512) que despliega una imagen redimensionada a 512 píxeles de ancho, tal como funcionaba el antiguo programa de despliegue llamado *XDrift*. Esta versión fue solicitada por el Departamento Técnico del CIDA, ya que consideraron importante poseer un programa de despliegue que funcione sin modificar el software original que controla la cámara. Se probó esta versión en una observación real con el telescopio Stock y el resultado lo se puede observar en el enlace al video: <http://www.youtube.com/watch?v=MDk0hYk9CLA>. Se debe notar que la calidad de la imagen del MODIA 512 es significativamente menor al MODIA que se desarrolló para este proyecto.

Asimismo, se ha logrado armar y configurar una computadora que servirá de respaldo a la actual PC7. Este equipo se preparó con la finalidad de probar que el programa Observe y el MODIA corren sin problemas en una versión actual de Linux (Fedora Core 15), de modo de no afectar el trabajo científico en el telescopio Stock.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que se cumplieron y superaron los objetivos iniciales del Proyecto. El MODIA sirve como herramienta de evaluación visual preliminar para la calidad de las imágenes que se toman en modo rastreo con el telescopio *Jürgen Stock*, desde la perspectiva de un detector a la vez. Pero además arroja información cuantitativa de las condiciones del cielo, como son la media y la desviación estándar del Fondo del Cielo. También cuenta con una utilidad interactiva a través del *mouse* de la computadora, en la que se puede hacer clic sobre la imagen y obtener el valor de la cuenta de un píxel específico, ofreciendo una ventaja para las observaciones de calibración y pruebas de ingeniería. En resumen, el MODIA crea un ambiente ideal de trabajo en un Observatorio Astronómico, ya que ofrece un conjunto de utilidades que dan información en tiempo real, que logra minimizar el tiempo de reacción del observador para atacar problemas que puedan surgir en una observación en proceso, evitando la espera en la transferencia de imágenes FITS desde el sistema de almacenamiento hasta PC7.

Una parte muy interesante en el desarrollo del proyecto fue el procesamiento en tiempo real de una imagen digital astronómica. Las imágenes del cielo nocturno tienen la particularidad de ser de alto contraste (objetos brillantes sobre un fondo muy oscuro) y en las que el Fondo del Cielo cubre la mayor área de la imagen, lo que dificultó encontrar un algoritmo que realzara el contraste de manera aceptable. Por esta razón, se propuso una modificación al Método de Expansión Lineal en base a estadística, con el que se obtuvieron buenos resultados. El método propuesto en este proyecto (Expansión Lineal Modificada), adapta el contraste a diferentes condiciones del cielo, tomando siempre como referencia los datos del Fondo del Cielo.

El desarrollo del MODIA es un ejemplo de que las necesidades de software por parte de la Organización, han cambiado con el pasar del tiempo. La importancia de conseguir una independencia tecnológica, tanto en software como en hardware, es vital para futuros trabajos relacionados con el telescopio *Jürgen Stock*, que se recuerda, es el instrumento más importante del OAN. En el CIDA, hay varios proyectos en progreso para lograr ese objetivo: el más importante de ellos es el desarrollo de la electrónica que controlará la nueva cámara de sensores CCD's, recientemente adquirida por la Institución. Otro proyecto significativo es el de la migración del software original que controla la cámara, desde el sistema operativo QNX a Linux.

El capítulo 3 del texto, junto a documentos previos a este proyecto como el de [Rodríguez \(2007\)](#), hacen un análisis de la arquitectura del sistema de la cámara QUEST, que ayudarán a la realización de trabajos futuros o actualizaciones del sistema.

Particularmente, el MODIA puede seguir creciendo y transformarse en una herramienta de análisis completo de la calidad de las imágenes astronómicas. Para lograr ese objetivo, la aplicación debe tener algoritmos que calculen el *seeing* y la *elipticidad* (ver Sección 1.3) en la imagen que se despliega en tiempo real. Además, con el análisis hecho en la sección 3.2, se pueden aplicar técnicas para la optimización en la segmentación a nivel de la capa de transporte, lo que permitiría la viabilidad en el despliegue de más de una imagen a la vez, o idealmente, desplegar las imágenes de los 16 sensores CCD's de la cámara QUEST al mismo tiempo.

Glosario

Aberración Esférica: Es un defecto de los espejos y las lentes en el que los rayos de luz que inciden paralelamente al eje óptico, son llevados a un foco diferente que los rayos próximos al mismo. ([Wikipedia, 2011](#)).

Amplificador: En el contexto de los CCD's, es el encargado de iniciar el proceso de cuantificación. Esto consiste en medir la carga depositada desde los *canales de parada* y generar un voltaje proporcional a la cantidad de luz que recibió. ([Rodríguez, 2007](#)).

Ángulo Horario: Es el arco contado desde el punto de intersección del ecuador celeste con el meridiano del observador hasta el punto donde está el astro, en sentido horario. Aunque se podría medir en grados, para su medida se usa la hora. ([Wikipedia, 2011](#)).

Ascensión Recta: La *ascensión recta* (α) y la *declinación* (δ), son medidas utilizadas por los astrónomos para especificar lugares en el cielo. Son muy similares a la

latitud y la longitud en la Tierra. La ascensión recta de un punto del cielo es muy similar a la longitud en la Tierra, salvo que en vez de estar expresada en grados, se expresa en horas, minutos y segundos, y puede ir desde 0h:0m:0s hasta 24h:0m:0s. ([Espacio Profundo, 2011](#)).

Canales de Parada: Los *canales de parada* o *registros paralelos*, son componentes de un CCD, encargados de acumular los electrones liberados por los píxel-sensores en forma de paquetes cargados (cargas eléctricas). ([Rodríguez, 2007](#)).

CCD: De las siglas en inglés de charge-coupled device: “dispositivo de carga acoplada”. Es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados que actúan como sensores con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen. ([Wikipedia, 2011](#)).

Contaminación Lumínica: Se refiere a la emisión de flujos luminosos de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos u horarios innecesarios, que afectan entre otras cosas, la visibilidad de objetos celestes. ([Wikipedia, 2011](#)).

Curvatura de Campo: Describe el aberración óptica en el que un objeto plano normal al eje óptico no se puede enfocar sobre el plano de una imagen plana. ([Wikipedia, 2011](#)).

Declinación: La *declinación* (δ) y la *ascensión recta* (α), son medidas utilizadas por los astrónomos para especificar lugares en el cielo. Son muy similares a la latitud y la longitud en la Tierra. La declinación de un punto en el cielo, como la latitud

en la Tierra, es un número entre -90 y $+90$ grados. ([Espacio Profundo, 2011](#)).

Distorsión de Barril: Es producida por diseños imperfectos de los sistemas de lentes, que hacen que una fotografía a un cuadrado se vea con los lados curvos, ligeramente salidos hacia afuera. Se observa muy frecuentemente en los extremos “angular” de los objetivos. ([De Cámaras, 2004](#)).

Ecuador Celeste: Es un gran círculo en la imaginaria esfera celeste en el mismo plano que el ecuador y por tanto perpendicular al eje de rotación de la Tierra. En otras palabras, es la proyección del ecuador terrestre en el espacio.

Elipticidad: Es el grado de aplanamiento que pueden presentar los objetos celestes debido a varios factores. Los valores de elipticidad pueden variar de cero a uno, donde una elipticidad de cero significa que los dos ejes son iguales y la elipse se transforma en un círculo. Una elipticidad de uno significa que la figura tendría sólo un eje, apareciendo como una línea, cuya longitud sería igual al largo del eje mayor.

Espejo Esférico: Son casquetes de una esfera hueca, los cuales reflejan los rayos luminosos que inciden en ellos. ([Wikibooks, 2011](#)) Las características ópticas fundamentales de todo espejo esférico son las siguientes:

- Centro de curvatura: Es el centro de la superficie esférica que constituye el espejo.
- Radio de curvatura: Es el radio de dicha superficie.

- Vértice: Coincide con el centro del espejo.
- Eje principal: Es la recta que une el centro de curvatura con el vértice.
- Foco: Es un punto del eje por el que pasan o donde convergen todos los rayos reflejados que inciden paralelamente al eje.

Lente Aplanadora de Campo: Es un lente que se coloca entre el *espejo esférico* y la cámara (u ojo) y sirve para evitar la *curvatura de campo* y otras deformaciones ópticas como la *distorsión de barril*.

Lente Correctora: Es un lente con una forma particular: plano en una cara y una curvatura especial por la otra. Se utiliza para evitar la *aberración esférica* de los rayos de luz a la entrada del telescopio.

Obturador: Es un dispositivo que controla el tiempo durante el que llega la luz al elemento fotosensible (CCD). Está compuesto por unas láminas que se abren o cierran de forma radial. ([Wikipedia](#), 2011)

Píxel: En el contexto de imágenes digitales, un píxel es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico. En el área de la electrónica de cámaras digitales, un píxel-sensor se refiere a los elementos fotosensibles de un CCD. ([Wikipedia](#), 2011).

Placa Fotográfica: Es un soporte fotográfico constituido por una lámina de vidrio recubierta de una emulsión sensible a la luz. Esta forma de material fotográfico

desapareció del mercado de consumo en gran medida en los primeros años del siglo XX ya que se introdujo el uso de películas que presentaban menor fragilidad y otras ventajas. Sin embargo, las placas fotográficas continuaron utilizándose por la comunidad astronómica profesional hasta la última década del siglo XX, ya que estas placas pueden quedar impresionadas con el orden del 2 % de la luz recibida y ofrecen un alto grado de resolución. ([Wikipedia](#), 2011).

Registro Serial: Es un componente de un CCD. Es un bloque paralelo al arreglo de píxel-sensores que recibe los paquetes cargados de los *canales de parada*. Para lograrlo, se aplica un voltaje a las filas de píxeles del CCD. Este voltaje cambia de positivo a negativo y las cargas son transferidas verticalmente. ([Rodríguez](#), 2007).

Ruido Térmico: Es la agitación de electrones que se produce porque los CCD's no sólo liberan electrones al incidir luz, sino que también lo hacen por efecto de la temperatura. A mayor temperatura mayor ruido térmico y viceversa.

Seeing: Es una medida del efecto distorsionador de la atmósfera sobre las imágenes de objetos astronómicos. Está causado por turbulencias atmosféricas, provocando variaciones de densidad, que deforman el camino óptico recorrido por los rayos de luz de objetos exteriores a la atmósfera. ([Astropráctica](#), 2010). Se refiere el ancho máximo a media altura de la distribución gaussiana de la intensidad de una imagen estelar en el plano focal del telescopio.

Señal Analógica: Es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua. Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de una señal de este tipo son eléctricas como la intensidad, el voltaje y la potencia. ([Wikipedia, 2011](#)).

Señal Digital: Es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango. ([Wikipedia, 2011](#)).

Telescopio Tipo Schmidt: Fue inventado por Bernhart Schmidt en 1930. Sus componentes ópticos son un espejo primario esférico sencillo y un lente corrector esférico, conocido como plato corrector, localizado en el centro de la curvatura del espejo primario. La película o el detector es colocado dentro de la cámara en el primer enfoque. ([CIDA, 2011](#)).

Bibliografía

Sabbey, P. et al. (1998). *Data Acquisition for a 16 CCD Drift-Scan Survey*. The Astronomical Society of the Pacific. Vol 110, pag 1067-1080.

Baltay, C. et al. (2002). *A Large-Area CCD Camera for the Schmidt Telescope at the Venezuelan National Astronomical Observatory*. The Astronomical Society of the Pacific. Vol 114, pag 780-794.

Snyder, J. et al. (1998). *QUEST Camera I: A 67 Megapixel CCD Camera Optimized for Driftscan Quasar Discovery*. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol 3355, pag 635-645.

Rodríguez, C. (2007). *Estudio y Modificación del Sistema de Adquisición, Almacenamiento y Procesamiento de Imágenes Astronómicas del “Telescopio Jürgen Stock”*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Computación.

Downes, J. (2011). *Estudio Observacional de la Formación de Objetos Sub-estelares*.

Universidad Central de Venezuela. Postgrado de Física.

Ochoa, Y. (2003). *Diseño y Construcción de un Sistema de Prueba Para Dispositivos*

CCD (Charge Coupled Device).. Universidad de Los Andes. Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Astropráctica. *Seeing*. (2010). Consultado en <http://www.astropractica.org/tem3/seeing/seeing.htm>.

IDL Astronomy User's Library. *Clipped Mean*. (2010). Consultado en <http://idlastro.gsfc.nasa.gov/contents.html>.

Berry, R. et al. (2001). *The Handbook of Astronomical Image Procesing*. Willmann-Bell, Inc.

Gonzalez, R. et al. (2001). *Digital Image Processing*. Prentice Hall.

Kumar, M. (2005). *Digital Image Processing*. Indian Institute of Remote Sensing.

Blanchette, J. (2008). *C++ GUI Programming with Qt 4*. Prentice Hall.

Smith, R. (1986). *Statistics A First Course*. Prentice Hall.

QNX Software Systems Ltd. (1994). *QNX TCP/IP User's Guide*. QNX Software Systems Ltd.

Montilva, J. (2004). *Desarrollo de Aplicaciones Empresariales. El Método Watch*.

Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Computación.

CIDA. *Historia*. (2011). Consultado en http://www.cida.gob.ve/cida_home/index.php?option=com_content&view=article&id=306&Itemid=73.

CIDA. *Telescopio Schmidt*. (2011). Consultado en http://www.cida.gob.ve/cida_home/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=105.

Wikibooks. *Espejos Esféricos*. (2011). Consultado en http://es.wikibooks.org/wiki/Fisica/Optica/Espejos_esfericos.

Wikipedia. *Aberración Esférica*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Aberracion_esferica.

Wikipedia. *Contaminación Lumínica*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminacion_luminica.

De Cámaras. *Distorsión de Barril*. (2004). Consultado en http://www.decamaras.com/CMS/component?option=com_glossary/Itemid,255/func,term/term,Distorsion_de_Barril.

Wikipedia. *Curvatura de Campo*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Curvatura_de_campo.

Wikipedia. *Charge Coupled Device*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device.

Espacio Profundo. *Ascensión Recta*. (2011). Consultado en http://www.espacioprofundo.com.ar/diccionario/Glosario_de_Astronomia/vertermino/Ascension_recta.html.

Wikipedia. *Placa Fotográfica*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Placa_fotografica.

Wikipedia. *Píxel*. (2011). Consultado en <http://es.wikipedia.org/wiki/Pixel>.

Wikipedia. *Obturador*. (2011). Consultado en <http://es.wikipedia.org/wiki/Obturador>.

Wikipedia. *Señal Analógica*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Señal_analogica.

Wikipedia. *Señal Digital*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Señal_digital.

Wikipedia. *Movimiento Propio*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Movimiento_propio.

Wikipedia. *Ángulo Horario*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Angulo_horario.

Proyectacolor. *Modelos de Color*. (2011). Consultado en <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/>.

Wikipedia. *Profundidad de Color*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Profundidad_de_color.

Nikonistas. *Formatos de Archivo para Imágenes Digitales*. (2011). Consultado en http://www.nikonistas.com/digital/notices/formatos_de_archivo_para_imagenes_digitales_481.php.

Wikipedia. *Función de Densidad de Probabilidad*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Funcion_de_densidad_de_probabilidad.

Wikipedia. *Estadística Paramétrica*. (2011). Consultado en http://es.wikipedia.org/wiki/Estadistica_parametrica.

Wikipedia. *Arquitectura Cliente-Servidor*. (2011). Consultado en <http://es.wikipedia.org/wiki/Cliente-servidor>.

Documentos RFC en Español. *RFC:793 - Protocolo de Control de Transmisión*. (1981). Consultado en <http://www.rfc-es.org/rfc/rfc0793-es.txt>.

IETF Tools. *RFC:879 - The TCP Maximum Segment Size and Related Topics*. (1983). Consultado en <http://tools.ietf.org/html/rfc879#section-3>.

The GNU C Library. *The GNU C Library - Sockets*. (2011). Consultado en http://www.cs.utah.edu/dept/old/texinfo/glibc-manual-0.02/library_15.html#SEC216.