

03063



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA  
COMPUTACIÓN

**El Sistema de Observación Remota  
del Observatorio Astronómico Nacional  
en Tonantzintla, Puebla**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA

**LUIS ARTEMIO MARTÍNEZ VÁZQUEZ**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. SERGIO RAJSBAUM GORODEZKY**

México, D.F.

2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**


Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Luis Artemio Martínez  
Vázquez

FECHA: 28/octubre/2005

FIRMA: 

*para mi querida esposa Bertha,  
compañera de mil batallas y viajes inolvidables.*



## Agradecimientos

Es menester el reconocimiento de la invaluable participación del personal adscrito al Departamento de Instrumentación Astronómica del Instituto de Astronomía de la UNAM en el curso de este trabajo. En especial y sin riesgo de olvidar a alguien van los nombres: Abel Bernal por poner a punto el programa de control del telescopio y estar siempre dispuesto para hacer la "siguiente" prueba de la interfaz del telescopio. Fernando Angeles por resolver el problema de la comunicación con el PMIS para la adquisición de las imágenes. Beatriz Sánchez por iniciar este proyecto y ser la conejilla de indias en las primeras pruebas. Fernando Garfias actual Jefe del Observatorio de Tonantzintla por las facilidades brindadas y los innumerables viajes al observatorio.

Al Dr. Sergio Rajsbaum por su amable y paciente disposición para aceptar ser el director de esta aventura. A los Dres. Hanna Oktaba, Héctor Benítez, Fernando Gamboa y José A. García por aceptar ser los sinodales y mejorar esta tesis con sus correcciones.

Al Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme trabajar en este proyecto y darme las facilidades para ello.

# Contenido

<b>1</b>	<b>Planteamiento y Objetivos de la Tesis</b>	<b>1</b>
1.1	Ámbito de la Tesis . . . . .	1
1.2	Objetivos de la Tesis y Contribuciones . . . . .	3
1.3	Organización de la Tesis . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>5</b>
2.1	Introducción . . . . .	5
2.2	Un Poco de Historia . . . . .	5
2.3	Acerca de la Terminología de las Observaciones a Distancia . . . . .	7
2.4	Los Objetivos y Usos de la Observación a Distancia . . . . .	9
2.5	Ventajas y Desventajas de la Observación a Distancia . . . . .	13
2.6	Ejemplos de Telescopios con Sistemas de Observación Remota . . . . .	14
2.7	Sobre la Operación e Implementación de los Sistemas de Observación Remota	18
<b>3</b>	<b>El Sistema de Observación Remota del OAN-T</b>	<b>23</b>
3.1	Introducción . . . . .	23
3.2	El Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla . . . . .	23
3.3	El Sistema de Observación Remota del OAN-T . . . . .	28
3.4	Los Requerimientos del SOR-T . . . . .	30
3.5	La Arquitectura del SOR-T . . . . .	31
3.6	La Implementación del SOR-T . . . . .	39
3.7	Ventajas y Desventajas de la Arquitectura Propuesta . . . . .	40
<b>4</b>	<b>La Operación del Telescopio</b>	<b>43</b>
4.1	Introducción . . . . .	43
4.2	El Funcionamiento de las Interfaces de Usuario . . . . .	43
4.3	Descripción de los Casos de Uso . . . . .	44
4.4	La Interfaz Gráfica de Usuario Local . . . . .	48
4.5	Descripción de la IGU-L . . . . .	52
4.6	La Operación Remota del Telescopio . . . . .	55
4.7	Sobre el Desempeño del SOR-T en la Operación Remota del Telescopio .	57
<b>5</b>	<b>La Adquisición de Imágenes</b>	<b>61</b>
5.1	Introducción . . . . .	61
5.2	El Sistema de Adquisición de Imágenes del OAN-T . . . . .	61

---

5.3	La Adquisición de Imágenes y sus Casos de Uso . . . . .	62
5.4	La Adquisición de Imágenes con el SOR-T . . . . .	65
5.5	Sobre el Desempeño del SOR-T en la Adquisición de Imágenes . . . . .	77
<b>6</b>	<b>Elementos Adicionales del SOR-T</b>	<b>79</b>
6.1	Introducción . . . . .	79
6.2	La Videoconferencia con el OAN-T . . . . .	79
6.3	La Cámara de Vigilancia . . . . .	81
6.4	La Vigilancia de las Computadoras del OAN-T . . . . .	83
6.5	La Implementación del Firewall . . . . .	83
6.6	Sobre el Desempeño de los Elementos Adicionales . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Conclusiones y Líneas de Trabajo Futuras</b>	<b>87</b>
7.1	Conclusiones . . . . .	87
7.2	Líneas de Trabajo Futuras . . . . .	88
	<b>Referencias</b>	<b>91</b>

# Capítulo 1

## Planteamiento y Objetivos de la Tesis

### 1.1 Ámbito de la Tesis

En los observatorios astronómicos terrestres modernos las tareas de observación se realizan con el concurso de una diversidad de sistemas, que por lo general, entre más grande es el telescopio, más complejos son. Algunos de estos sistemas como el control del telescopio, la adquisición de imágenes, el control de la cúpula, el control de la instrumentación, el autoguiado, de vigilancia de las condiciones meteorológicas; no requieren de la intervención del astrónomo, sino de un grupo de asistentes de observación. Lo anterior, aunado a los avances de la instrumentación astronómica y las comunicaciones, ha llevado al surgimiento de nuevos modos de observación astronómica distintos al tradicional (en el que un astrónomo obtiene sus imágenes en un cuarto adyacente a la cúpula del telescopio) tales como el servicio de observación, la observación en espera o en cola<sup>1</sup> y la observación a distancia.

Debido a que cada observatorio es prácticamente único por los telescopios que posee, la instrumentación asociada a los mismos, su ubicación y los objetivos específicos de investigación astronómica que persigue, la observación a distancia ha tenido diferentes esquemas de uso, que van desde los más abiertos en los cuales el usuario tiene, en tiempo real, el control del telescopio y sus instrumentos, hasta los más restringidos como el robótico en el que el observador entrega una lista de objetos a observar y en respuesta recibe las imágenes o bien ingresa sus observaciones a un sistema automático que decide cuándo es el mejor momento para llevarlas a cabo. Por supuesto, dependiendo de sus recursos económicos y tecnológicos cada observatorio decide los servicios que ofrece a distancia.

En el caso de los observatorios con grandes telescopios, a través de la observación a distancia han encontrado estrategias para maximizar su potencial científico en relación con su costo y complejidad. Las aplicaciones de las observaciones a distancia en los observatorios con telescopios medianos o pequeños han girado alrededor de dos ejes prin-

---

<sup>1</sup> *queue observing* o *queue scheduling* en inglés

cipales. Por un lado están los telescopios de propósito general que pueden ser operados en tiempo real y el observador tiene el control del telescopio y su instrumentación. Por otra parte se encuentran los telescopios especializados o dedicados exclusivamente a una tarea observacional, como la búsqueda de exoplanetas o supernovas. En este último grupo se incluyen también los sistemas robóticos que realizan todas sus tareas automáticamente sin intervención humana, excepto las de mantenimiento.

El Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla, Puebla (OAN-T) dependiente del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IAUNAM) cuenta con un telescopio de 1 metro de diámetro con una óptica de excelente calidad. Debido al deterioro progresivo de la calidad del cielo del OAN-T provocado por la contaminación proveniente de las ciudades de Puebla y Cholula, el número de usuarios ha disminuido en la última década. Con el fin de reactivar el observatorio y aumentar su potencial en la investigación, docencia y difusión de la Astronomía, en 1997 se inició el proyecto *Observación Remota* cuyo objetivo ha sido la implementación de un sistema que permita realizar observaciones astronómicas a distancia desde la sede en Ciudad Universitaria del IAUNAM, o desde cualquier otro lugar conectado a Internet.

El proyecto ha tenido dos fases, de 1997 a 2002 y de 2003 a la fecha. La primera fase del proyecto sirvió para mostrar la factibilidad de implementar un sistema de observación a distancia con los recursos existentes en el OAN-T, mediante un esquema de operación muy sencillo. Se utilizó la capacidad de despliegue remoto del sistema *X Window* para tener en las computadoras de Ciudad Universitaria las ventanas de los procesos que corrían en el OAN-T. En la segunda fase del proyecto se instrumentó un sistema de observación remota distribuido, completamente distinto al anterior y es el que se describe en este trabajo. Éste es el primer telescopio mexicano operado a distancia y el único que ofrece este modo de observación.

Aunque actualmente operan sistemas de observación remota con telescopios de diámetros similares al telescopio de 1m, como los telescopios Katzman [FLTM01], el telescopio RCT [GCD<sup>+</sup>04] o el Telescopio Liverpool<sup>2</sup>[Ste04]; durante la fase de diseño del sistema de observación remota del OAN-T (SOR-T) no se incluyeron componentes específicos de otros sistemas de observación remota debido a dos razones principales:

- Cada observatorio tiene sus características propias en cuanto a sistemas de control e instrumentación se refiere, lo que hace difícil el traslado de las aplicaciones implementadas en un observatorio a otro. El caso del OAN-T no es la excepción, si se hubiese decidido utilizar algún componente proveniente de otro sistema de observación remota, habría sido necesario reemplazar partes importantes como el sistema de control, lo que haría el proyecto inviable económicamente y sería preferible construir un nuevo telescopio en un mejor lugar para la observación astronómica.
- Generalmente los sistemas de observación remota son reportados como proyectos completos en las publicaciones internacionales (como ejemplos adicionales a los citados arriba véanse [SBEG97][REE<sup>+</sup>04][BLP<sup>+</sup>02]). Por lo regular no se describen los

---

<sup>2</sup>telescope.livjm.ac.uk



aspectos relacionados con la implementación de los sistemas de control y adquisición de imágenes, en ocasiones debido a que estos detalles son reportados en publicaciones técnicas locales de las instituciones que los desarrollaron y por consiguiente de circulación restringida o también porque únicamente se distribuyen a los participantes del proyecto, o bien son secretos comerciales como en el caso de la compañía Telescope Technologies<sup>3</sup> que construyó el Telescopio Liverpool.

Es importante mencionar que lo descrito en esta tesis es solo el primer paso en la consolidación del sistema de observación a distancia del OAN-T. *Observación Remota* no es un proyecto terminado, la implementación de la operación del telescopio y la adquisición de imágenes a distancia son constituyentes fundamentales en una arquitectura del sistema, pero es necesario integrar otros componentes conforme se vayan automatizando.

Por los elementos involucrados en este trabajo como son la propuesta de una arquitectura para el sistema de observación a distancia y la implementación de los programas para la operación del telescopio, puede afirmarse que está encuadrado en la intersección de la Instrumentación Astronómica y la Ingeniería de Software.

## 1.2 Objetivos de la Tesis y Contribuciones

El objetivo principal de esta tesis ha sido el diseño e implementación de un sistema de observación remota para el OAN-T. Se desarrolló una arquitectura básica en la cual se hace uso de la infraestructura del OAN-T para ofrecer al observador, el control remoto del telescopio y la obtención de datos astronómicos como si estuviera en el sitio, y que permite la incorporación de nuevos elementos que a futuro se agreguen al equipamiento del telescopio. Cabe señalar que otro beneficio de este proyecto fue el traslado del observador de la cúpula del telescopio a una oficina ubicada en la planta baja del edificio. Al inicio de la segunda fase del proyecto Observación Remota, los usuarios realizaban sus observaciones únicamente dentro de la cúpula; el telescopio era operado a través de la interfaz de usuario de su sistema de control ubicada en la plataforma del telescopio y las imágenes eran obtenidas con una computadora ubicada a un lado de la misma.

Las principales contribuciones de la presente tesis se pueden dividir en tres partes:

- La implementación de dos interfaces de usuario para que los observadores local y remoto puedan apuntar el telescopio a cualquier posición alcanzable, hacer movimientos finos y mover el espejo secundario para enfocararlo.
- La implementación de un programa para interactuar con el software del fabricante del detector tipo CCD (*Charge Coupled Device* en inglés) y de un conjunto de rutinas para el paquete de calibración y análisis de imágenes conocido en inglés como *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF), que es actualmente un estándar mundial para el procesamiento de imágenes astronómicas en el intervalo de luz visible e infrarroja. Con estos programas, un usuario puede utilizar las

---

<sup>3</sup>[www.ngat.com](http://www.ngat.com)

capacidades de programación de IRAF no solo para obtener imágenes individuales sino también secuencias de imágenes automáticamente.

- Con el fin de ayudar al observador remoto se agregaron al control del telescopio y la adquisición de imágenes, una serie de servicios adicionales como un programa de dominio público de videoconferencia para tener un enlace entre la sede del IAUNAM en Ciudad Universitaria y el OAN-T durante el tiempo que dure la observación, una página *web* con servicios de video en tiempo real (*streaming* en inglés) para que el usuario remoto tenga a su disposición la imagen de la cámara de vigilancia del telescopio y se propuso una pared cortafuegos mínima (*firewall* en inglés) para garantizar la seguridad de la red interna del OAN-T contra ataques externos.

Para las interfaces de usuario se utilizó el Lenguaje de Modelado Unificado (UML por sus siglas en inglés) como lenguaje de modelado y en la programación se usaron los ambientes integrados de desarrollo orientado a objetos Kylix y Delphi de la compañía Borland. En la parte de adquisición de imágenes se utilizó el lenguaje de comandos (*Command Language* en inglés) de IRAF, el compilador de dominio público GCC y el API (acrónimo en inglés de *Application Program Interface*) de Linux.

### 1.3 Organización de la Tesis

La tesis está estructurada en siete capítulos. En el capítulo 2 se hace una introducción a los sistemas de observación a distancia, se dan ejemplos de sistemas en operación hoy en día, una clasificación y las tendencias en el desarrollo de estos sistemas.

En el capítulo 3 se encuentra una reseña histórica del OAN-T y se describe el telescopio de 1m así como su instrumentación. Asimismo se incluyen las áreas de investigación, docencia y difusión que pueden ser beneficiadas con la implementación del sistema de observación a distancia; los requerimientos para el sistema de observación remota, y adicionalmente, se proporcionan los detalles acerca de la arquitectura propuesta para el sistema de observación a distancia y los programas que lo integran.

El capítulo 4 contiene los casos de uso en la operación del telescopio, el diseño de las interfaces gráficas de usuario y se describe su implementación. El capítulo 5 continúa con los casos de uso para la adquisición de imágenes y el diseño de los programas para realizarla. En el capítulo 6 se encuentran descritos los aspectos complementarios del sistema de observación a distancia del OAN-T, tales como la configuración de red, la transmisión de imágenes via web y la administración de las computadoras del OAN-T. En el capítulo 7 se presentan las conclusiones y las posibles líneas de trabajo a futuro.

# Capítulo 2

## Antecedentes

### 2.1 Introducción

En este capítulo se presentan las definiciones básicas alrededor de la observación astronómica a distancia, sus orígenes, objetivos y algunos ejemplos exitosos. Se utiliza una clasificación de los sistemas de observación a distancia y a partir de ésta, se describen brevemente los retos en la implementación de cada tipo de sistema. Esta clasificación servirá para ubicar en un contexto mundial al sistema de observación a distancia del OAN-T. Con la intención de acercar al lector a las observaciones astronómicas, se hace una breve introducción a las tareas que se realizan en una sesión de observación.

### 2.2 Un Poco de Historia

En 1939, B. Lyot [Lyo39] utilizó una pequeña máscara denominada actualmente coronógrafo para ocultar el disco solar y observar únicamente la corona del Sol. Durante décadas éste fue el único uso del coronógrafo de Lyot. En 1984 B. Smith y R. Terrile [ST84] utilizaron la idea del coronógrafo de Lyot para ocultar una estrella brillante y poder observar objetos más débiles a su alrededor, lo que les llevó a descubrir un disco alrededor de la estrella  $\beta$  Pictoris que sugiere un proceso de formación planetaria similar a nuestro Sistema Solar.

La óptica adaptativa (OA) es una técnica que reduce la degradación de las imágenes astronómicas producida por la turbulencia atmosférica en longitudes de onda ópticas y esencialmente consiste en una compensación en tiempo real de los errores introducidos por la atmósfera. Aunque H. W. Babcock [Bab53] en 1953, fue el primero que sugirió la aplicación de la OA en las observaciones astronómicas, fue hasta 1977 que se hicieron los primeros intentos. Posteriormente F. Roddier y su equipo [RNG91] de la Universidad de Hawai construyeron el primer sistema exitoso de OA para observaciones astronómicas en la banda de luz visible en 1991, logrando imágenes de alta resolución como nunca antes se habían obtenido con un telescopio terrestre.

La observación a distancia (OD) pertenece a este grupo de ideas que se plantearon

hace muchos años y no fue sino hasta décadas recientes cuando comenzaron a aplicarse en el ámbito astronómico. En particular desde la década de los cincuenta, ya se vislumbraba que algunos trabajos de observación tediosos o repetitivos como la fotometría estelar podían realizarse de manera automática. La razón principal de este retraso es el tiempo que le ha llevado a la tecnología volverlos proyectos asequibles a costos razonables. En el caso de la OD el avance en las comunicaciones y la popularización de Internet han sido los factores clave en su desarrollo especialmente en la década de los noventa.

La primera sugerencia para construir un telescopio pequeño dedicado a realizar observaciones fotométricas automáticas fue hecha en 1955 por B. Bok [Bok55]. El primero de estos telescopios fue el Telescopio Fotoeléctrico Automático Wisconsin de 8 pulgadas de diámetro, desarrollado por A. Code [Cod92] en la década de los sesenta para calcular coeficientes de extinción atmosférica en tiempo real como complemento para otras observaciones fotométricas. Otro proyecto que tuvo lugar en la misma época fue el Telescopio Controlado Robóticamente de 1.3m de diámetro del Observatorio Kitt Peak que era manejado desde la ciudad de Tucson, Arizona [Mar68]. La diferencia fundamental entre ambos sistemas era que mientras al telescopio Wisconsin únicamente se le proporcionaba la secuencia de observaciones y éste la ejecutaba automáticamente, al telescopio de Kitt Peak el observador era quien le iba indicando en tiempo real, cada una de las acciones que debía realizar.

En década de los ochenta [RT84][LSW86][RZ86], se hicieron algunos experimentos para observar a distancia pero éstos fallaron debido a limitaciones tecnológicas. Las comunicaciones eran poco fiables y la tasa de transmisión de datos era muy baja. Resultó evidente que era muy difícil manejar, a distancia, un telescopio cuyos sistemas de control fueron diseñados para operar localmente. Hacia el final de la década, se diseñó una nueva generación de telescopios de 3 a 4 metros de diámetro que comenzó a considerar la posibilidad de ser manejados a distancia, como modo de operación cotidiano.

## El Contexto Actual

Aproximadamente cada quince años entra en operación una nueva generación de telescopios con espejos de mayor diámetro, provocando un desplazamiento natural de las tareas de observación de frontera, de los viejos a los nuevos telescopios. En especial, durante la década de los noventa se dió una combinación de circunstancias que favoreció el desarrollo de los sistemas de OD.

- Por un lado, se pusieron en operación los grandes telescopios con espejos primarios de 8 a 10 metros en los cuales el astrónomo interviene cada vez menos en el control de los instrumentos, ya que para su operación se requiere de un equipo de técnicos debido a la complejidad del telescopio y su instrumentación.
- Muchos observatorios comenzaron a modernizar los viejos telescopios que sobrevivieron de la época de los sesenta y se les comenzaron a asignar proyectos que requieren de mucho tiempo de observación, algo que no es posible obtener en los grandes telescopios.

- La popularización de Internet a partir de 1993 y el abaratamiento de los equipos de comunicación trajeron consigo que los telescopios pequeños que fueron modernizados, se consideraran como aplicaciones susceptibles de ser operadas a distancia. Además, se desarrollaron proyectos que demostraron la factibilidad de utilizar Internet como una opción para operar instrumentos a distancia, como el sistema de la Universidad de Bradford [Bar95][BC96].
- El protocolo TCP/IP y Ethernet comenzaron a emplearse como interfaces en la instrumentación astronómica. Se pasó de arquitecturas altamente integradas en hardware a ambientes distribuidos en los que únicamente era necesario conocer la dirección IP, el puerto y el protocolo (TCP, UDP, ICMP, etc.) para acceder a un instrumento astronómico. Actualmente es posible encontrar detectores CCD como los del OAN-T que han reemplazado todas las tarjetas controladoras por un simple cable UTP. Este cambio en los instrumentos ha abierto la puerta para que la instrumentación astronómica pueda ser operada a distancia incluso a través de Internet.

Actualmente existen muchos telescopios que son operados a distancia por astrónomos profesionales, como se puede comprobar en el número correspondiente a octubre de 2004 dedicado a la Astronomía Robótica, de la revista especializada *Astronomische Nachrichten*<sup>1</sup> en el que se listan más de 15. Es importante mencionar que la mayoría de los telescopios involucrados en estos proyectos tienen diámetros menores a 40cm. Son muy pocos los telescopios cuyos espejos primarios son mayores a 1m de diámetro. En la página del proyecto MONET<sup>2</sup> (*The MONitoring NETwork of Telescopes*) se incluye un listado de otros telescopios que pueden operar a distancia; también se nota esta tendencia a usar telescopios pequeños.

Otra clase de telescopios pequeños que ha sido beneficiada por el avance en las comunicaciones y especialmente de Internet, es la dedicada a observaciones de astrónomos aficionados o instituciones dedicadas a la divulgación de la ciencia. Por lo general, tienen diámetros que van de los 10 a los 20 cm y su instrumentación es más modesta. Como ejemplos se pueden mencionar el telescopio Telescopio Internet Kitanomaru del Museo de Ciencias de Tokio<sup>3</sup> en Japón o el Observatorio Robótico de la Ciudad Hanna, Illinois (del que se muestran dos imágenes en la figura 2.1).

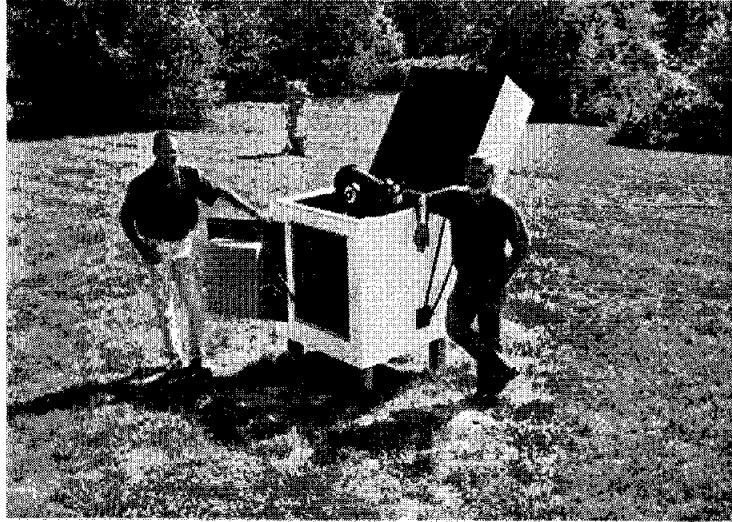
### 2.3 Acerca de la Terminología de las Observaciones a Distancia

Hasta ahora se ha utilizado el término *observación a distancia* para referirse a este modo de observación, sin dar detalles. Con el fin de aclarar las diferencias entre las variantes de la OD se presenta la clasificación de A. Zijlstra *et al.* [ZWKR97]. Debido a la gran diversidad de aplicaciones, no existe una terminología estándar para nombrar y clasificar a los sistemas de OD.

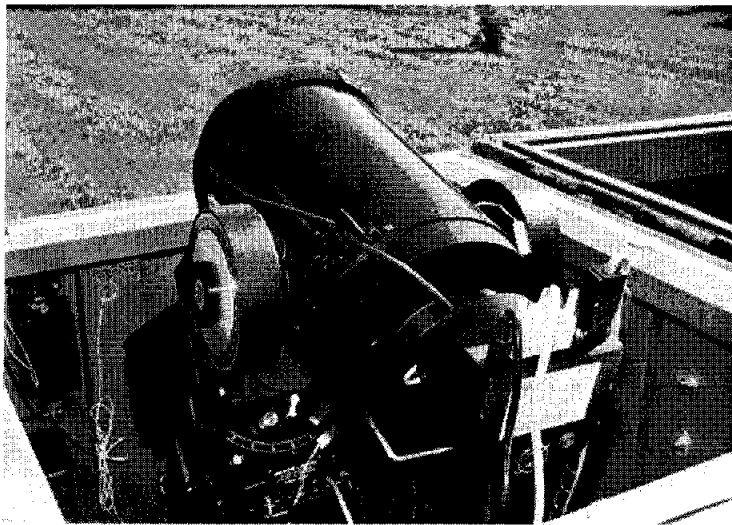
<sup>1</sup>[www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jissue/109703533](http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jissue/109703533)

<sup>2</sup>[monet.uni-goettingen.de/cgi-bin/WebObjects/MonetPortal](http://monet.uni-goettingen.de/cgi-bin/WebObjects/MonetPortal)

<sup>3</sup>[jahou.riken.go.jp/kit/e-KIT\\_Home.html](http://jahou.riken.go.jp/kit/e-KIT_Home.html)



(b) En esta imagen se puede apreciar el tamaño del gabinete que alberga al telescopio.



(c) Acercamiento al interior del observatorio.

Figura 2.1: Observatorio Robótico de la Ciudad Hanna, II.

La *observación remota* es cualquier modo de observación en el cual el astrónomo no está presente en el lugar geográfico del telescopio o cerca de él. Esta definición incluye a los observatorios espaciales. Este término no se aplica para casos en los que el astrónomo obtiene sus imágenes en un cuarto de control adyacente a la cúpula del telescopio. La observación remota puede ser:

- **Pasiva**, en esta variante el astrónomo está en contacto (telefónico, videoconferencia, correo electrónico, etc.) con el observador quien se encuentra operando localmente el telescopio. Dependiendo del tipo de enlace, el astrónomo puede acceder a las imágenes conforme se van obteniendo.
- **Activa**, el astrónomo opera en forma remota y de manera directa el telescopio y su instrumentación. En esta modalidad, el astrónomo puede observar directamente desde su oficina o algún centro de observación remota, dependiendo de las condiciones que se impongan para operar los telescopios.
- **Mantenimiento Remoto**, como su nombre lo sugiere, en esta modalidad el sistema permite al usuario realizar una serie de tareas de mantenimiento, diagnóstico y corrección de fallas a distancia.
- **Servicio de Observación**. El astrónomo indica a un grupo de técnicos encargados de la operación del observatorio, los objetos que se observarán y la configuración de los instrumentos. El observador no está en contacto con los técnicos durante la observación. Terminada ésta se le entregan los datos para su procesamiento.
- **Robótica**. Como ya se ha mencionado anteriormente, esta variante funciona como la del punto anterior, excepto que todas las tareas son realizadas automáticamente por los sistemas integrados al telescopio.

## 2.4 Los Objetivos y Usos de la Observación a Distancia

En esta sección se presentan los objetivos principales de la OD y se hace un breve recuento de las tareas que se realizan durante una jornada de observación en el telescopio, con la finalidad de poner en perspectiva el reto de la OD en comparación con una observación en sitio.

En el modo de observación tradicional, un observador viaja al telescopio y tiene una agenda de observación. El es el responsable de la adquisición de los datos científicos y frecuentemente cuenta con la ayuda de uno o más asistentes de observación. Después regresa a su lugar de trabajo para analizar los datos. El personal de apoyo debe ajustar los instrumentos para una operación correcta, pero el astrónomo es el responsable de realizar las observaciones y es quien decide si la instrumentación está funcionando adecuadamente para los objetivos científicos que persigue el proyecto de observación. El personal técnico está a cargo de la seguridad del telescopio y su instrumentación, pero su rol es de apoyo.

Hoy en día, todos los instrumentos astronómicos modernos son operados por el observador, no junto al telescopio sino en un cuarto de control anexo a la cúpula. Sin

embargo, en la OD la información relativa al estado del telescopio y la instrumentación, así como las imágenes obtenidas son enviadas al sitio remoto en el que se encuentra el astrónomo. En un sistema de OD que implemente todas las funciones disponibles en el observatorio, un astrónomo debería notar pocas diferencias entre estar en el cuarto de control a pocos metros del telescopio o a kilómetros de distancia del mismo. Si el telescopio y su instrumentación fueran muy confiables, sería posible prescindir de los asistentes de observación.

En términos generales, son tres los objetivos principales de la OD: hacer accesible el observatorio al astrónomo especialmente cuando éste se localiza en un lugar remoto; realizar observaciones que se puedan automatizar y hacer más eficiente el proceso de la observación astronómica.

### **El Proceso de la Observación Astronómica**

Tres son las tareas principales que se realizan durante una observación astronómica: el enfoque del telescopio, el posicionamiento del telescopio en las coordenadas deseadas y la adquisición de imágenes.

- Como todo instrumento óptico, el telescopio se debe enfocar correctamente. Primeramente, se mueve el telescopio a alguna estrella brillante con coordenadas conocidas, se enfoca el telescopio y se ajustan las coordenadas del sistema de control.
- Enseguida, se apunta el telescopio a las coordenadas del objeto a observar y se pone al telescopio en modo de guiado para compensar el movimiento de la Tierra. Una vez posicionado, con la ayuda del buscador que es un telescopio más pequeño que se utiliza para ver un campo de estrellas mayor, se ubican los objetos de referencia en las cartas de identificación y se centra el objeto en el campo del detector.
- En caso de que las observaciones se realicen con algún instrumento (espectrógrafo, interferómetro, rueda de filtros, etcétera), se configura éste. Se revisa nuevamente el foco del telescopio y finalmente se obtienen las imágenes del detector.

Es común que los telescopios tengan una deriva de las coordenadas deseadas en exposiciones de largo tiempo, por lo que tienen un instrumento de autoguiado que les permite hacer las correcciones necesarias para mantener el objeto que se está observando, todo el tiempo en el mismo lugar del detector. Durante las observaciones se deben revisar constantemente las condiciones meteorológicas, especialmente si la humedad es alta pues los instrumentos electrónicos pueden sufrir un corto circuito. Se revisan también instrumentos como detectores de nubes, sistemas de óptica activa, óptica adaptativa, etcétera.

Mientras más grande sea el diámetro del espejo primario y compleja la instrumentación de un telescopio, cada una de las tareas que se realizan durante una observación astronómica, también será más compleja. Por ejemplo, en un telescopio segmentado (es decir el espejo primario está compuesto de espejos de menor diámetro que son alineados



de tal manera que su apertura sea equivalente a un espejo de una pieza) de nueva tecnología antes de enfocar se deberá revisar que el conjunto de los segmentos que forman el espejo primario tenga la figura adecuada dentro de las precisiones requeridas. En lo que se refiere al enfoque, por lo regular, el foco se ajusta moviendo el espejo secundario. Debido a las flexiones de la estructura mecánica del telescopio, en ocasiones el espejo secundario está sujeto a una montura con varios grados de libertad (movimientos verticales, horizontales y de rotación) y durante la adquisición es necesario que el sistema de control del telescopio ajuste la montura del secundario para garantizar la alineación y enfoque del telescopio. En el caso de la adquisición de imágenes, un factor fundamental es la complejidad del instrumento acoplado al telescopio con el cual se esté observando, cuanto más sencillo sea el instrumento, menos parámetros habrá que configurar y vigilar durante la adquisición de imágenes.

### 2.4.1 Los Usos de la Observación a Distancia

En general, el objetivo de todo observatorio astronómico de investigación es obtener información de los objetos celestes a través de la radiación que se recibe de ellos. Puesto que los diseños de cada telescopio y su instrumentación obedecen a ciertos objetivos específicos de investigación, en la práctica ningún observatorio es idéntico a otro, por lo tanto cada telescopio tendrá sus características en cuanto a su operación se refiere. Consecuentemente un sistema de OD tendrá en cada telescopio sus propias particularidades y cada observatorio decidirá los servicios que ofrece de manera remota a sus usuarios.

Un uso que tienen todos los telescopios no importando su tamaño es la observación de eventos especiales o de importancia inmediata, el hecho de poder operar a distancia un telescopio permitirá que en un lapso de minutos, un observador pueda obtener imágenes de algún fenómeno astronómico de su interés. Un ejemplo es la capacidad de respuesta del telescopio Katzman al sistema de alerta mundial del satélite HETE-2 que detecta explosiones de rayos gamma. En ocasiones la detección de la contraparte óptica de una explosión de rayos gamma debe hacerse en un intervalo que va de los 10 a 20 segundos después de emitida la alerta. Actualmente el telescopio Katzman puede iniciar observaciones a los 60 segundos de recibida la alerta [LFCJ03] y el Telescopio Liverpool a los dos minutos. Sin embargo, debe hacerse notar que no es el mismo trabajo preparar la observación en un telescopio sencillo como el Katzman de 76 cm de diámetro, que hacerlo en uno como el Liverpool de 2m de diámetro, que pesa varias toneladas y es más complejo que el Katzman.

El uso que los distintos observatorios le han dado a la OD puede dividirse en dos categorías dependiendo de los beneficios obtenidos al adoptar este modo de observación y el tamaño del telescopio: los telescopios grandes y medianos, y los pequeños y/o robóticos.

#### El Uso en los Telescopios Grandes y Medianos

En el caso de los grandes telescopios con espejos primarios de 8 a 10 metros de diámetro, el tiempo de observación en estos telescopios es muy competido y la observación a distancia ha permitido encontrar estrategias para optimizar su potencial científico como

instrumentos únicos respecto a su costo y complejidad. Frecuentemente a los proyectos se les asignan pocas horas de observación, esta situación obliga a plantearse la conveniencia de que el astrónomo haga un viaje a un lugar remoto para observar muy poco tiempo, sobre todo si se le suma el hecho de que el astrónomo interviene cada vez menos en el control de los instrumentos.

Ejemplos de este tipo de telescopios son el Subaru, y Keck I y II, que están ubicados en la cima del volcán Mauna Kea a 4200 metros sobre el nivel del mar. Como lo apunta P. Shopbell [Sho03] el 95% de las observaciones se realizan desde las instalaciones del Observatorio Keck ubicadas en la localidad de Waimea a 32 kilómetros del telescopio. También se pueden realizar observaciones desde el continente en algunas de las universidades de California que pertenecen al consorcio Keck, en un modo más restringido.

Cabe señalar que la OD será el modo de operación más común en todos los grandes telescopios que se construyan en el futuro. Por ejemplo el Gran Telescopio Canarias de 10.4 metros de diámetro que actualmente está en construcción, ya lo incorpora a su esquema de operación.

La tendencia en el uso de la OD en telescopios medianos (con espejos primarios de 3 a 6 metros) es similar a la de los telescopios grandes en cuanto a la competencia por el tiempo de observación, con la salvedad de que los proyectos de observación disponen de más tiempo que en los telescopios grandes pero menos que en los pequeños. Son pocos los que ofrecen el servicio de observación a distancia por dos razones: (1) debido a que pertenecen a una generación anterior de telescopios, en su diseño no se consideró este modo de observación; (2) son lo suficientemente complejos como para que la tarea de ofrecer todos sus servicios a distancia implique mucho trabajo en la adaptación de sus sistemas para volverlos operables a distancia. Por otro lado, los tiempos de observación son del orden de días, de tal manera que son lo suficientemente largos como para hacer atractivo un viaje hasta el observatorio.

### **El Uso en Telescopios Pequeños**

Los telescopios pequeños ofrecen mucho tiempo de observación a sus proyectos y generalmente son instalaciones propiedad de una sola entidad a diferencia de los grandes observatorios cuyos propietarios son consorcios internacionales. Esto permite dedicarlos a proyectos que requieren de largas temporadas de observación como pueden ser la creación de bancos de imágenes, a búsquedas especializadas o la divulgación científica.

Un capítulo especial de los telescopios pequeños, son los telescopios robóticos, que realizan las observaciones de manera automática, el observador únicamente proporciona las coordenadas y el sistema le regresa de alguna manera las imágenes obtenidas. No requieren de intervención humana excepto para su mantenimiento y verifican durante su operación ciertas variables importantes para la seguridad del telescopio y para garantizar una buena observación, como las condiciones atmosféricas, la nubosidad, el posicionamiento de la cúpula, etcétera.

Estos telescopios pueden ser muy importantes; por ejemplo, el telescopio Katzman [RTF93][FLTM01] administrado por el Observatorio Lick es el telescopio que ha descu-

bierto el mayor número de supernovas, de acuerdo con lo reportado en su página web<sup>4</sup> tan solo en 2004 descubrió 84 y 60 de enero a septiembre de 2005.

## 2.5 Ventajas y Desventajas de la Observación a Distancia

Un aspecto fundamental en todas las variantes de observación remota es que el tiempo de telescopio debe ser usado, al menos tan efectiva y eficientemente como en el modo tradicional. En particular, el astrónomo puede tener confianza en que los datos obtenidos son de la misma calidad que los adquiridos en el modo tradicional, sin embargo debe señalarse que aún cuando el telescopio y los instrumentos funcionen muy bien, se requiere de la experiencia del observador para afinar el programa de observación de tal modo que aproveche todo el tiempo de observación disponible. Entre las ventajas más importantes de la OD se encuentran las siguientes:

- La introducción de la observación remota facilita la calendarización de los tiempos de observación. Las observaciones pueden ser programadas dentro de un intervalo de tiempo, en lugar de asignar días específicos como se hace en el modo tradicional. Esto es especialmente útil cuando se requieren condiciones meteorológicas excelentes para ciertos proyectos de observación. También se pueden agrupar las observaciones de tal manera que se minimicen los cambios de instrumentos y sea posible abrir ventanas de tiempo cada vez que se presente un objeto cuya observación sea importante.
- Si el observatorio está ubicado en un sitio distante del astrónomo, se evitarán los viajes teniéndose un ahorro de tiempo para el astrónomo y por consiguiente de recursos económicos. Este punto puede volverse importante, sobre todo si el astrónomo está involucrado en otras actividades como la enseñanza, o el tiempo de observación asignado a un proyecto es corto.
- Puesto que los observatorios cada vez se instalan en lugares más remotos y en ocasiones peligrosos, la OD evita todo tipo de riesgo. Por ejemplo, el Observatorio Keck está a 4200 metros sobre el nivel del mar y el Gran Telescopio Milimétrico que se está construyendo en México, estará situado en la cima del volcán La Negra a 4600 metros sobre el nivel del mar.
- Existe la posibilidad de realizar proyectos que requieran de periodos prolongados de observación, como la elaboración de catálogos, la búsqueda o seguimiento de cierto tipo de objetos.
- Es factible la realización de observaciones automatizadas como las observaciones fotométricas o la búsqueda de supernovas.

Entre las desventajas, las más importantes se encuentran las siguientes:

---

<sup>4</sup>[astron.berkeley.edu/~bait/kait.html](http://astron.berkeley.edu/~bait/kait.html)

- Quizá la más importante sea el hecho de que el observador remoto no siempre tiene las mismas facilidades que estando en el observatorio, ya que por lo general no todos los instrumentos están diseñados para operar en esta modalidad de observación.
- Una parte importante del modo tradicional es que el observador tiene un margen de flexibilidad para realizar cambios de última hora al plan de observación y hacer algo nuevo, que posiblemente le lleve a un nuevo descubrimiento o simplemente obtener información para una siguiente propuesta de observación. A menos que la instrumentación pueda reemplazarse o adaptarse a las necesidades del observador en un tiempo corto, un observador remoto no podrá tener la flexibilidad de la observación tradicional.
- Sin ser propiamente una desventaja, además de conocer la operación de un telescopio en particular y su instrumentación, el astrónomo debe tomar un tiempo para aprender a usar el sistema de observación remota.

En la actualidad, un aspecto que todavía está sujeto a debate, a 10 años de los primeros sistemas de observación remota, es el balance exacto entre las variantes de observación remota y el modo tradicional. Seguramente la división de los tiempos entre los modos de observación dependerá del modo más demandado y de las facilidades tecnológicas que tenga cada observatorio para ofrecer un modo de observación u otro. La tendencia, sin embargo, indicaría favorecer a la OD por los beneficios que ofrece.

## 2.6 Ejemplos de Telescopios con Sistemas de Observación Remota

En esta sección se enlistan algunos telescopios que actualmente ofrecen el servicio de observación remota y se ubican en alguna de las variantes mencionadas anteriormente.

- a) **El Telescopio Katzman.** El *Katzman Automatic Imaging Telescope* (KAIT)<sup>5</sup> [RTF93] es un telescopio tipo Ritchey-Chretien de 76 cm de diámetro ubicado en el Observatorio Lick, cerca de San José, California. Es un telescopio robótico dedicado exclusivamente a la búsqueda de supernovas y hacer el seguimiento en tiempo real de los objetos que sean señalados por el sistema de alerta de explosiones de rayos gamma [LFCJ03]. A septiembre de 2005, el número de supernovas descubiertas por este telescopio es de 491. Está equipado con una cámara CCD, un sistema de autoguiado, un conjunto de filtros y una estación meteorológica que vigila las condiciones meteorológicas del observatorio y envía señales para cerrar la cúpula en caso de que las condiciones pongan en riesgo al telescopio. El KAIT fue reinaugurado en 1996 en su ubicación actual y en 1997 descubrió su primera supernova. Entre los telescopios pequeños, es quizá el sistema de OD más exitoso. Como referencia basta mencionar que sus observaciones han dado origen a 26 artículos arbitrados y en un año tiene la capacidad de monitorizar aproximadamente 14000 galaxias.

<sup>5</sup>[astron.berkeley.edu/~bait/kait.html](http://astron.berkeley.edu/~bait/kait.html)

Las imágenes adquiridas son procesadas automáticamente y los objetos que son candidatos a supernova son marcados, para ser examinados por un grupo de asistentes. Los candidatos que pasan esta fase, se vuelven a observar y se confirma si son o no supernovas [FLTM01].

En la figura 2.2(a) se muestra el telescopio. Se puede observar la base del telescopio, los espejos primario y secundario, y el buscador.

### b) El Telescopio de 3.5m del Observatorio Apache Point

Es un telescopio de propósito general cuyo espejo primario es de 3.5m de diámetro y se encuentra ubicado en el Observatorio Apache Point<sup>6</sup> en el estado de Nuevo México, Estados Unidos. Generalmente se utiliza para observaciones de imagen directa y espectroscopía en longitudes de onda ópticas e infrarrojas. El telescopio es administrado por el Consorcio de Investigación Astrofísica que incluye entre otras universidades a las de Chicago, Princeton, Colorado y Johns Hopkins.

Debido a la dispersión geográfica de las instituciones que integran el Consorcio, se implementó un sistema de observación remota activa que permite realizar distintos programas de observación incluso en la misma noche, frecuentemente utilizando más de un instrumento científico. Los usuarios remotos también pueden observar en colaboración desde distintos lugares simultáneamente. En la actualidad las observaciones en sitio únicamente se llevan a cabo con la finalidad de probar nuevos instrumentos o de entrenamiento. Durante las observaciones se encuentra presente un asistente de observación que se encarga de vigilar el buen funcionamiento de todos los sistemas y de hacer los cambios de instrumento cada vez que se requiere, aunque el diseño del telescopio posibilita los cambios automáticos. Este es un ejemplo de telescopio mediano que puede ser operado a distancia. En la figura 2.2(b) se muestra parte de la estructura del espejo primario y la montura mecánica del espejo secundario.

### c) El Telescopio Liverpool

Es un telescopio administrado por la Universidad John Moores de Liverpool<sup>7</sup> y está situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos en las Islas Canarias, España. Con 2 metros de diámetro, es actualmente el telescopio robótico más grande del mundo. En abril de 2004 comenzó sus pruebas en modo robótico. El objetivo principal del telescopio es el seguimiento de objetos variables en todas las escalas de tiempo, desde segundos hasta años. Algunos beneficios adicionales debido a su condición de telescopio robotizado son su capacidad para reaccionar rápidamente a fenómenos impredecibles y el seguimiento sistemático de éstos, así como realizar observaciones simultáneas o coordinadas con otros observatorios. Su programa de observación de objetos de oportunidad incluye la búsqueda y observación de las contrapartes ópticas de explosiones de rayos gamma o rayos X. De acuerdo con I. A. Steele [Ste01][Ste04] el telescopio es capaz de iniciar las observaciones en menos

<sup>6</sup>[www.apo.nmsu.edu](http://www.apo.nmsu.edu)

<sup>7</sup>[telescope.livjm.ac.uk](http://telescope.livjm.ac.uk)

de dos minutos, después de recibir una alerta que indica la aparición de uno de estos objetos, incluyendo imágenes ópticas, infrarrojas y espectroscópicas.

El sistema de control del telescopio incluye procedimientos de encendido/apagado del telescopio y su instrumentación, enfoque e impide que tanto el telescopio como sus instrumentos se dañen mediante la observación continua de las condiciones meteorológicas. El sistema de control toma decisiones respecto a la calendarización de las observaciones con base en la fase de la Luna, las condiciones para la observación, la posición del objeto a observar, la prioridad científica y la urgencia. En la figura 2.2(c) se muestra la estructura del telescopio que sostiene al espejo primario.

El telescopio Liverpool forma parte de una iniciativa para crear una red mundial de telescopios que puedan operar simultánea o coordinadamente, denominada Robonet.

#### d) El Telescopio de la Universidad de Bradford

Un telescopio que vale la pena mencionar por la importancia que tuvo en la segunda mitad de la década de los noventa, es el telescopio de 46 centímetros de diámetro de la Universidad de Bradford<sup>8</sup>. Fue el primer telescopio robótico que se puso a disposición del público en Internet, a través de una página web. Comenzó a operar en diciembre de 1993. En sus inicios este telescopio se pensó para observaciones fotométricas, pero muy pronto atrajo la atención de un gran número de escuelas de educación básica de todo el mundo que lo usaron para realizar sus prácticas astronómicas. La forma de operar era muy sencilla, se introducían las coordenadas del objeto a observar y una vez hecha la adquisición, se enviaba un correo electrónico al usuario indicándole la ubicación de sus archivos en un servidor FTP.

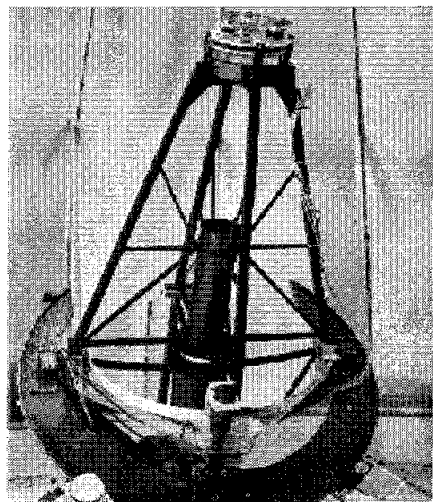
Debido a la mala calidad del sitio original, actualmente se está terminando su traslado al Observatorio del Roque de los Muchachos en España. En la figura 2.2(d) se muestran las antiguas instalaciones del telescopio.

- e) **Los Telescopios Keck I y Keck II.** Estos son los telescopios ópticos más grandes del mundo. Cada uno tiene un espejo primario de 10m de diámetro que está compuesto por 36 segmentos hexagonales que funcionan coordinadamente como si fueran una sola pieza. El peso de cada telescopio es de 300 toneladas. Están situados a 4200 metros sobre el nivel del mar en la cima del volcán Mauna Kea en Hawai. Actualmente [Sho03] el 95% de las observaciones en modo activo se realizan desde las instalaciones del Observatorio Keck<sup>9</sup> ubicadas en la localidad de Waimea a 32 kilómetros del volcán y a una altura menor (760m sobre el nivel del mar). También se pueden realizar observaciones con solo algunos de los instrumentos desde algunas universidades ubicadas en el estado de California. En la figura 2.3 se muestran el edificio y las cúpulas de los telescopios.

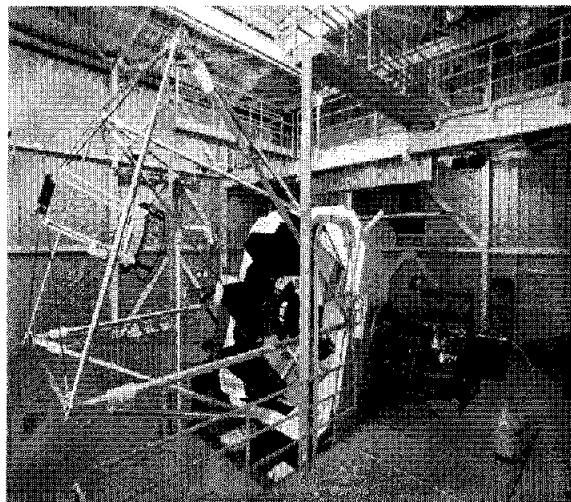
---

<sup>8</sup>[www.telescope.org](http://www.telescope.org)

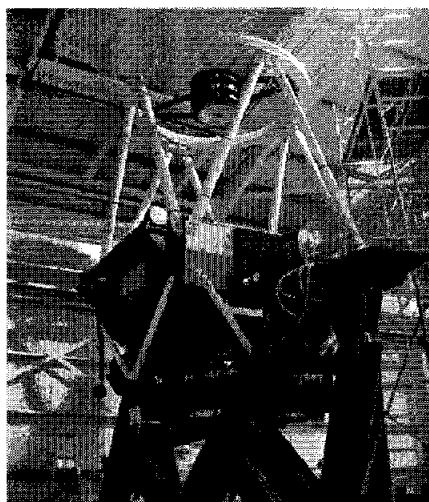
<sup>9</sup>[www2.keck.hawaii.edu](http://www2.keck.hawaii.edu)



(a) El telescopio Katzman (KAIT)



(b) El telescopio de 3.5m de Apache Point



(c) El telescopio Liverpool



(d) El telescopio de la Universidad de Bradford

Figura 2.2: Ejemplos de telescopios que cuentan con sistemas de observación remota



Figura 2.3: Edificio del Observatorio Keck en Mauna Kea, Hawai.

Sin ser exhaustivos, a continuación se enlistan otros proyectos de observación remota: el Telescopio Controlado Robóticamente de 1.3m del Observatorio Kitt Peak [GCD<sup>+</sup>04]. Los telescopios gemelos Wolfgang y Amadeus (75 cm de diámetro) de la Universidad de Viena [SBEG97][GRS01]. El telescopio Berlín (20cm de diámetro) para búsqueda de exoplanetas [REE<sup>+</sup>04]. El telescopio Antártico Submilimétrico [SBB<sup>+</sup>01]. En la figura 2.4 se muestran imágenes de los telescopios antes mencionados.

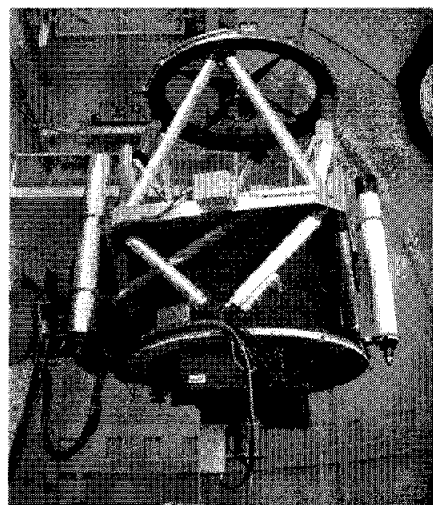
Una faceta que hasta ahora no ha sido mencionada es el grado de dificultad en la implementación de los sistemas de observación remota. En la siguiente sección se presentan los problemas a resolver en el desarrollo de estos sistemas.

## 2.7 Sobre la Operación e Implementación de los Sistemas de Observación Remota

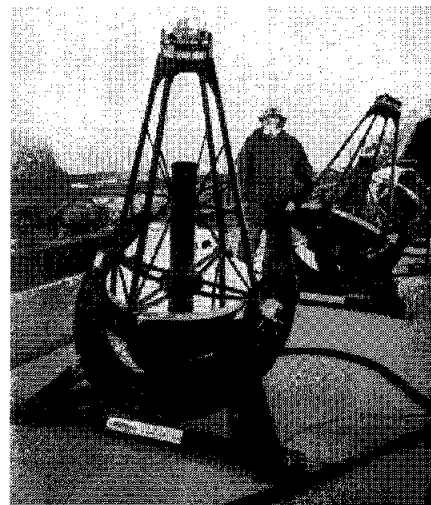
Aunque en la sección 2.3 las modalidades de observación remota se dividen en 5 categorías, sobresalen dos modos: el robótico y el activo. Ambos modos requieren de ciertos subsistemas para operar el telescopio y toda la instrumentación asociada a un observatorio astronómico. Los subsistemas son: el de control del telescopio, el de control de instrumentos y el subsistema de control del observatorio que incluye la vigilancia atmosférica. Por supuesto, como se ha hecho notar en las secciones anteriores, dependiendo del tamaño, la complejidad del observatorio y la instrumentación que se ofrezca en modo remoto, así lo será cada uno de estos subsistemas.

El sistema de control del telescopio (SCT) es el encargado de posicionar el telescopio y vigilar su seguridad, adicionalmente realiza otras tareas necesarias para operar el

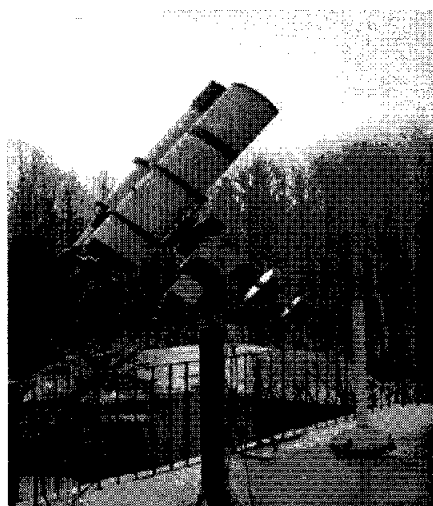




(a) El Telescopio Controlado Robóticamente (RCT)



(b) Los telescopios gemelos Wolfgang-Amadeus



(c) El telescopio Berlín de 19.5 cm.



(d) El Telescopio Antártico Sub-milimétrico

Figura 2.4: Otros ejemplos de telescopios que cuentan con sistemas de observación remota

telescopio como mover el espejo secundario para enfocar, calcular las posiciones y mover contrapesos para balancear el telescopio, etcétera. El sistema de control de instrumentos (SCI) tiene a su cargo el manejo de los instrumentos, configurarlos, vigilar su seguridad y enviar al usuario las imágenes obtenidas. La tarea más importante del sistema de control del observatorio (SCO) es abrir, cerrar y posicionar la cúpula; sin embargo, puede realizar otras como abrir cortinas para termalizar el interior de la cúpula, permitir el encendido y apagado de luces, vigilar la información meteorológica y puede incluir un sensor de nubes.

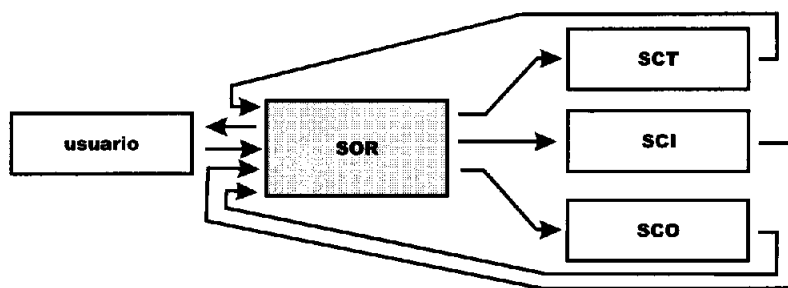
Desde un punto de vista operacional, el más sencillo de manejar es un telescopio en modo robótico, ya que el usuario únicamente introduce al sistema los parámetros necesarios para las observaciones y en respuesta recibe las imágenes obtenidas. Sin embargo, esto significa que el telescopio debe ser más robusto y complejo en su diseño y construcción, especialmente lo relacionado con la vigilancia de las condiciones climatológicas, además de contar con algunos componentes de software que hagan del telescopio un instrumento eficiente, como lo pueden ser el sistema de autoenfoco, el sistema que calendarización y programación de las observaciones.

Cabe señalar que aun dentro de la categoría de los telescopios robóticos, hay diferencias importantes en lo que se refiere a la complejidad de sus usos. Un telescopio como el de la Universidad de Bradford, únicamente entrega las imágenes obtenidas (que es una tarea relativamente sencilla). Por otra parte, el telescopio Katzman como buscador de supernovas, no solo debe enfocar, posicionar adecuadamente el telescopio, obtener las imágenes (hasta aquí hace lo mismo que el telescopio Bradford), sino también procesarlas, discriminar los rayos cósmicos, confrontar las imágenes con las disponibles de otros catálogos para encontrar objetos nuevos y posibles candidatos a supernovas.

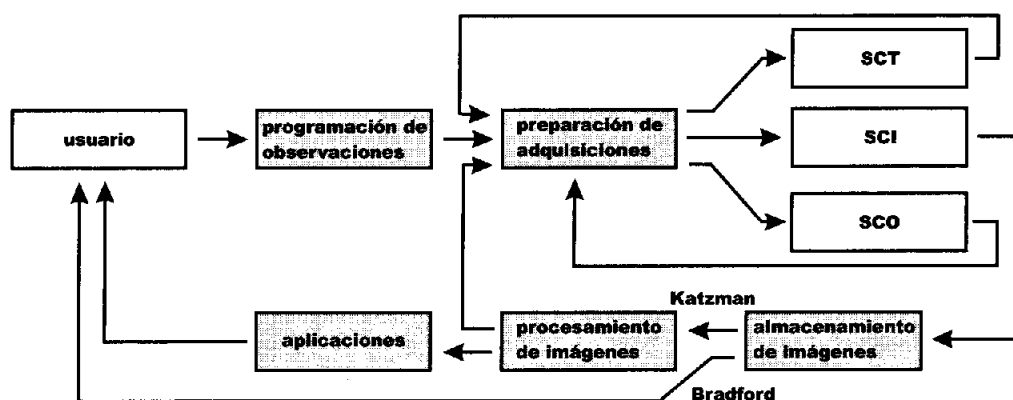
En modo activo las condiciones se invierten, el usuario debe tomar todas las decisiones concernientes al enfoque, calibración de los instrumentos, secuencia de observaciones y el procesamiento de las imágenes. Lo anterior implica que el usuario debe proporcionar un número mayor de parámetros a los sistemas y a cambio, éstos son relativamente más sencillos ya que se les releva de la toma de decisiones. Por consiguiente, hay un incremento en el flujo de información, ya que el sistema de observación remota debe acercar *todo* el observatorio al usuario.

La información transmitida al usuario en el caso del modo activo incluye los datos del SCT (coordenadas, posición del foco, estado del guiado, imágenes del buscador, etc.), el SCI manda la configuración y estado de los instrumentos, el SCO la posición de la cúpula y la información meteorológica.

En la figura 2.5 se muestran las arquitecturas (muy simplificadas) de tipo filtros y tuberías [SG96] que marcan las diferencias principales entre los sistemas activo y robótico. En la correspondiente al modo activo se puede observar que es relativamente más sencillo que el robótico. Los parámetros y comandos que envía el usuario pasan a través del sistema de observación remota (SOR) y son enrutados a los subsistemas que correspondan (SCT, SCI, SCO). El usuario es quien se encarga de establecer los parámetros y discriminar si las imágenes obtenidas con el sistema cumplen con los requerimientos de su programa de observaciones.



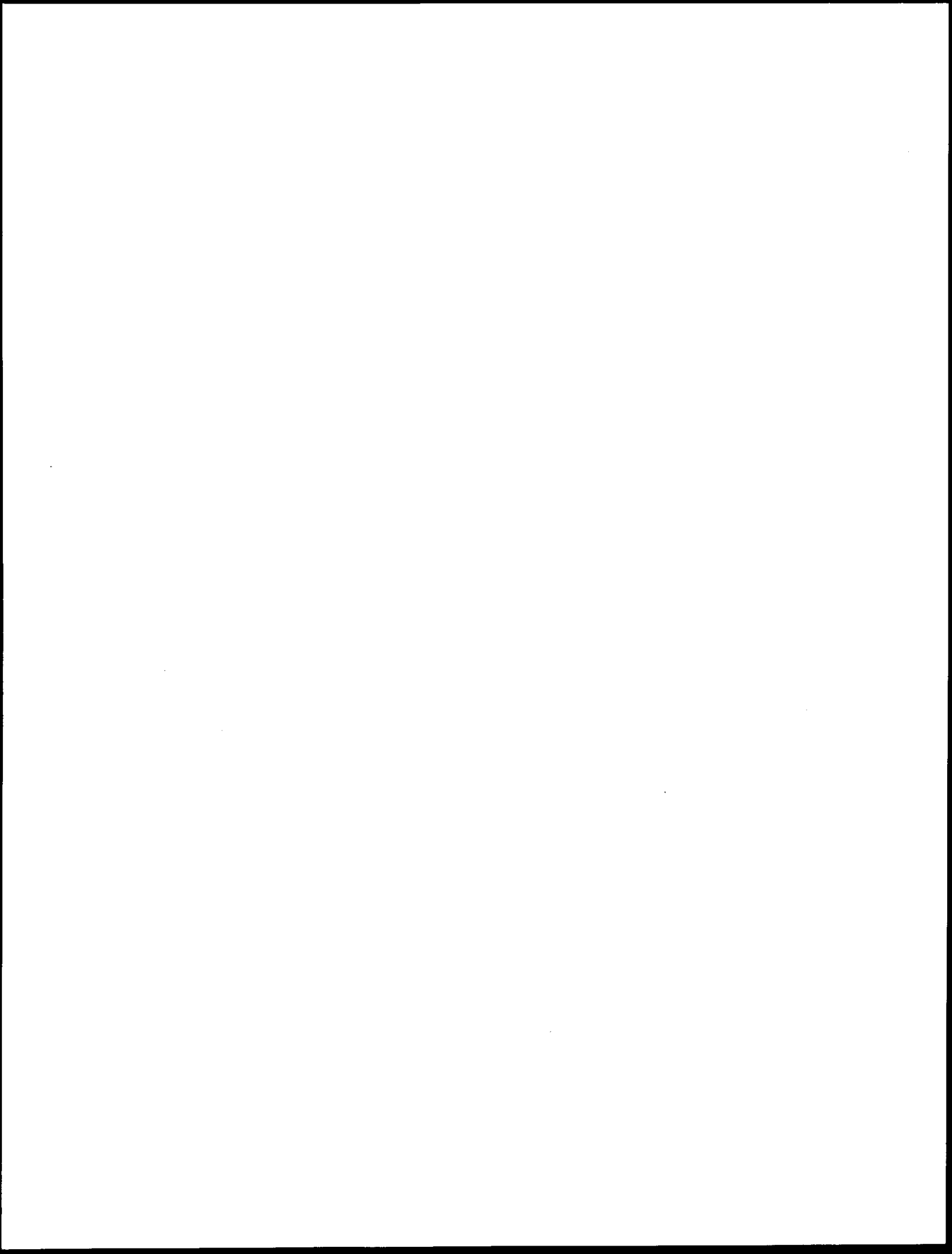
(a) Arquitectura del modo activo



(b) Arquitectura del modo robótico

Figura 2.5: Arquitecturas simplificadas para operar un observatorio a distancia. Las cajas sombreadas del modo robótico, corresponden al SOR del modo activo.

En el modo robótico, el equivalente del SOR es un conjunto de módulos que reemplazan las decisiones que debe tomar el usuario en modo activo. El módulo **programación de observaciones** es el encargado de calendarizar e iniciar las observaciones. El módulo **preparación de adquisiciones** es el responsable de poner a punto todo lo que se requiere para iniciar la adquisición de imágenes; debe verificar la posición del telescopio, el foco del mismo, las condiciones atmosféricas, etcétera. El módulo **almacenamiento de imágenes** debe decidir los formatos de las imágenes, guardar los parámetros usados durante la exposición, almacenar las imágenes, etc. A partir de este punto el observatorio robótico puede seguir dos caminos que están marcados en la figura como Katzman y Bradford, representan dos tipos de observatorios. En el camino Bradford, que es el más sencillo, el observatorio avisa al usuario que sus imágenes están listas para ser entregadas. Para el caso del camino Katzman, todavía restan dos módulos; el **procesamiento de imágenes** que se encarga del procesamiento preliminar de las imágenes, y el último módulo **aplicaciones** es el encargado de hacer algún proceso específico, que en el telescopio Katzman es la búsqueda de supernovas.



## Capítulo 3

# El Sistema de Observación Remota del OAN-T

### 3.1 Introducción

En este capítulo se describen el Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla y las características del telescopio cuyo espejo primario es de 1m de diámetro. Se presentan los objetivos y requerimientos del sistema de observación remota. Se plantea una arquitectura para todo el sistema que en los siguientes capítulos se desarrollará detalladamente.

### 3.2 El Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla

El Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla (OAN-T) operado por el IAU-NAM, se encuentra ubicado en la localidad de Tonantzintla en el estado de Puebla, a 3 kilómetros de la ciudad de Cholula. Fue inaugurado en 1961 y hasta la fecha se encuentra en operación. Actualmente cuenta con dos telescopios, uno denominado *Carta del Cielo* herencia del antiguo Observatorio de Tacubaya y el otro de 1 metro de diámetro en su óptica principal que en sus inicios estuvo orientado para hacer fotometría de estrellas individuales. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran los edificios de ambos telescopios.

Muy pronto, después de la inauguración del telescopio de 1m se hizo evidente la necesidad de buscar otra estación de observación más adecuada al trabajo astronómico que Tonantzintla, pues allí el número de noches nubladas es muy grande, además del aumento considerable en la contaminación lumínica generada por las ciudades de Puebla y Cholula, así como la contaminación industrial. A pesar de la contaminación, el telescopio continúa utilizándose sobre todo en actividades de docencia y divulgación científica.

A mediados de la década de los noventa, con la aparición de los sistemas de observación remota se vio la posibilidad de implementar uno en el telescopio de 1m, y es así como se inició en 1997 el proyecto Observación Remota del OAN-T. Debido al poco uso del observatorio, la inversión en infraestructura decreció por lo que este proyecto en sus inicios, incluyó aspectos básicos como la introducción de una línea de fibra óptica para



Figura 3.1: Edificio del telescopio *Carta del Cielo*

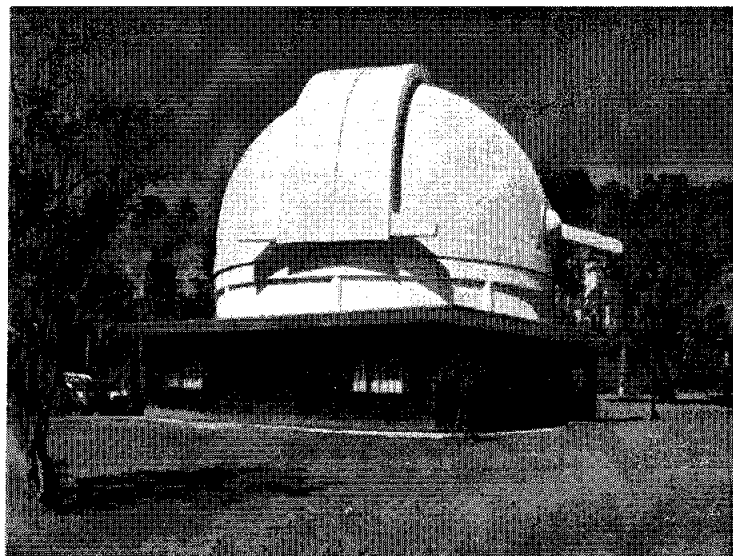


Figura 3.2: Edificio del telescopio de 1 metro

conectar al OAN-T a Internet, la compra de equipo de red, la obtención de computadoras, etcétera. Actualmente, el observatorio está conectado a Internet a través de un enlace de fibra óptica de 100 Mb/s al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) contiguo a las instalaciones del OAN-T.

### 3.2.1 El Telescopio de 1 Metro de Diámetro

Es un telescopio tipo Cassegrain de 1 metro de diámetro con excelente calidad óptica y de montura ecuatorial. Cuenta con un espectrógrafo, un fotómetro y una cámara CCD de 1024x1024 pixeles. Tiene un sistema de control computarizado que consiste básicamente de una computadora personal y un controlador de motores de propósito general [GB94]. Ambos se encargan de controlar el movimiento de los ejes del telescopio para el apuntado y seguimiento de los objetos. El sistema de control del telescopio (SCT) corrige los errores de posición debido a efectos astronómicos como la precesión, nutación, aberración anual y movimiento propio, así como refracción atmosférica, errores en la alineación con la estrella polar y pérdida de perpendicularidad entre los ejes debido a flexiones en la estructura del telescopio. Adicionalmente, a través del SCT se gira la cúpula del telescopio y se desplaza el espejo secundario para enfocar el telescopio.

El SCT tiene una consola en la plataforma del telescopio, desde la cual el observador puede introducir sus coordenadas al sistema. En la consola se despliega toda la información que requiere el observador: tiempo sideral, hora local, ascensión recta y declinación del telescopio, ángulo horario, y las coordenadas instrumentales del telescopio. En la figura 3.3(a), se muestra el telescopio en su posición de descanso. El SCT, el CCD y la consola de piso están marcados con cuadros. La imagen comprende aproximadamente una tercera parte de la cúpula. La cúpula tiene un diámetro y peso aproximados de 11.50 metros y 8 toneladas, respectivamente. El tubo del telescopio mide 5.8 metros y pesa 2.5 toneladas. En la tabla 3.1 se proporcionan algunas datos de operación del telescopio.

El SCT está programado en lenguaje C y corre bajo el sistema operativo MSDOS [GB95]. El programa de control atiende interrupciones del reloj de la computadora aproximadamente 18.2 veces por segundo. Las subrutinas que manejan las interrupciones calculan los tiempos universal y sideral, actualizan las posiciones que se despliegan en la consola, corrige la posición del telescopio y revisa cualquier error que pueda ser generado por algún componente del SCT. Durante la primera etapa del proyecto Observación Remota, el programa de control fue modificado por Abel Bernal del Departamento de Instrumentación del IAUNAM, para recibir comandos a través de un puerto RS-232. Este cambio permitió que el usuario pudiera mover el telescopio desde otra computadora ubicada en el piso inferior del edificio (fénix en la figura 3.3(b)). En la fase del proyecto descrita en esta tesis, se siguió conservando el enlace RS-232 pero se reemplazó la antigua fénix que era una estación de trabajo Sparc Station IPX con sistema Solaris 5.2 por una PC con Linux RedHat. Este cambio de computadora y sistema operativo implicó la necesidad de diseñar una nueva interfaz de usuario (que se describe en el capítulo 4) para la operación del telescopio desde fénix.

La cámara CCD marca Thomson de 1024 × 1024 pixeles utiliza nitrógeno líquido para

velocidad máxima en ascensión recta:	0.88 grado/s
velocidad máxima en declinación:	0.76 grado/s
aceleración máxima:	0.33 grados/s <sup>2</sup>
precisión de correcciones astronómicas:	7.9 seg-arc en ascensión recta 8.3 seg-arc en declinación
error de apuntado:	1 min-arc para $Z < 60$ grados

Tabla 3.1: Características del sistema de control del telescopio de 1 metro.

alcanzar su temperatura de operación que es de  $-92^{\circ}\text{C}$ . Se opera desde una computadora personal con sistema operativo Windows 98 a través del paquete PMIS proporcionado por el fabricante. La cámara CCD tiene asociada una computadora con la que se comunica a través de una tarjeta que maneja las señales del controlador (tetlama en la figura 3.3(b)) y en la que corre el paquete PMIS.

### 3.2.2 Consideraciones para Observar a Distancia con el Telescopio de 1m

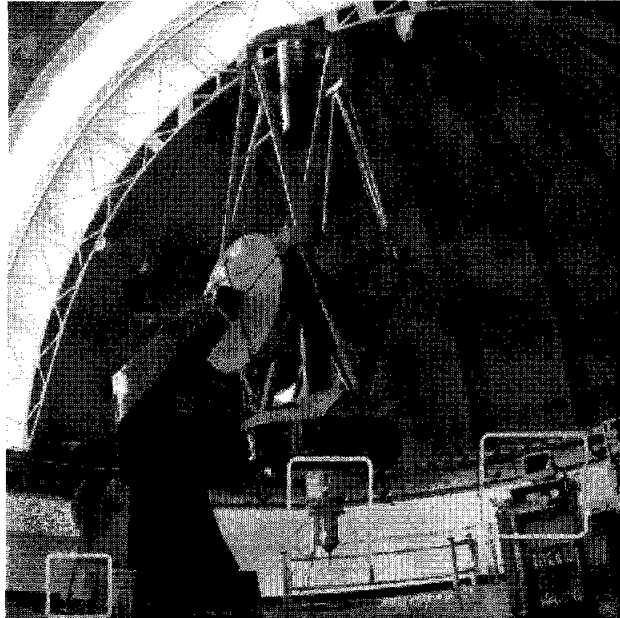
Durante el diseño y la implementación del sistema de observación remota del OAN-T, hubo que tomar en cuenta algunas de las limitaciones actuales del observatorio y plantear alternativas que en un futuro permitan incorporar actualizaciones. Hay algunas que son previsibles como el caso de la automatización de la cúpula, pero hay otras que no es posible anticipar y en su caso integrar al SOR-T, por ejemplo, la adquisición de un nuevo CCD que tenga su propio software de adquisición u otra estación meteorológica. Por estas razones, la arquitectura que se propuso para el SOR-T trata de incluir a todos los elementos de los cuales dispone el observatorio y es lo suficientemente abierta para agregar nuevos componentes al sistema.

Es importante mencionar que si bien el SCT se ha ido actualizando con el paso del tiempo, no ha ocurrido lo mismo con la cúpula y el espejo secundario. Aunque el SCT mueve la cúpula, ésta no lo hace en coordinación con el telescopio, es necesario que el asistente de observación la mueva frecuentemente para evitar que cubra al espejo primario. En lo que respecta al espejo secundario, se mueve al cerrar un switch durante un intervalo de tiempo, lo que significa que no se tiene control sobre la posición del espejo.

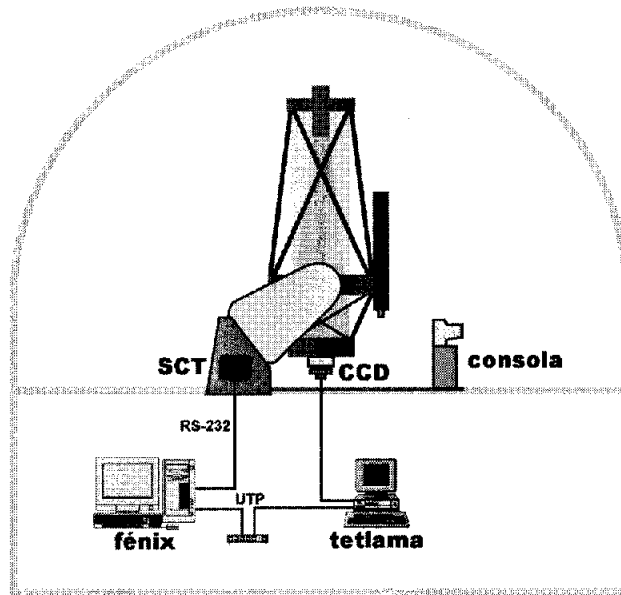
Actualmente la lectura del CCD es muy lenta (8 bits), ya que su electrónica tiene una antigüedad de 8 años. La obtención de una imagen completa le toma al detector alrededor de 10 segundos, tiempo que puede volverse un cuello de botella si los tiempos de exposición son cortos ( $< 5\text{s}$ ), especialmente para enfocar el telescopio.

Debido a que la administración del enlace de red del OAN-T está fuera del alcance de este trabajo, simplemente se asume que el desempeño de la red es el mínimo necesario para que el SOR-T funcione adecuadamente. Lo anterior se traduce en que al menos los retrasos en la red son lo suficientemente pequeños para permitir la entrega de los datagramas TCP.





(a) El telescopio de 1m del OAN-T y la cámara CCD. Los cuadros marcan el SCT (izquierda), la cámara CCD (centro) y la consola de piso (derecha).



(b) Esquema actual de comunicaciones del telescopio de 1 metro

Figura 3.3: El telescopio de 1 metro

### 3.3 El Sistema de Observación Remota del OAN-T

El objetivo fundamental del proyecto Observación Remota es dotar al OAN-T de un sistema que permita la operación remota del telescopio, la adquisición remota de imágenes y establecer un esquema de operación básico para incluir las actualizaciones que se vayan realizando al observatorio. La finalidad última en el largo plazo es robotizar el telescopio de 1 metro.

El proyecto de implementación de un sistema de observación remota en el OAN-T (SOR-T) se inició en 1997. El proyecto ha tenido dos fases: de 1997 a 2003 y de 2003 a la fecha. Durante la primera fase el observatorio se conectó a Internet, a través de un enlace de fibra óptica al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y se demostró la factibilidad del proyecto mediante un esquema muy sencillo que se muestra en la figura 3.4. La interfaz gráfica de la consola (IGC) corría en fénix y se desplegaba remotamente en una computadora ubicada en Ciudad Universitaria, mediante el sistema X Window [SMA<sup>+</sup>00]. Las imágenes se obtenían a través de la invocación de un método remoto de JAVA que arrancaba el PMIS en la computadora tetlama. Una vez obtenida la imagen, se compartía con el paquete Samba<sup>1</sup> a la computadora fénix. La ventana desde la cual se obtenían las imágenes también se desplegaba remotamente en Ciudad Universitaria [ALAMI98]. Esta versión tenía dos grandes inconvenientes: las imágenes se quedaban almacenadas en la computadora del OAN-T, por lo que se dificultaba su manejo y análisis preliminar y, el asistente de cúpula no tenía información de lo que el usuario remoto estaba haciendo excepto lo que le comunicaba verbalmente el observador.

Los programas de la IGC se programaron en lenguaje C y en la parte gráfica se utilizaron los paquetes Tcl/Tk y Embedded Tk. Para la adquisición de imágenes el *Java Developers Kit* versión 1.2.

#### Las Aportaciones del SOR-T al OAN-T

Las actividades del OAN-T giran alrededor de tres ejes: la investigación, la docencia y la divulgación astronómica. En lo que respecta a la investigación el SOR-T se puede utilizar en campañas de observación como en el caso de la supernova SN 1999e1 [CMVP02][RTB03], para hacer mapeos o catálogos de las zonas del cielo observables desde el OAN-T, o bien como laboratorio para probar instrumentos desarrollados (que sean susceptibles de ser operados a distancia) en el IAUNAM. Cabe señalar que en febrero de 2005, el SOR-T se utilizó para obtener imágenes del eclipse de una estrella del cúmulo del trapecio de Orión, que tuvo la particularidad de observarse un poco después de lo que indicaban los cálculos previos (figura 3.5). Es importante mencionar que para realizar algún tipo de trabajo astronómico de mayor alcance, se deberá caracterizar el cielo del OAN-T para cuantificar los efectos de la contaminación luminosa.

La docencia es una de las áreas de mayor potencial del OAN-T, ya que se pueden realizar prácticas a todos los niveles con el telescopio de 1 metro. Desde observaciones sencillas desde una escuela primaria que cuente con una entrada a Internet de banda

---

<sup>1</sup>[www.samba.org](http://www.samba.org)

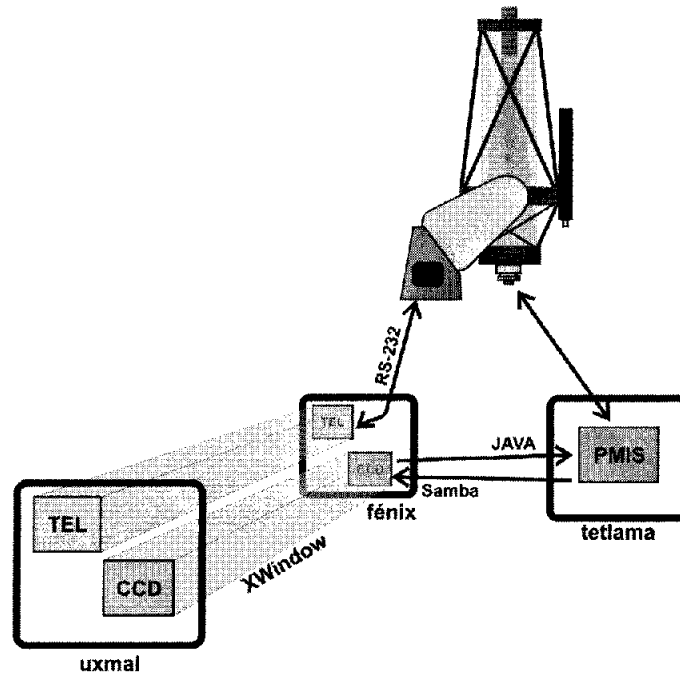


Figura 3.4: Fase 1 del SOR-T. Tel representa la interfaz gráfica de la consola y CCD el software para la adquisición de imágenes.

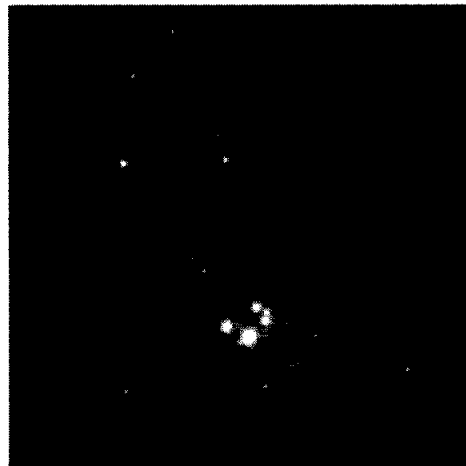


Figura 3.5: Imagen del Trapecio de Orión tomada con el telescopio de 1m en el filtro que permite la captación de luz roja y 0.2 segundos de tiempo de exposición.

ancha, hasta observaciones que requieran de calibración del flujo de los objetos en cursos de posgrado. Estas prácticas pueden incluir tareas específicas como la eliminación de rayos cósmicos, la caracterización de CCDs, entre otras.

Actualmente, el telescopio de 1 metro se utiliza en las visitas guiadas al OAN-T, sin embargo en el caso de la divulgación científica, el SOR-T puede emplearse de muy diversas maneras. Desde simplemente mostrar el telescopio para describir un observatorio astronómico y hacer observaciones sencillas, hasta usarlo como complemento durante las sesiones que traten de algún objeto que se pueda observar con el telescopio.

### 3.4 Los Requerimientos del SOR-T

A continuación se enumeran los requerimientos funcionales para la operación del telescopio y la adquisición de imágenes. Enseguida, se listan los requerimientos no-funcionales para la arquitectura del SOR-T, la operación del telescopio, la adquisición de imágenes, la videoconferencia, la vigilancia del telescopio y la seguridad de la red del OAN-T.

#### Requerimientos Funcionales

- El usuario podrá realizar las siguientes acciones con el telescopio:
  1. Moverlo a la posición de un objeto proporcionando su ascensión recta y declinación.
  2. Desplazar el espejo secundario y ajustar el foco del telescopio.
  3. Hacer movimientos finos del telescopio para posicionar un objeto en el centro del detector. En la IGU local el asistente de observación podrá desactivar la recepción de comandos y cancelar la operación remota del telescopio.
- En lo referente a la adquisición de imágenes:
  1. El sistema permitirá configurar al paquete PMIS para obtener las imágenes astronómicas con las características deseadas como tiempo de exposición, muestreo (*binning*), ganancia y el tamaño la imagen en pixeles.
  2. El usuario contará con un grupo de rutinas para la adquisición de las imágenes astronómicas y las imágenes auxiliares (*bias* y *darks*) que se utilizan durante el procesamiento de las imágenes astronómicas.

#### Requerimientos No-Funcionales

- La arquitectura del SOR-T debe utilizar la infraestructura actual del OAN-T (el SCT, el detector y su software PMIS, etc.) y permitir en el futuro, la integración de los mecanismos que se vayan automatizando.
- Los usuarios local y remoto contarán con una interfaces gráficas de usuario (IGUs) que proporcionarán cada segundo la siguiente información: la hora local, hora sideral del OAN-T, la ascensión recta y declinación del telescopio.

- El asistente de observación tendrá la información de los movimientos que realiza el usuario remoto.
- La computadora que utilice el asistente de observación (fénix) servirá como enrutador para los comandos que se envíen a la consola.
- Las imágenes se obtendrán en formato FITS con un encabezado básico. Por consiguiente, el encabezado de las imágenes no incluirá la información adicional como la hora sidereal, el tiempo de exposición, la ascensión recta, declinación, etcétera.
- El asistente de observación y el observador remoto deberán tener un enlace de videoconferencia que incluya las imágenes de una pequeña cámara durante todo el tiempo que dure la sesión.
- A través de un navegador el usuario remoto accederá al video en tiempo real de la cámara de vigilancia ubicada en el piso del telescopio.
- La red interna del OAN-T deberá contar con un firewall para protegerla de ataques externos e implementar una red privada para contar con más direcciones IP, ya que actualmente se tienen solo dos direcciones IP cedidas por el INAOE.

### 3.5 La Arquitectura del SOR-T

En esta sección se presenta una propuesta de arquitectura para el SOR-T que cumple con los requerimientos mencionados en la sección anterior. Con base en las ideas y sugerencias de N. Medvidovic [MRRR02] y H. Goma [MG00][Gom00], se usa UML como lenguaje para modelar la arquitectura. Se presentan los casos de uso y los diagramas correspondientes a las partes estática y dinámica del sistema. Es importante mencionar que se utiliza UML como lenguaje para modelar la arquitectura, aunque algunos subsistemas del SOR-T como la adquisición de imágenes y la información del observatorio, no fueron diseñados ni implementados con tecnología orientada a objetos.

La propuesta está basada en una división del SOR-T en tres partes que pueden funcionar de manera independiente y que dan origen a diferentes casos de uso (mostrados en la figura 3.6) que no tienen nada en común [Gom00]: la operación del telescopio, la adquisición de imágenes y los elementos adicionales que proporcionan información sobre el observatorio (videoconferencia, cámara de vigilancia, etcétera). Se distinguen dos actores que son el observador y el asistente que auxilia al usuario durante toda la sesión de observación. El observador puede estar en un lugar distante o bien en el mismo OAN-T. Cada uno de estos casos da pie a la creación de los tres subsistemas principales del SOR-T: la operación del telescopio, la adquisición de imágenes y los elementos adicionales. En los capítulos 4, 5 y 6 se detallan las implementaciones de cada subsistema. En términos de la figura 2.5, la arquitectura del SOR-T se ajusta al caso (a).

La arquitectura del SOR-T tiene como objetivo que un usuario pueda realizar las actividades mostradas en el diagrama 3.7. Es la secuencia más común de actividades que realiza un observador: la activación del guiado, el enfoque del telescopio, el posicionado

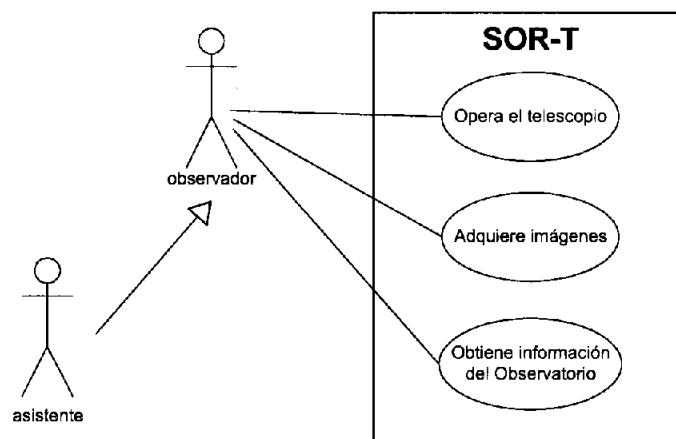


Figura 3.6: Principales casos de uso para el SOR-T.

del telescopio y la adquisición de imágenes. Estas actividades pueden considerarse los estereotipos de actividades que realiza un observador local o remoto. Por supuesto, cada actividad se puede realizar independientemente de la secuencia propuesta en la figura 3.7.

### La Operación del Telescopio

Al cambiarse la antigua computadora fénix con sistema operativo Solaris por una PC con RedHat Linux, se diseñaron e implementaron dos nuevas interfaces de usuario. Una remota con la cual un observador puede manejar a distancia el telescopio. La interfaz local permite mover el telescopio desde el primer piso del edificio (ver figura 3.3(b)) y sirve como puerta de entrada para los comandos provenientes de la interfaz remota. En todo momento el asistente de observación puede cancelar la recepción y el envío de comandos a la interfaz remota y asumir el control del telescopio, desde la interfaz local o la consola del telescopio. La interfaz local reside en la computadora fénix. Con la finalidad de introducir la manera en que interaccionan ambas interfaces, en la figura 3.8 se muestra la secuencia de mensajes entre las interfaces de usuario local (IGU-L) y remota (IGU-R) cuando el usuario remoto envía un comando al SCT.

### La adquisición de Imágenes

Para la adquisición de imágenes se desarrolló un conjunto de rutinas denominado *tonantzintla* dentro del paquete *Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)*, con estas rutinas el observador local puede obtener sus imágenes desde fénix y el usuario remoto desde su computadora. Adicionalmente se implementaron los programas *ACME* e *iraf\_ccdadq\_tcp2*. *ACME* es un programa que corre en la computadora tetlama, su función es recibir el macro enviado por *iraf\_ccdadq\_tcp2* y pasarlo al paquete *PMIS*. Una vez adquirida la imagen, *ACME* envía la imagen a *iraf\_ccdadq\_tcp2*. En la figura 3.9

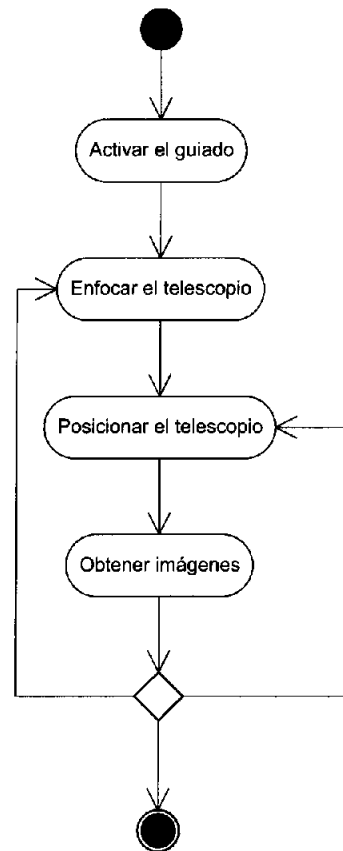


Figura 3.7: Principales actividades a realizar con el SOR-T.

se muestra la secuencia de mensajes que se intercambian entre IRAF, ACME y PMIS. IRAF-R/L representa a los paquetes IRAF que se corren en la computadora remota (IRAF-R) y en la local (IRAF-L).

### Los Elementos Adicionales

En esta categoría se ubican todos los componentes del SOR-T ajenos a la operación del telescopio y la adquisición de imágenes. Para mantener comunicación con el OAN-T durante toda la sesión de observación, se hizo una búsqueda entre los programas de dominio público disponibles y se seleccionó el programa *gnomemeeting*<sup>2</sup>.

Adicionalmente se configuró una computadora como firewall para filtrar la entrada a la red interna del OAN-T. Esta computadora también hace las veces de servidor web a cuyas páginas se agregó la imagen de la cámara de vigilancia para transmisión de video en tiempo real, los reportes del tráfico en las interfaces de red y algunos manuales sobre aspectos básicos de la operación del OAN-T. La idea de esta página es la de desplegar

<sup>2</sup>[www.gnomemeeting.org](http://www.gnomemeeting.org)

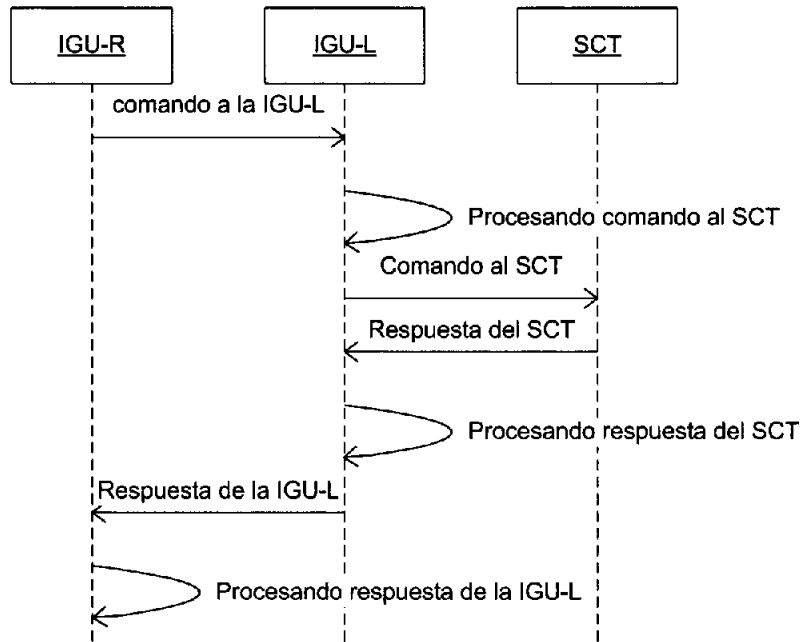


Figura 3.8: Diagrama de secuencia para enviar un comando al SCT desde la IGU-R, como mover el telescopio.

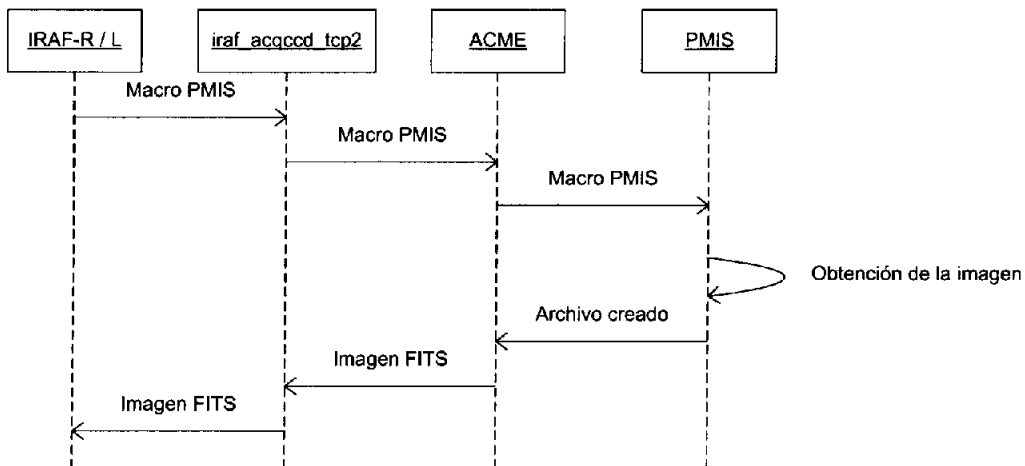


Figura 3.9: Diagrama de secuencia para obtener una imagen.



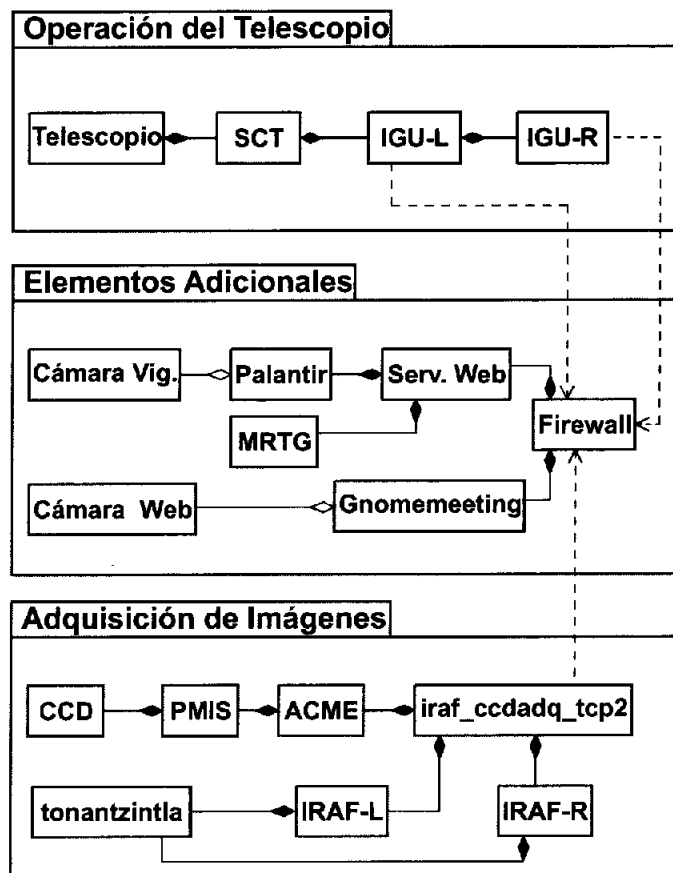


Figura 3.10: Paquetes que forman el SOR-T

toda la información sobre el observatorio sin tener la necesidad de correr las interfaces de usuario. Los datos que se pretenden integrar en el futuro son el estado de la cúpula, su posición, la información meteorológica, las coordenadas del telescopio, posición del espejo secundario, etcétera. En la actualidad la página web únicamente contiene la imagen de la cámara de vigilancia, las estadísticas de tráfico por las interfaces del firewall y algunos manuales básicos.

También se instalaron agentes del protocolo de administración de red *Simple Network Management Protocol* (SNMP) en las computadoras del observatorio para poder tener información acerca de sus condiciones generales como espacio disponible en disco duro, carga de trabajo (*workload*), entre otros. El firewall es el encargado de coleccionar la información y agregarla a la página web. Para coleccionar la información sobre el tráfico de la red, se utiliza el programa de dominio público graficador de tráfico multi-enrutador o *Multi Router Traffic Grapher* (MRTG)<sup>3</sup> en inglés.

<sup>3</sup>[www.mrtg.org](http://www.mrtg.org)

### El Estilo de la Arquitectura del SOR-T

El estilo de la arquitectura del SOR-T es una combinación de los estilos de capas [SG96] y cliente/servidor múltiple [Gom00]. En la figura 3.10 se muestran un diagrama de paquetes con los elementos de cada caso de uso correspondientes al diagrama 3.6. El SOR-T tiene un estilo de capas que puede notarse más fácilmente en el paquete Operación del Telescopio. La IGU-R únicamente interacciona con la IGU-L, ésta a su vez lo hace con la IGU-R (que está en una capa superior) y el SCT. El SCT sólo se comunica con el telescopio y la IGU-L. Como se puede observar en el paquete Adquisición de Imágenes, IRAF-L e IRAF-R dependen del programa `iraf_ccdadq_tcp2`, que a su vez únicamente se comunica con el programa ACME. ACME solo interacciona con PMIS.

La arquitectura también cumple con el estilo cliente/servidor múltiple. En el paquete Operación de Telescopio, Las interfaces IGU-L e IGU-R juegan para ciertos servicios un papel de servidor y en otros el de cliente. Cuando desde la IGU-R se envía un comando al telescopio, la IGU-L hace el papel de servidor. Por otra parte, la IGU-R se convierte en servidor cada vez que la IGU-L le envía la cadena que trae consigo la información referente al estado del telescopio. Para la adquisición de imágenes los programas `iraf_ccdadq_tcp2` y ACME intercambian papeles de cliente y servidor, durante el envío del macro PMIS y la recepción de una imagen.

Debido a que en el futuro se integrarán más instrumentos y sistemas embebidos con microcontroladores, la arquitectura propuesta tiene como restricción el uso de Ethernet y el protocolo TCP/IP. Esto permitirá que cada componente que se agregue al SOR-T estará al alcance tanto de las computadoras locales como de las remotas una vez que se configure el enrutamiento de los paquetes en el firewall. La idea de tener la página web es para agregar y acceder a la información proveniente de estos nuevos componentes sin tener que correr las interfaces de usuario, como pueden ser la información meteorológica del observatorio, el estado y posición de la cúpula, la posición del telescopio, los subsistemas que estén operando y un sensor de nubosidad, entre otros.

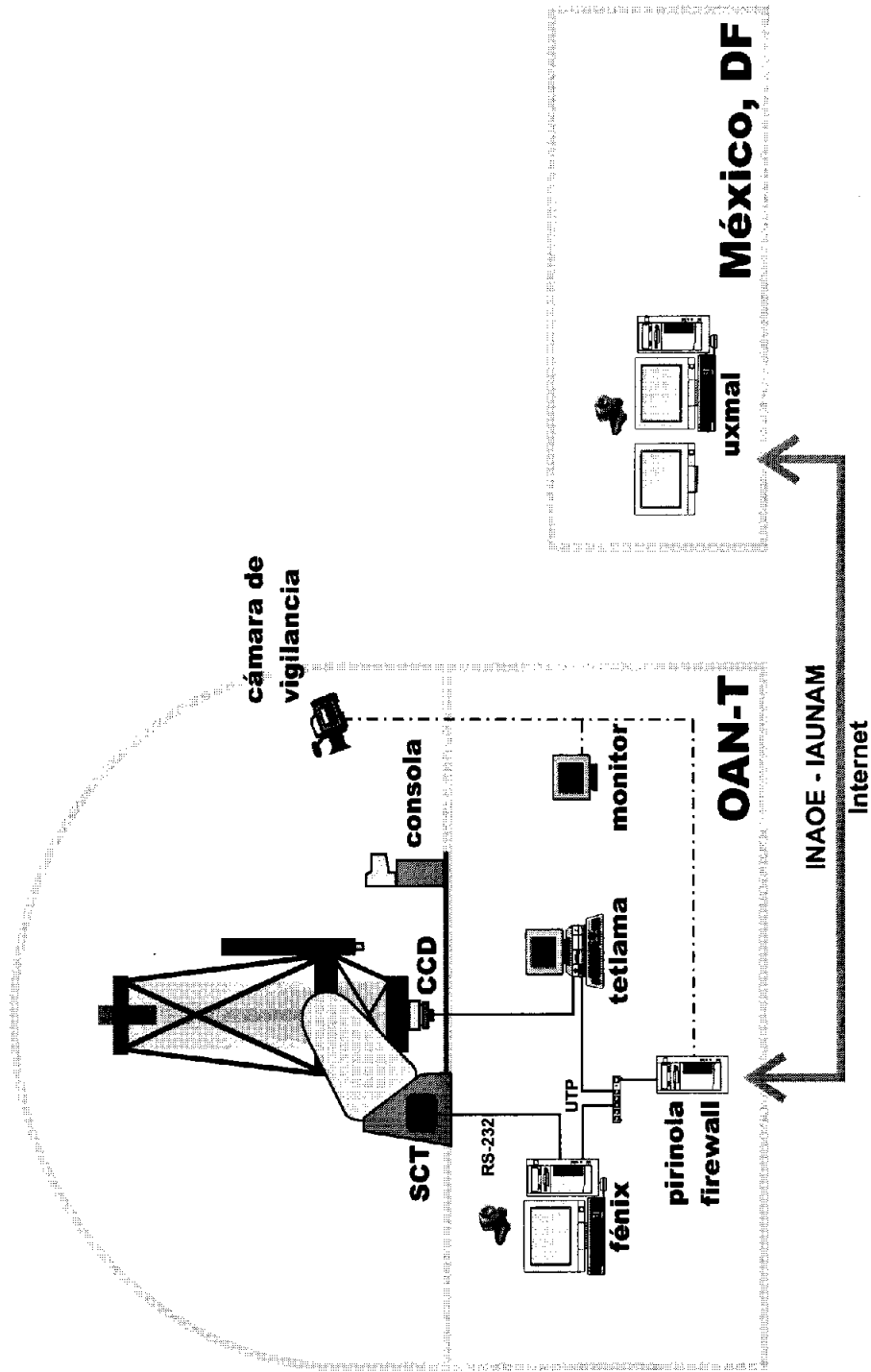


Figura 3.11: Nuevo esquema de hardware para el SOR-T.

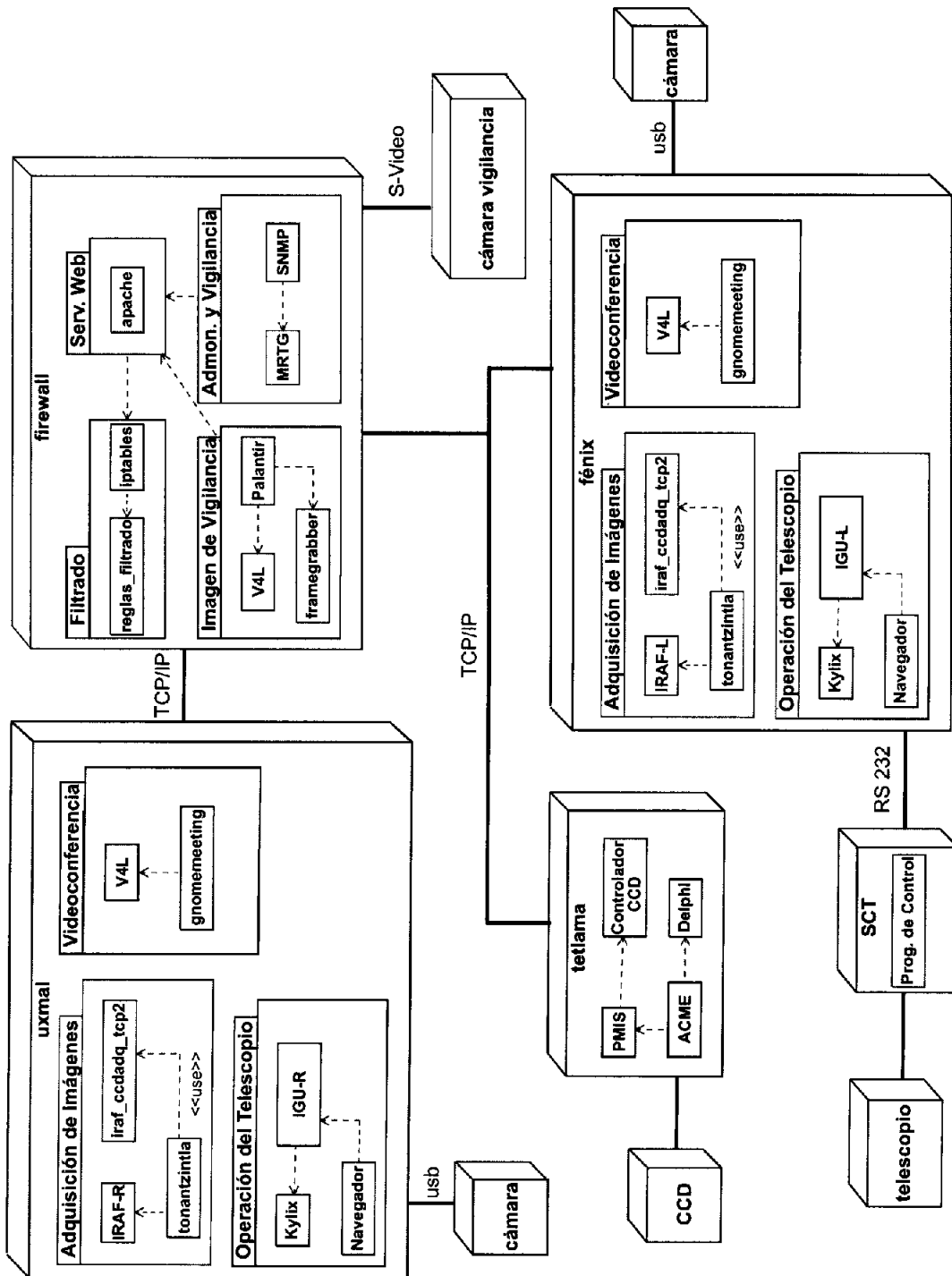


Figura 3.12: Diagrama de emplazamiento del SOR-T.

### 3.6 La Implementación del SOR-T

Para la implementación del nuevo SOR-T se hicieron algunos cambios a la estructura de la red interna del OAN-T. En la figura 3.11 se presentan los cambios realizados (compárese con la figura 3.3(b)). Se agregó la computadora que funciona como firewall (pirinola) y servidor web. Esta misma computadora es la que recibe las imágenes de la cámara de vigilancia y las agrega a la página web local del OAN-T. Se cambió la computadora fénix y se agregó la computadora uxmal, ambas tienen el sistema operativo Linux RedHat. En fénix se corren la IGU-L, gnomemeeting, IRAF-L e iraf\_ccdadq\_tcp2. En uxmal se corren la IGU-R, gnomemeeting, IRAF-R e iraf\_ccdadq\_tcp2. En tetlama se corren ACME y PMIS.

En la figura 3.12 se muestra un diagrama de emplazamiento con todos los componentes involucrados en la implementación del SOR-T mencionados en las secciones anteriores. Uxmal es la computadora ubicada en Ciudad Universitaria que actualmente se utiliza para el SOR-T. Las cámaras conectadas por usb son las de videoconferencia y la cámara con enlace S-Video es la de vigilancia ubicada en el piso del telescopio. Kylix y Delphi son ambientes integrados de desarrollo producidos por la compañía Borland que se utilizaron en la programación de las interfaces de usuario del telescopio y el programa ACME, respectivamente. En la figura 3.13 se muestra una imagen del monitor de una computadora con las ventanas del SOR-T.

#### La Evolución del SOR-T

En la actualidad están apareciendo en el mercado un gran número de módulos basados en microcontroladores que traen consigo un controlador Ethernet, de modo que los desarrollos embebidos puedan hacerse accesibles a través de TCP/IP y por ende susceptibles de integrarse a Internet. En el caso del telescopio de 1m del OAN-T hay un buen número de componentes que deben automatizarse todavía (se pueden mencionar la apertura de la cortina de la cúpula, el encendido y apagado de las luces, el iris del telescopio, la tapa de protección del buscador, etcétera) y una opción es utilizar este tipo de microcontroladores.

Estos módulos utilizan variantes (adaptadas por cada fabricante) de una versión reducida del conjunto de protocolos TCP/IP denominada uIP desarrollada por Adam Dunkels<sup>4</sup> cuyo código únicamente ocupa 6Kb y maneja los protocolos TCP, UDP, ICMP y HTTP. Incluso es posible implementar en ellas una página web desde la cual se pueden operar los dispositivos que controlan. La página web que se encuentra en la dirección IP 193.10.67.150 es una demostración en vivo de uIP.

En la figura 3.14 se muestra una imagen del EasyWeb3 fabricado por la compañía Olimex<sup>5</sup> basado en un microcontrolador MSP430F149 de Texas Instruments con un controlador de red CS8900A marca Cirrus Logic.

---

<sup>4</sup>[www.sics.se/~adam/uip/](http://www.sics.se/~adam/uip/)

<sup>5</sup>[www.olimex.com](http://www.olimex.com)

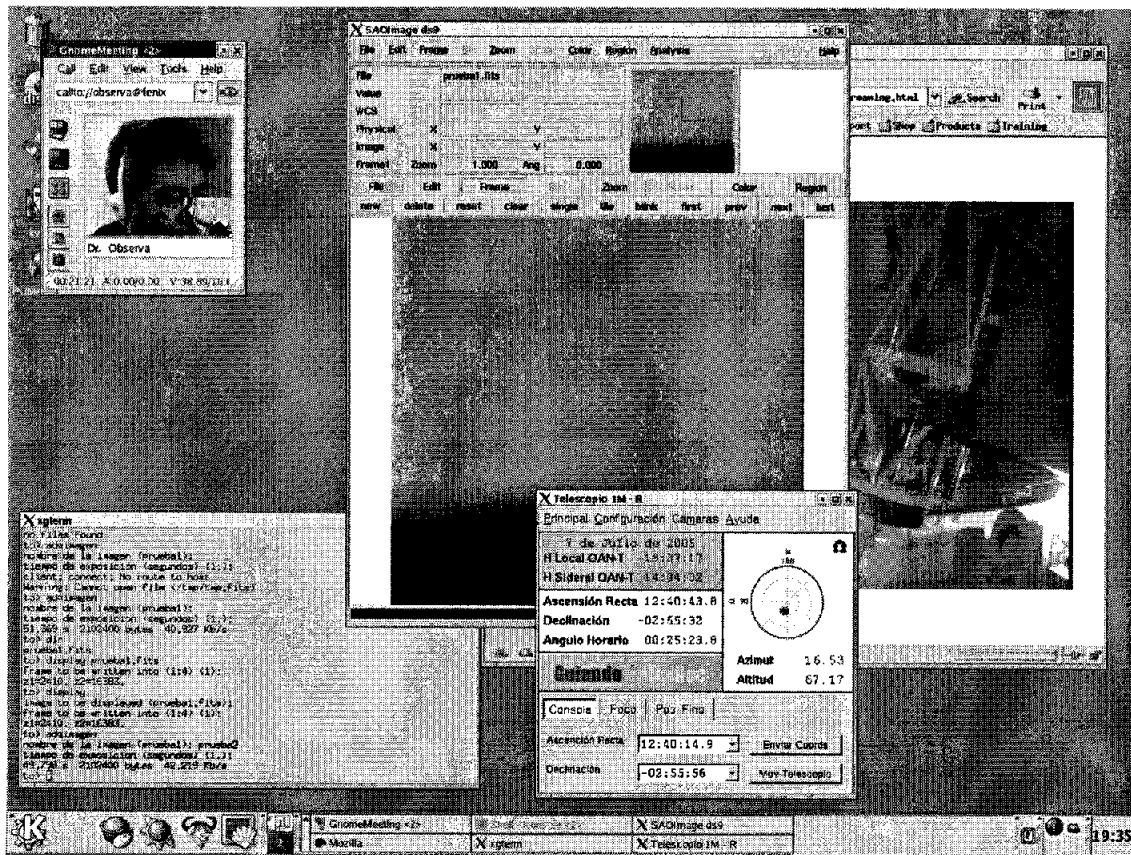


Figura 3.13: Imagen del monitor con las ventanas de los programas para operar el telescopio, adquirir imágenes y comunicación con el OAN-T.

### 3.7 Ventajas y Desventajas de la Arquitectura Propuesta

Por la manera en que está construido el SOR-T, es posible hacer una división de las ventajas y desventajas en dos partes: las globales que se aplican tanto a la operación local como la remota del telescopio, y las particulares, ya que cada modo de operación está sujeto a diferentes factores que afectan su rendimiento y por ende sus fortalezas y debilidades. Sin embargo en las listas que siguen los puntos se enumeran sin hacer la distinción.

Entre las ventajas más importantes de la arquitectura del SOR-T, se encuentran las siguientes:

- Integra todo el hardware automatizado con que cuenta actualmente el OAN-T, a excepción de la cúpula, cuyo automatización implica bastante trabajo mecánico y de control que está fuera del alcance del SOR-T. Si en las futuras actualizaciones

de mecanismos del telescopio se respeta la condición de utilizar interfaces Ethernet y el protocolo TCP/IP, la inclusión de aquellos al SOR-T será más fácil.

- Se tiene la misma funcionalidad en la operación local y la remota del telescopio, ya en la práctica tienen la misma interfaz. Cabe recordar que la IGU-L es una extensión de la consola del SCT.
- En lo que respecta a la adquisición de imágenes, puesto que ACME es solo un traductor de protocolos TCP/IP ↔ DDE, se tiene toda la funcionalidad del PMIS como si se estuviera en la misma computadora tetlama. Hay que considerar que no todas las funciones del PMIS están disponibles para este modo de operación. Un ejemplo importante de lo anterior, es el caso del enfoque del telescopio. En el modo de foco, el PMIS lee rápidamente una parte del detector en la que se encuentra una estrella para observar las deformaciones inducidas por el desenfoque. Este modo de operación únicamente está disponible desde la interfaz gráfica de usuario de PMIS.
- Al utilizar Internet como medio para tener un enlace de audio y video, se reducen drásticamente los costos por llamadas telefónicas.
- La parte remota del software es fácil de instalar, únicamente se requieren los archivos ejecutables y las bibliotecas de Kylix e IRAF.
- Al utilizar Ethernet y TCP/IP como interfaces, se pueden integrar computadoras de diferentes arquitecturas y sistemas operativos.

Entre las desventajas más importantes se encuentran las siguientes:

- En el transcurso de este trabajo se ha considerado que la conexión entre el sitio remoto y el OAN-T es estable y ofrece los servicios con la calidad requerida; sin ser propiamente una desventaja, es un factor que puede degradar seriamente el desempeño del SOR-T, por utilizar redes públicas que en ocasiones tienen un alto grado de saturación. En las últimas secciones de los capítulos 4 y 5 se discute brevemente el desempeño del SOR-T.
- Debido a que no es posible utilizar el paquete PMIS en su modo interactivo para enfocar el telescopio y debe hacerse como si se adquiriera una imagen cada vez que se desplaza el espejo secundario, el enfoque es un proceso muy lento, aunque esto depende mayormente de las limitaciones del PMIS y no precisamente del SOR-T.
- Si en el futuro se agregan muchos componentes nuevos al SOR-T, aún cuando mantengan la restricción de usar Ethernet y TCP/IP, existe el riesgo de pulverizar el control de todos los componentes. En ese caso habría que incluir otro tipo de arquitecturas de computadoras con ductos como el VME para integrar sistemas que tengan algún tipo de relación.

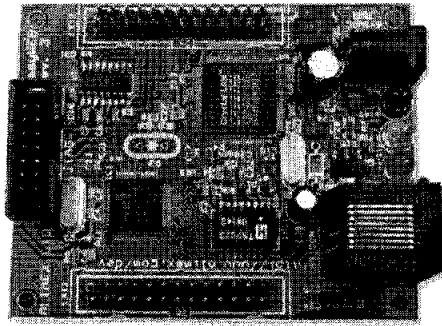


Figura 3.14: Sistema de desarrollo Easyweb3 fabricado por la compañía Olimex que incluye un microprocesador MSP430 y un controlador de red que puede manejar una versión reducida de TCP/IP conocida como uIP.

- En el caso del modo remoto, dependiendo del número de aplicaciones que esté corriendo el usuario en su computadora (un navegador, lectura del correo, análisis de otras imágenes, etcétera), al tener muchas ventanas abiertas hacen al usuario más propenso a los errores.



## Capítulo 4

# La Operación del Telescopio

### 4.1 Introducción

Una vez esbozado el SOR-T en el capítulo anterior, en éste se presenta el subsistema para operar el telescopio mencionado en el capítulo anterior. En la primera sección se describe la manera en que funcionan las interfaces de usuario, en la segunda se listan los casos de uso. En las restantes se hace referencia al diseño e implementación de las interfaces local y remota.

### 4.2 El Funcionamiento de las Interfaces de Usuario

Hasta antes del inicio del proyecto Observación Remota, el telescopio se operaba desde la consola del SCT (ver figura 3.3(a)). En la segunda fase del proyecto Observación Remota, se desarrolló una interfaz de usuario local (IGU-L) para la consola del telescopio que permitiese la operación del mismo desde una de las oficinas ubicada en la planta baja del edificio y adicionalmente se hizo el cambio de la vieja computadora por una más reciente y con mayor capacidad. La IGU-L implementa los mismos casos de uso (mencionados más adelante) que la consola del SCT, por lo que puede considerarse una extensión de ésta. Para lograr lo anterior, el programa de control del SCT fue modificado para que recibiera comandos de la IGU-L y enviara los datos requeridos a través de un puerto RS-232. La IGU-L es también la puerta de entrada para los comandos provenientes de la interfaz remota.

Se implementó una interfaz de usuario remota (IGU-R) mediante la cual un usuario puede operar a distancia el telescopio. En este caso, la IGU-R envía las instrucciones a través de un *socket* TCP a la IGU-L que a su vez las procesa y retransmite al SCT.

Ambas interfaces funcionan de manera coordinada de tal modo que cada acción realizada se refleja en la otra. Por ejemplo, si desde la IGU-R se envían coordenadas al SCT, la IGU-L actualiza los campos de la interfaz y posteriormente manda las coordenadas al SCT (figura 4.1). De manera análoga, si el asistente es quien introduce las coordenadas,

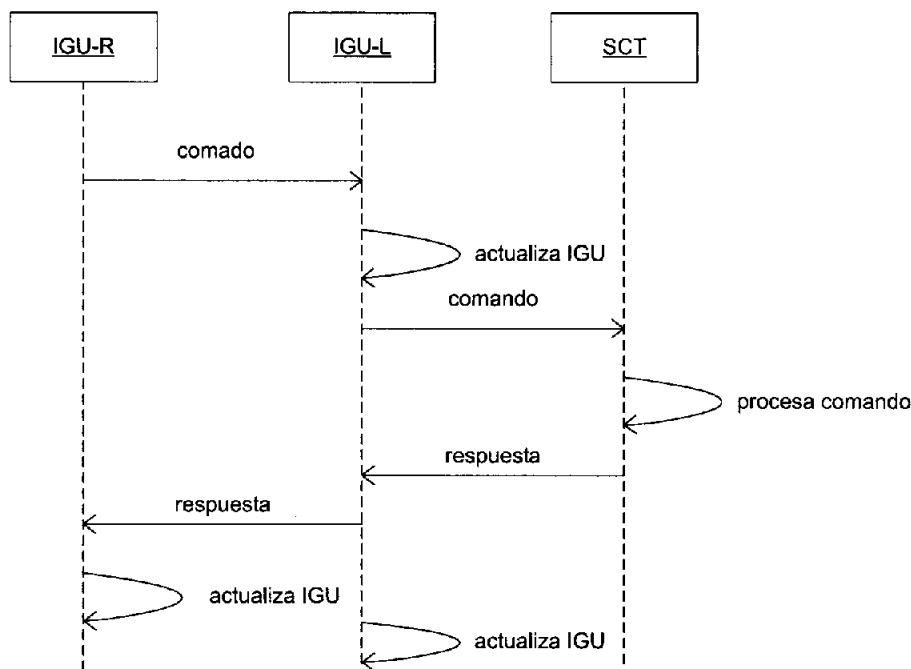


Figura 4.1: Diagrama de secuencia en el que la IGU-R inicia enviando un comando a la IGU-L.

antes de que la IGU-L pase las coordenadas al SCT, envía a la IGU-R las coordenadas para que actualice los campos correspondientes (figura 4.2).

Adicionalmente, cada segundo, la IGU-L obtiene del SCT las coordenadas del telescopio (ángulo horario, ascensión recta, declinación, etc.) y calcula el tiempo sidereal, para enviar en una sola cadena toda la información a la IGU-R a través de un socket UDP (figura 4.3). En este caso se utiliza el protocolo UDP porque no se requiere que la IGU-R reciba estrictamente las coordenadas cada segundo, además de simplificar la programación.

En la figura 4.4 se muestran los casos de uso del usuario local (las del usuario remoto son análogas) para la operación del telescopio. Existe el usuario especializado asistente de observación, que puede realizar la tarea adicional de abrir y cerrar el enlace entre las interfaces, con esto, desde la IGU-L se bloquea la recepción de comandos y el envío de las coordenadas del telescopio. Este bloqueo solo cierra el socket impidiendo la recepción de comandos por el puerto TCP, el firewall se asegura de dar permisos de paso a los paquetes que provengan de las direcciones IP que pueden acceder al telescopio.

### 4.3 Descripción de los Casos de Uso

A continuación se detallan los siguientes casos de uso: envía coordenadas, activa el guiado, mueve el telescopio, enfoca y abrir el enlace.

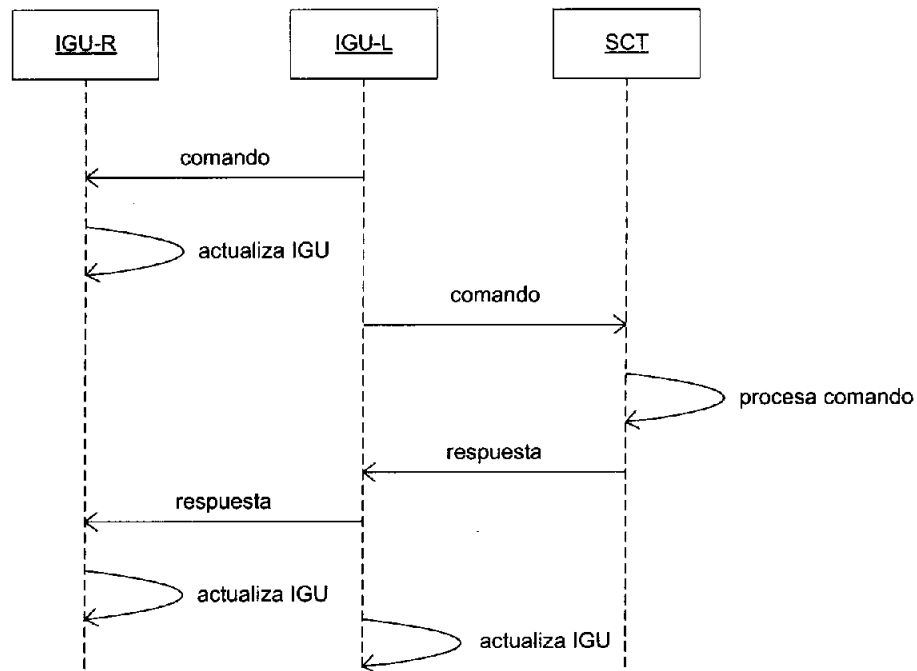


Figura 4.2: Diagrama de secuencia en el que la IGU-L inicia enviando un comando a la IGU-R.

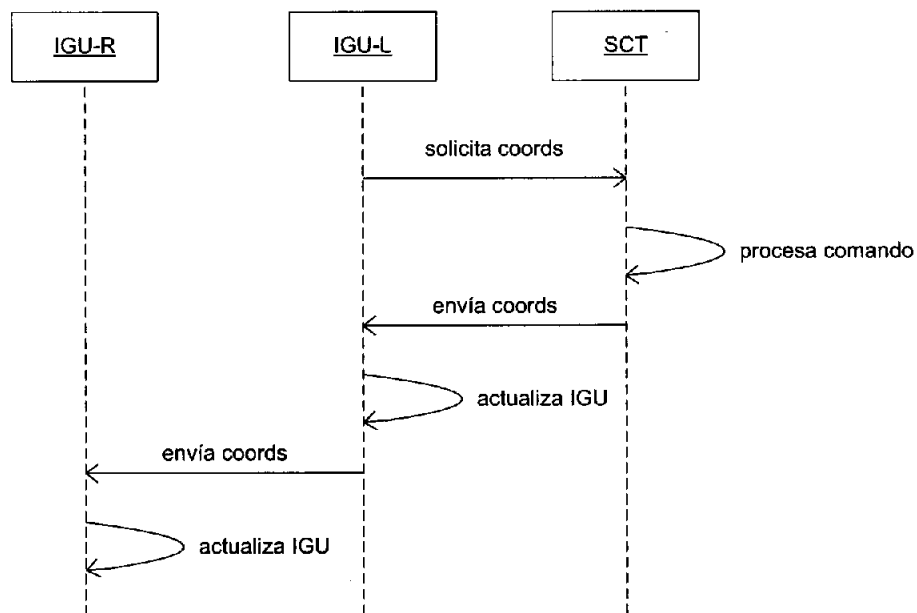


Figura 4.3: Diagrama de secuencia del procedimiento para actualizar las coordenadas de las interfaces.

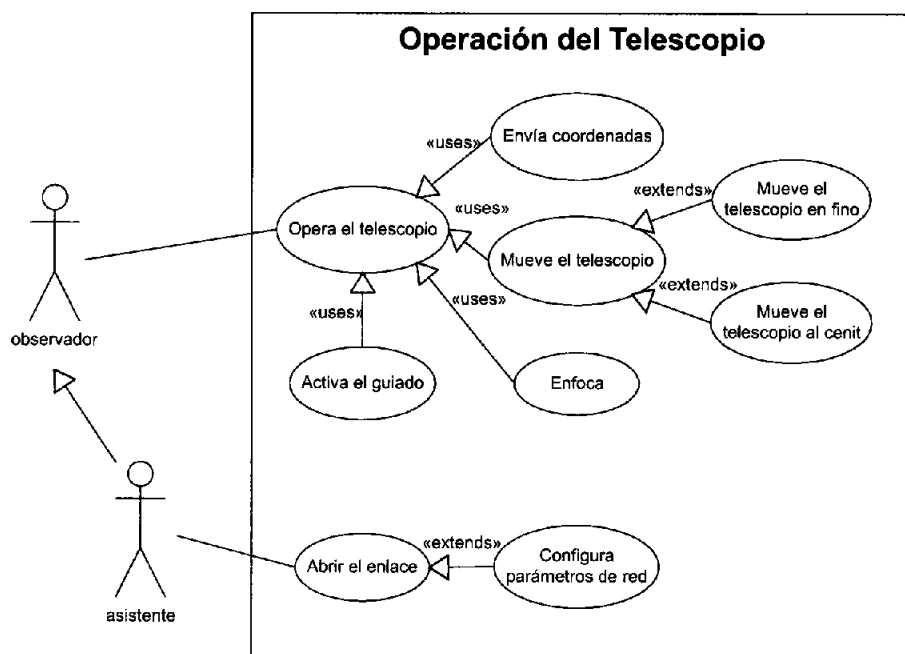


Figura 4.4: Casos de uso para la operación del telescopio

- **Caso de Uso: Envía coordenadas**

- **Actor:** observador
- **Resumen:** describe la introducción de las coordenadas a las que se moverá el telescopio.
- **Precondición:** debe estar activado el modo remoto en el SCT.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador introduce la coordenada de ascensión recta con el siguiente formato: **ab:cd:ef.g** donde cada letra indica un dígito.
  2. El observador introduce la coordenada de declinación con el siguiente formato: **±ab:cd:ef** donde cada letra indica un dígito. Aunque la coordenada sea positiva, debe llevar el signo +.
  3. El observador debe dar un clic sobre el botón **Enviar Coords.**
  4. La IGU-L se inhabilita para evitar la introducción de algún otro dato o clic en otro botón.
  5. La IGU-L valida las coordenadas y las envía al SCT.
  6. Recibida la confirmación de la recepción de las coordenadas, se habilita nuevamente la IGU-L.

- **Caso de Uso: Activa el guiado**

- **Actor:** observador
- **Resumen:** describe la activación de la opción de guiado del telescopio.
- **Precondición:** debe estar activado el modo remoto en el SCT.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador selecciona la opción **Principal** → **Activar guiado**.
  2. La IGU-L se inhabilita para evitar la introducción de algún otro dato o clic en otro botón.
  3. Recibida la confirmación de la recepción del comando, se habilita nuevamente la IGU-L.

- **Caso de Uso:** Mueve el telescopio

- **Actor:** observador
- **Resumen:** describe el posicionamiento del telescopio
- **Precondición:** debe estar activado el modo remoto en el SCT y haberse enviado las coordenadas.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador da un clic sobre el botón **Mov Telescopio**.
  2. La IGU-L se inhabilita para evitar la introducción de algún otro dato o clic en otro botón.
  3. El sistema despliega una ventana de diálogo previniendo al usuario de que la plataforma del telescopio esté abajo.
  4. La IGU-L recibe y despliega la posición del telescopio conforme se va desplazando.
  5. Recibida la confirmación de la terminación del comando, se habilita nuevamente la IGU-L.

- **Caso de Uso:** Enfoca

- **Actor:** observador
- **Resumen:** describe el posicionamiento del espejo secundario
- **Precondición:** debe estar activado el modo remoto en el SCT y el telescopio apuntando a una estrella.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador da un clic sobre la pestaña **Foco**.
  2. El observador debe seleccionar el sentido de desplazamiento del espejo con la fecha.
  3. El observador debe dar un clic sobre alguno de los botones que indican el tiempo que debe estar encendido el motor que mueve al espejo secundario.

4. La IGU-L se inhabilita para evitar la introducción de algún otro dato o clic en otro botón.
5. Recibida la confirmación de la terminación del comando, se habilita nuevamente la IGU-L.

- **Caso de Uso:** Abrir el enlace

- **Actor:** asistente
- **Resumen:** describe la activación de los sockets para la recepción de comandos remotos.
- **Precondición:** debe estar activado el modo remoto en el SCT.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El asistente abre la ventana de configuración de los parámetros de red en **Configuración** → **Red**.
  2. El asistente debe verificar la dirección IP del cliente y los puertos TCP y UDP.
  3. El asistente selecciona la opción **Configuración** → **Abrir Enlace**.
  4. El sistema bloqueará la IGU-L mientras trata de conectarse al servidor TCP del cliente.
  5. Hecha la conexión, se termina ésta y se desbloquea la IGU-L.

## 4.4 La Interfaz Gráfica de Usuario Local

Debe mencionarse que la consola del SCT tiene mayor prioridad que la IGU-L. Cuando un usuario accede a la consola, se envía un mensaje a la IGU-L indicando que el telescopio está siendo operado desde la plataforma. Acto seguido, la IGU-L despliega una ventana de diálogo con un mensaje para el usuario y se inhabilita con el fin de impedir el envío de comandos al SCT y generar alguna situación que comprometa la seguridad del telescopio. Si la recepción de comandos remotos está habilitada, la IGU-L envía un mensaje a la IGU-R para que a su vez despliegue su ventana de diálogo y se inhabilite. Cuando la consola deja de ser operada y regresa al modo remoto, envía otro mensaje a la IGU-L para que se habilite nuevamente y ésta lo envía a la IGU-R para que haga lo propio.

### 4.4.1 La Implementación de la IGU-L

Los componentes involucrados en la implementación de las interfaces de usuario se muestran en la figura 4.5. En la parte local se tienen el código fuente de la IGU-L, Kylix que es el ambiente de programación en el cual se desarrolló la interfaz y el navegador para acceder a la información del observatorio. En el firewall se requieren el módulo *iptables* que se inserta en el núcleo de Linux y, las reglas de filtrado y enrutamiento para que los paquetes recibidos por el firewall en los puertos TCP adecuados lleguen a la IGU-L. Es

también el firewall, el encargado de obtener las imágenes de la cámara de vigilancia y depositarlas en una página web.

Kylix es un ambiente integrado de desarrollo orientado a objetos para la implementación de aplicaciones gráficas en Linux. Utiliza Object Pascal y C++ como lenguajes de programación. Se decidió escoger Kylix porque haciendo los cambios convenientes, prácticamente el mismo código puede ser utilizado para portar la misma aplicación a Windows, mediante Delphi que es otro ambiente integrado de desarrollo producido por la compañía Borland.

Las clases más importantes de la IGU-L se muestran en la figura 4.6. En este diagrama se omitieron una gran cantidad de clases que se pueden considerar menos importantes: los botones, el menú, los elementos del menú, entre otros. `TForm1` es la clase de la ventana principal (ver figura 4.10) en incluye todos los componentes gráficos de la interfaz como los botones, etiquetas, espacios de texto, etcétera. `TTelescopio` es una clase que simula al telescopio, de tal manera que cuando el usuario da un clic sobre cualquier componente de la IGU-L, este evento se asocia a un método de `TTelescopio`. Durante el arranque de la IGU-L, se corren varios hilos de control (HC) (*threads*) con instancias de las clases `TFechaHoraThread` y `TActualizaCoordsThread`.

`TCriticalSection` es una clase que se utiliza para resolver el problema de exclusión mutua entre los HCs sobre el puerto serie que comunica con el SCT y `TSPort` es la clase que encapsula todas la funciones del puerto serie.

Las clases `TMoverTelescopioThread` y `TMoverTelescopioCenitThread` son los HCs que se arrancan cuando se mueve el telescopio a una posición distinta del cenit y al cenit, respectivamente. Además de enviar los comandos de movimiento al SCT, capturan los datos provenientes de éste y los despliegan en la IGU-L.

`TFechaHoraThread` es la clase que toma la hora local de la computadora, calcula la hora sideral para el OAN-T y se sincroniza con el hilo de control de `TForm1` para desplegar los datos. El HC `TFechaHoraThread` corre permanentemente, haciendo una pausa de un segundo. En la figura 4.7 se muestra su diagrama de estados.

El HC `TActualizaCoordsThread` corre permanentemente, haciendo una pausa de un segundo. Envía un comando al SCT que tiene como respuesta una cadena con todos los datos acerca de la posición del telescopio (ascensión recta, declinación, ángulo horario, azimut y elevación) y se sincroniza con el HC del `TForm1` para desplegar los datos. Con el fin de garantizar la exclusión mutua sobre el puerto serie durante el proceso, esta clase hace uso de `TCriticalSection`. En la figura 4.8 se muestra la secuencia de estados de la clase `TActualizaCoordsThread`. Al igual que en la clase `TFechaHoraThread`, incluye la sincronización con `TForm1` para el despliegue de los resultados.

La clase `TOKBottomDlg` es la clase de la ventana de diálogo para la configuración de los parámetros de red, tales como la dirección IP de la computadora en la que reside la IGU-R y los puertos TCP por los cuales se enviarán los comandos. Las clases `TIdTCPClient`, `TIdTCPClient` y `TIdUDPCClient` son las que se encargan de recibir los comandos que van al telescopio, enviar a la IGU-R los comandos que ha enviado la IGU-L al SCT y los datos obtenidos por el HC `TActualizaCoordsThread`.

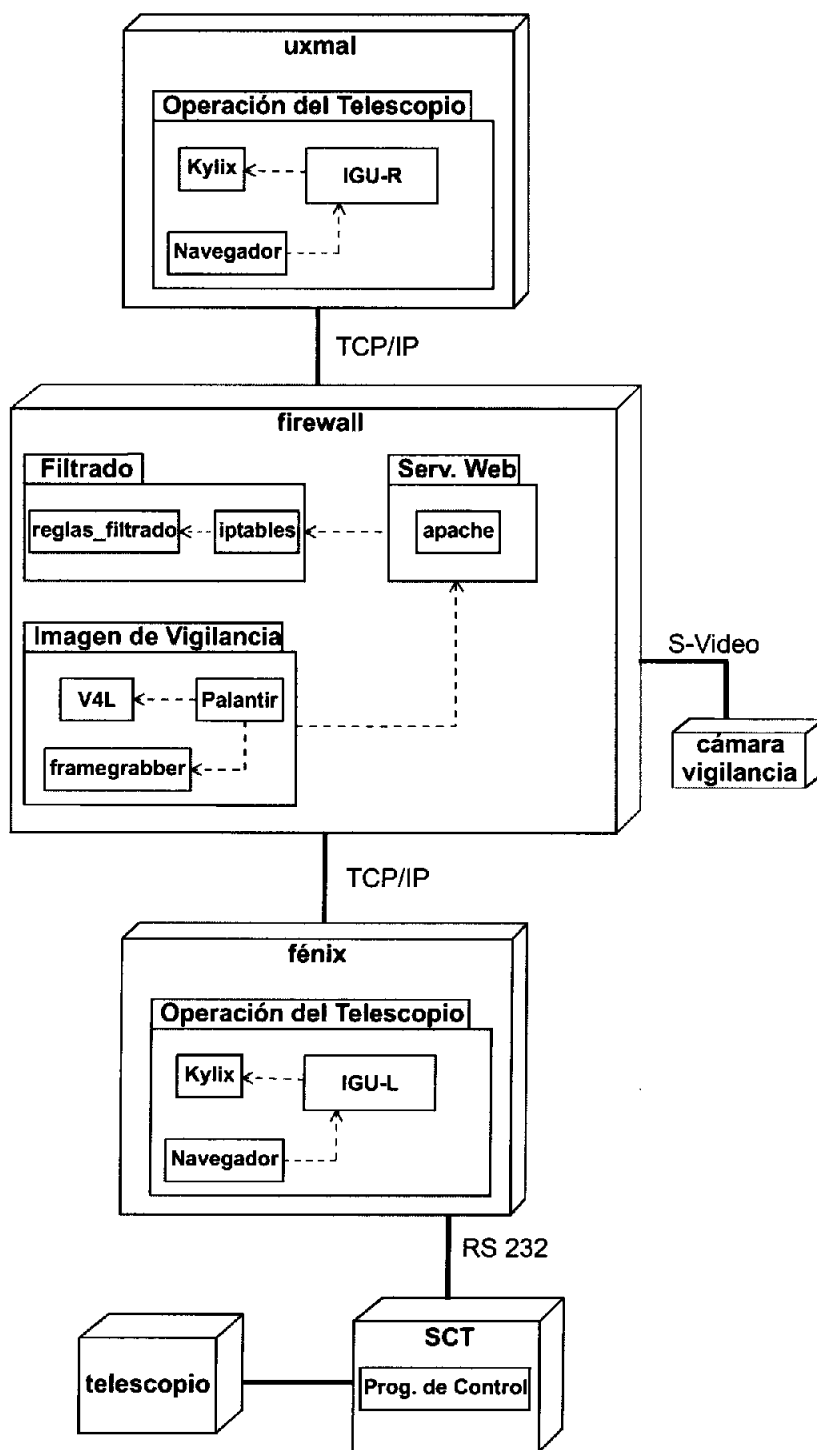


Figura 4.5: Paquetes que integran el software relacionado con las interfaces de usuario





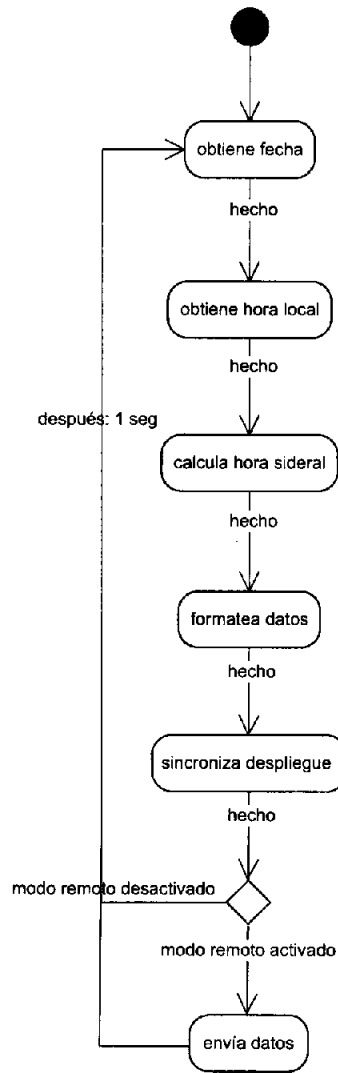


Figura 4.7: Diagrama de estados del HC TFechaHoraThread.

La clase `TLectEscrThread` es la clase que se encarga de enviar los comandos sencillos como activar el guiado o desplazar el espejo secundario, a los cuales el SCT responde con una cadena indicando que la acción se realizó o enviando la información solicitada.

En la figura 4.9 se muestra un diagrama de estados con la secuencia de arranque de la IGU-L y los puntos en los que se inician los diferentes HCs.

## 4.5 Descripción de la IGU-L

La ventana principal de la IGU-L se exhibe en la figura 4.10. En el rectángulo marcado con la letra **A** se despliegan la fecha, hora local y el tiempo sidereal para el OAN-T. Como

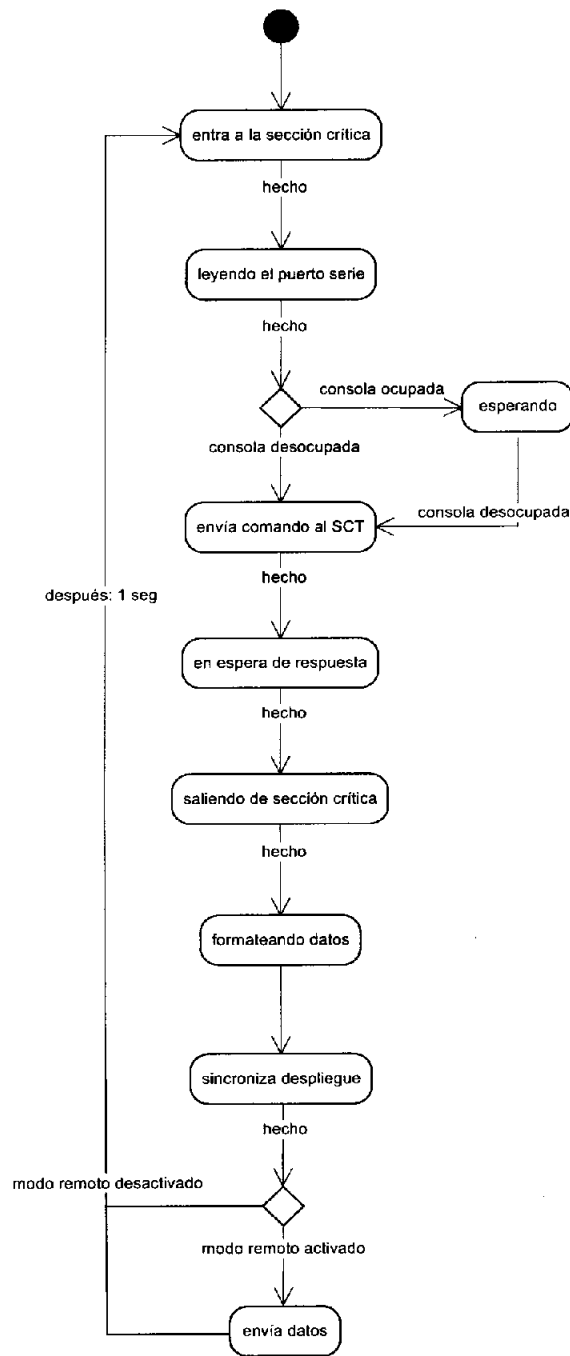


Figura 4.8: Diagrama de estados de la HC TActualizaCoordsThread.

ya se mencionó anteriormente, estos datos son proporcionados por una instancia de la clase TFechaHoraThread.

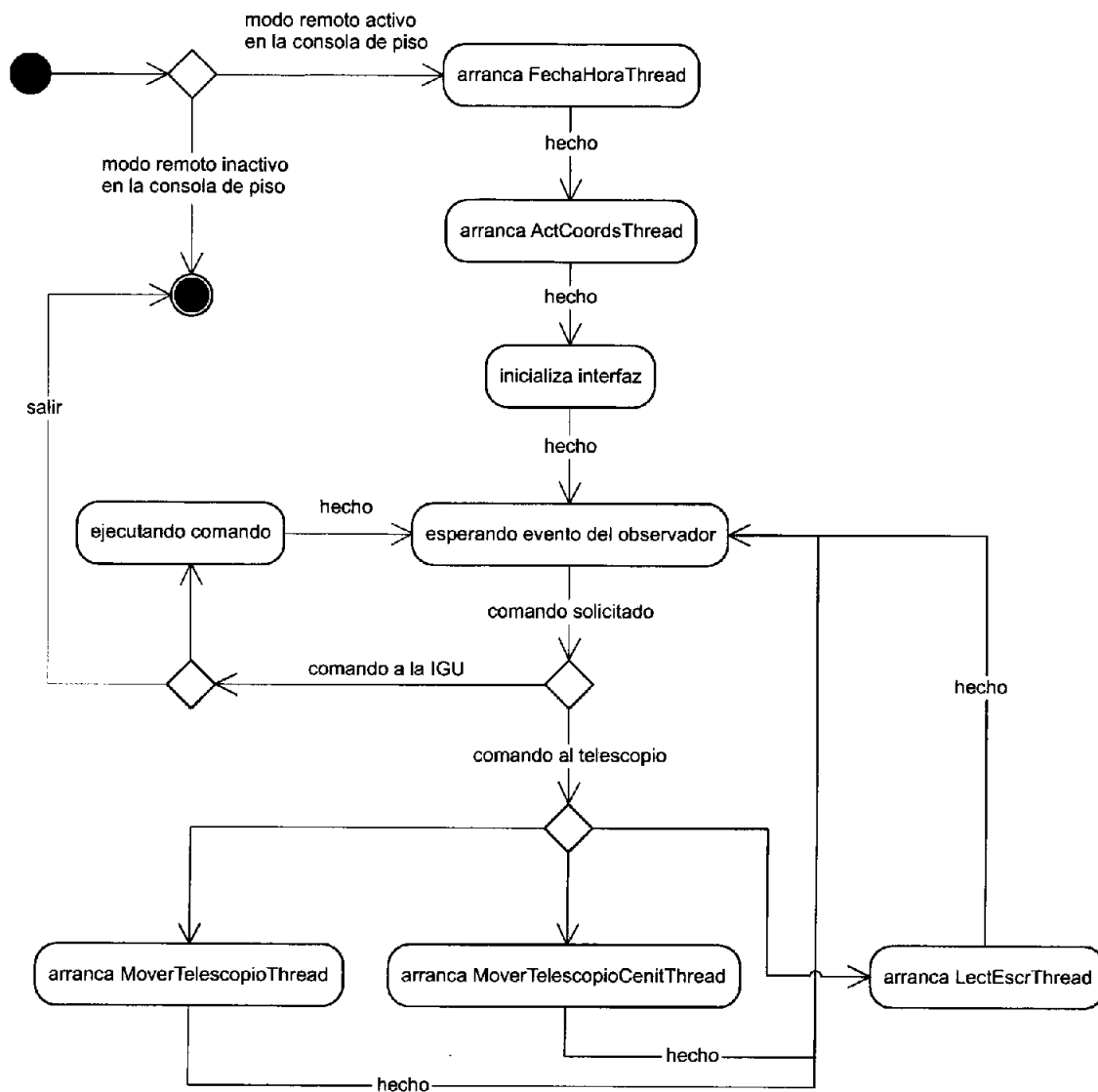


Figura 4.9: Diagrama de estados de la IGU-L

En la sección marcada con la letra **B** están los datos colectados por la clase `TActualizaCoordsThread`: ascensión recta, declinación y ángulo horario del telescopio, así como los datos de azimut y altitud que se pueden observar en **C**. A partir de estos datos, se construye la gráfica de **C** en la que se indica la posición del telescopio en la cúpula, visto desde la parte superior de ésta, hacia abajo. El ícono ubicado en la parte superior derecha de **C** se cambia de estado cuando se activa la recepción de comandos remotos.

Las etiquetas de la sección **D** le indican al usuario si el telescopio está guiando (letrero en rojo) y si el monitor de la consola del SCT está encendido o apagado (modo nocturno).

En la parte **E** se despliegan los botones y espacios de texto relacionados con la introducción de coordenadas, el foco (figura 4.10(b)) y el posicionamiento fino (figura 4.10(c)).

En el menú principal, el submenú **Principal** contiene algunos comandos importantes como la activación/desactivación del guiado, mover el telescopio al cenit y la salida del programa. **Configuración** incluye los comandos para configurar los parámetros de red como los puertos por los que se reciben y envían las cadenas a la IGU-R, y la activación del modo remoto del SOR-T. En **Ayuda** se encuentra el comando para desplegar los límites de movimiento del telescopio para la ascensión recta y declinación actuales.

## 4.6 La Operación Remota del Telescopio

La operación remota del telescopio se hace de manera idéntica al modo local, de hecho el usuario remoto cuenta con una interfaz muy parecida a la del usuario local, excepto por tres detalles: no tiene la posibilidad de abrir el enlace en la IGU-L para la recepción de comandos remotos, el ícono que indica un enlace activo con la IGU-L es ligeramente distinto y se tiene una opción en el menú para abrir un navegador que despliegue la imagen de la cámara de vigilancia. En la figura 4.11 se muestra la ventana principal de la interfaz del usuario remoto.

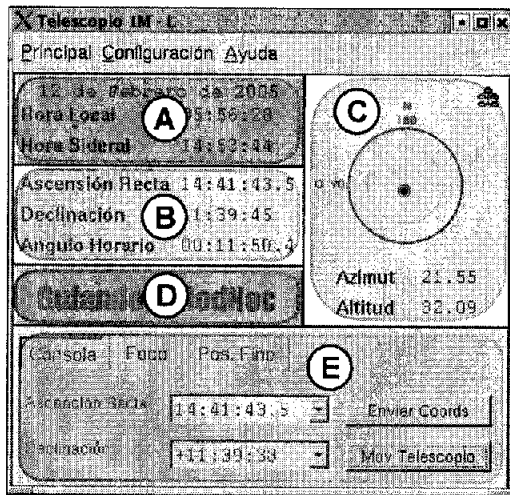
La IGU-R cuenta con los espacios para el despliegue de la fecha, hora y tiempo sidereal del OAN-T; de las coordenadas del telescopio tanto astronómicas (ascensión recta, declinación) como instrumentales (azimut y elevación) y los correspondientes a la introducción de coordenadas, enfoque y posicionamiento fino.

### 4.6.1 La Implementación de la IGU-R

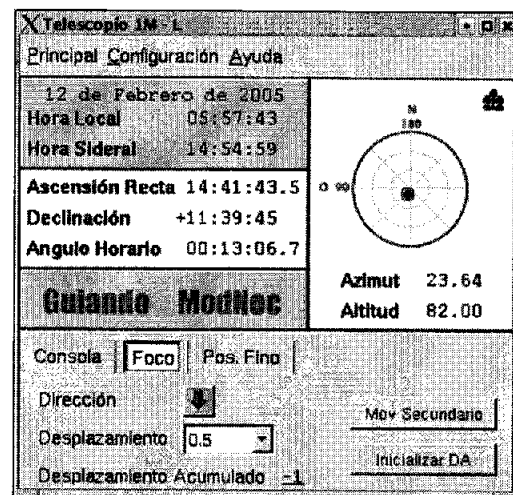
A diferencia de la IGU-L, la interfaz remota solamente realiza la verificación del formato de coordenadas de ascensión recta y declinación. Tiene solo tres HCs, el que despliega la forma principal, el servidor TCP y un servidor UDP. La figura 4.12 es el diagrama de clases de la IGU-R, al igual que en el caso de la IGU-L, se han omitido un buen número de clases como los botones, las etiquetas, el menú, etcétera.

TForm1 es la clase de la ventana principal, TIdUDPServer es la clase que se encarga de recibir los datos provenientes de la clase TActualizaCoordsThread de la IGU-L (ascensión recta, declinación, hora sidereal del OAN-T, etcétera), a través de un socket UDP y desplegarlos en los campos correspondientes. TIdTCPClient es el HC que se encarga de recibir los comandos que serán enviados al SCT desde la IGU-L mediante TCP, el TIdTCPClient de la IGU-L envía el comando al TIdTCPClient de la IGU-R, que a su vez espera a la terminación del comando para modificar el estado de la etiqueta de guiado en la sección **D** de la IGU-R. TTelescopio es la clase que simula al telescopio, análoga a la incluida en la IGU-L. En la figura 4.13 se indica este comportamiento de la IGU-R mediante un diagrama de estados.

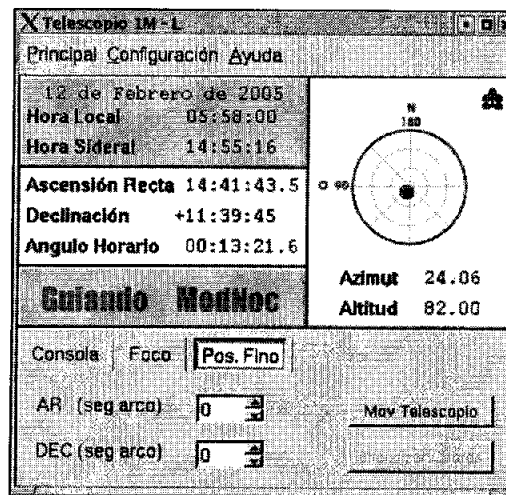
En la figura 4.14 se muestran los puertos TCP y UDP utilizados por los sockets para el envío de los comandos y datos. `/dev/ttyS0` es el dispositivo asociado al puerto serie COM1 en Linux. Cuando se envía un comando al telescopio desde la IGU-R, se hace uso



(a) Ventana principal de la IGU-L



(b) IGU-L con los componentes para enfocar



(c) IGU-L con los componentes para el movimiento fino

Figura 4.10: Interfaz para la operación local del telescopio.

de la clase `TIdTCPClient` que lo manda al puerto 12010 del firewall, que a su vez sabe que cualquier paquete dirigido a este puerto debe retransmitirse a fénix al puerto TCP 12010, donde los recibirá la IGU-L, que procesará el comando y escribirá al `/dev/ttyS0` para que pase al SCT. La respuesta generada por el SCT, seguirá el camino en sentido contrario, la IGU-L procesará la respuesta y la hará llegar a la IGU-R a través del puerto

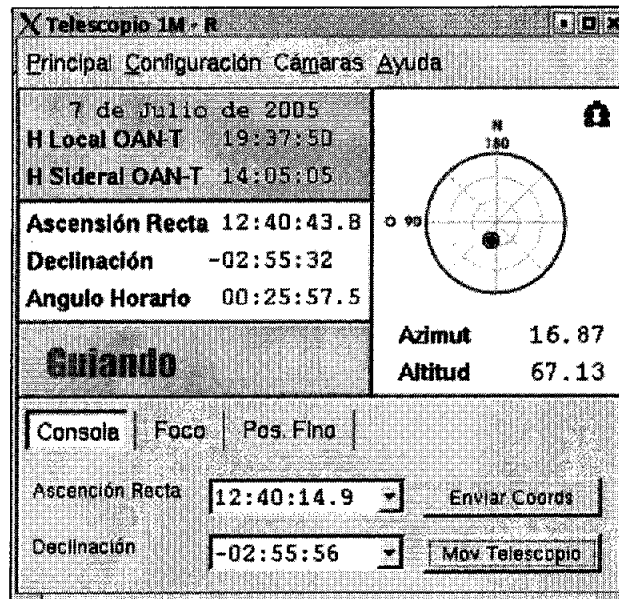


Figura 4.11: Interfaz de usuario para la operación remota del telescopio

TCP 12011.

En el caso de los datos que se envían desde la IGU-L a la IGU-R, el cliente UDP simplemente envía el mensaje sin esperar una confirmación en la recepción. El paso por el firewall es transparente, ya que en este caso se emplea un servicio de traducción de direcciones de red (en inglés NAT: Network Address Translation).

Se utiliza el protocolo TCP para el envío de comandos ya que garantiza la llegada del paquete con lo que se evita que cualquier interfaz pueda quedar bloqueada por la espera en la entrega de un comando. Cuando la interfaz termina la ejecución del método de envío de la clase `TIdTCPClient`, se tiene la certeza de que el mensaje llegó a la otra interfaz. Por otra parte, se usó el protocolo UDP debido a que los datos se envían cada segundo y no pasa nada si un paquete no llega a su destino y la programación se simplifica enormemente. En la IGU-R el ícono superior derecho de la sección **D**, se “apaga” si no se recibe la cadena de datos durante dos segundos para indicar que algo ha ocurrido en la red que obstruye el paso de los datagramas enviados desde la IGU-L.

## 4.7 Sobre el Desempeño del SOR-T en la Operación Remota del Telescopio

De todos los factores que afectan el rendimiento del SOR-T, el más importante es el desempeño de la red que une al OAN-T con el IAUNAM en México, D.F. Puesto que los paquetes enviados desde el OAN-T al IAUNAM y viceversa, se transportan a través de la red pública del INAOE y pasan a Internet hasta llegar al campus de la UNAM

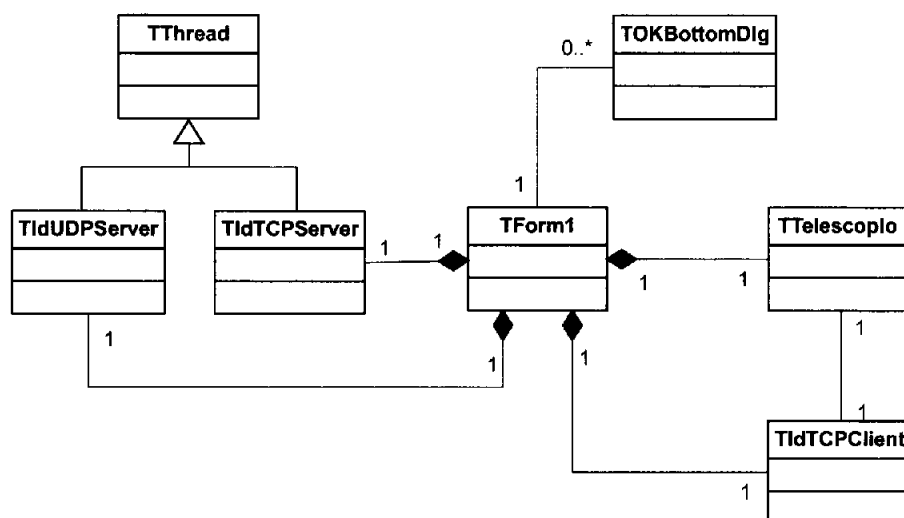


Figura 4.12: Diagrama de las clases más importantes de la IGU-R.

Hora	Mínimo	Promedio	Máximo	Desv. Est.	Pérdida
10:00	10.80	322.55	7835.44	785.06	3%
19:30	10.73	297.47	7424.50	796.75	4%
21:00	11.01	156.70	1975.58	258.60	0%
05:00	9.70	34.22	337.04	51.70	0%

Tabla 4.1: Resultados del ping entre Ciudad Universitaria y el OAN-T.

en Ciudad Universitaria, es de esperarse que los valores que arroje cualquier tipo de medición dependan de la hora del día en que se obtengan. No obstante la saturación de la red que físicamente antecede al OAN-T, es posible utilizar el SOR-T, ya que el uso de la red disminuye hacia la tarde-noche en comparación con el resto del día.

La red básicamente provee el servicio de transportar los datagramas a un destino específico. Dada la solicitud de un usuario para transportar un paquete, pueden ocurrir tres situaciones: el paquete se entrega correctamente a la computadora destino, el paquete se entrega con errores (a un destino equivocado o con un error en el paquete), o simplemente no se entrega. Si se hace un estudio detallado del rendimiento de la red OAN-T/IAUNAM y su impacto en el SOR-T, las tres situaciones se pueden traducir en requerimientos de velocidad, confiabilidad y disponibilidad. Como se puede apreciar, el problema de especificar el desempeño de la red OAN-T/IAUNAM da lugar a un extenso estudio que por el momento está fuera del alcance de esta tesis; sin embargo, en aras de cuantificar el desempeño del SOR-T, éste se ha usado a diferentes horas del día y se han utilizado los resultados del comando *ping* para establecer una primera métrica empírica, y en función de esta métrica se dan ciertos valores dentro de los cuales la operación del SOR-T es adecuada.



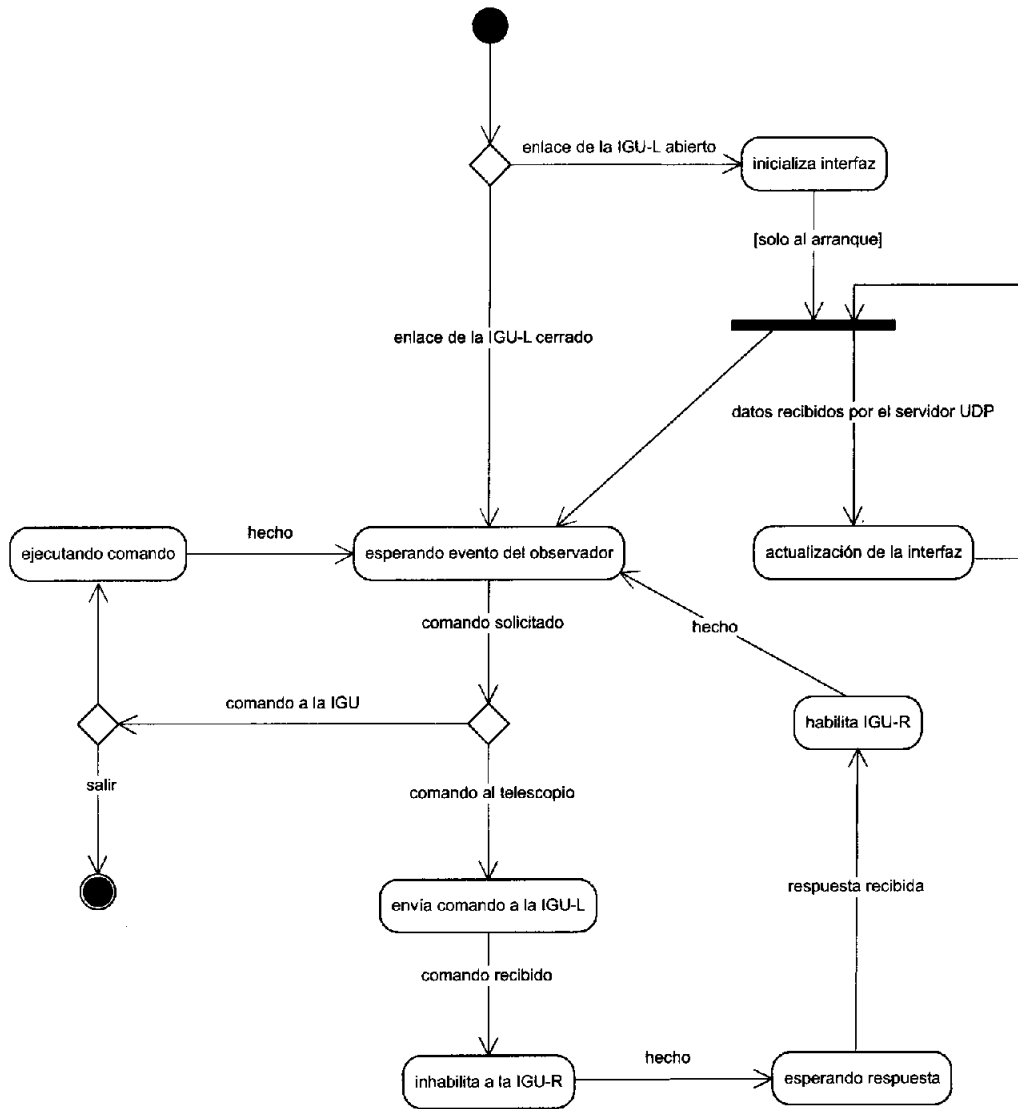


Figura 4.13: Diagrama de estados de la IGU-R

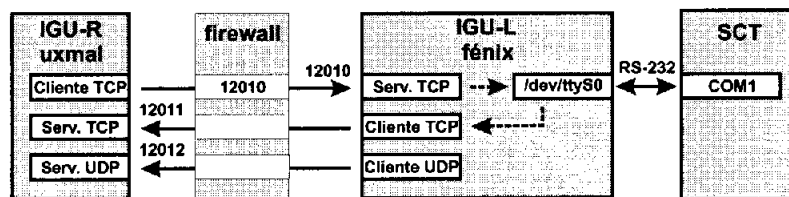


Figura 4.14: Puertos TCP y UDP empleados para el envío de datos y comandos

El ping es la más sencilla de todas las aplicaciones TCP/IP. Envía uno o más datagramas a una computadora destino solicitando una respuesta y mide el tiempo que tarda en recibirla, reporta estadísticas del tiempo empleado durante el envío del paquete y la recepción de la respuesta (RTT o *round-trip time* en inglés) y la pérdida de paquetes.

Se ha observado que el SOR-T tiene un desempeño aceptable cuando el promedio del RTT se encuentra en el intervalo que va de los 20 a 200 ms enviando paquetes de 64 bytes (que el valor por defecto del ping). Los 20 ms se obtienen en la noche cuando el uso de la red pública disminuye y pueden considerarse como el RTT ideal para el buen desempeño del SOR-T. En estas condiciones, la respuesta de la IGU-R es para todo fin práctico, la misma que la IGU-L. En modo remoto solo se mandan tres paquetes con diferentes longitudes cada segundo, todos menores que 64 bytes, entre la IGU-L y la IGU-R.

En la tabla 4.1 se muestran los valores arrojados en pruebas del ping para 500 paquetes de 64 bytes cada uno por segundo. Como se puede ver, utilizando al ping como métrica, con todas las reservas del caso, la tabla indica que a partir de las 19:30 horas el desempeño de las IGUs puede considerarse como adecuado. Nótese que la red OAN-T/IAUNAM tiene grandes variaciones que en ocasiones hacen que los paquetes tengan un RTT de 7 segundos.

## Capítulo 5

# La Adquisición de Imágenes

### 5.1 Introducción

En este capítulo se presenta la parte correspondiente a la adquisición de imágenes. Está integrado por cuatro secciones: en la primera se describe el sistema de adquisición de imágenes del OAN-T y la problemática para volverlo operable a distancia, en la segunda se presentan los casos de uso y en la tercera se muestra detalladamente el esquema para la adquisición de imágenes en el SOR-T y los diferentes programas que lo integran.

### 5.2 El Sistema de Adquisición de Imágenes del OAN-T

El OAN-T cuenta con una cámara CCD para obtener imágenes de los objetos astronómicos fabricado por la compañía Photometrics. El sistema consta de un detector tipo CCD marca Thomson de 1024x1024 pixeles, de 19x19 $\mu$ m cada uno; un controlador que genera las señales de temporización para la digitalización de los pixeles, una tarjeta interfaz que está instalada en la computadora tetlama (ver figura 3.3(b)) y el software de adquisición PMIS proporcionado por el fabricante. En la imagen de la figura 5.1 se muestra la platina del telescopio con el crióstato en el cual está instalado el detector. La caja que se localiza a un lado de la tira multicontacto es el controlador que contiene la electrónica de adquisición. Para lograr una mayor sensibilidad el detector se enfría con nitrógeno líquido para que alcance su temperatura de operación que es de -92°C. Asimismo, el OAN-T cuenta con un conjunto de filtros de Johnson con los cuales se observan tanto objetos estelares como nebulosas galácticas y extragalácticas. La tarjeta interfaz está instalada en la computadora denominada tetlama funciona con sistema operativo Windows 98, debido a que el PMIS no corre en versiones más recientes de Windows, como pueden ser Windows 2000 o XP.

PMIS es un paquete que permite al usuario realizar diferentes funciones como son: la configuración de los parámetros de operación del CCD, especificar los parámetros de la adquisición tales como tiempo de exposición, ganancia, muestreo (*binning*), área del CCD que se ha de utilizar en la adquisición, etcétera; enfocar el telescopio con un

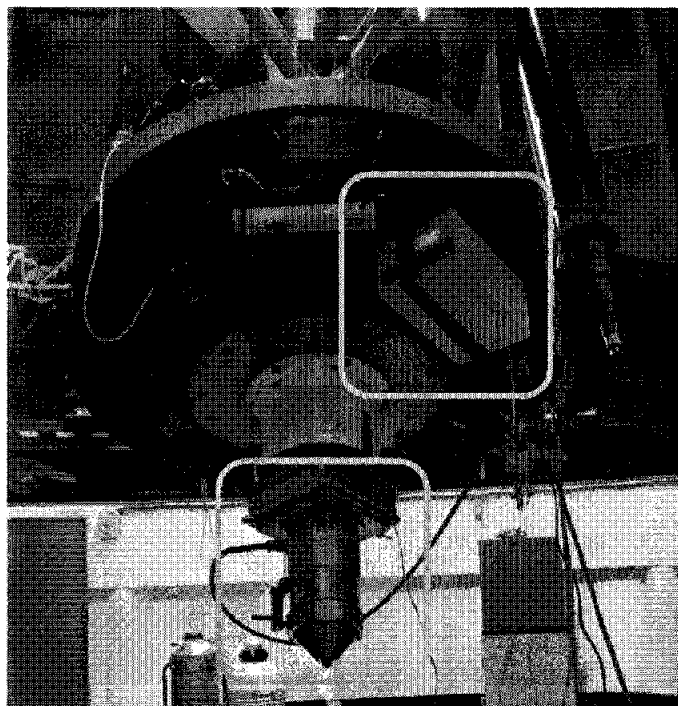


Figura 5.1: El crióstato (cuadro inferior) y la electrónica de adquisición (cuadro superior) del CCD.

modo especial de adquisición, en el cual se selecciona una región de interés del CCD y se despliega rápidamente, de tal manera que se pueden observar los cambios en el foco conforme se mueve el espejo secundario. También incluye un conjunto de rutinas básicas para el procesamiento y visualización de las imágenes. El PMIS tiene un intérprete con el cual un usuario puede generar sus macros y llamarlos desde el PMIS para la ejecución automática de un conjunto de instrucciones.

Un aspecto negativo del PMIS es que cuando se le pide obtener una imagen, sus procesos toman la mayor prioridad en la computadora, de tal manera que el usuario no puede hacer otra cosa más que esperar hasta que termine la adquisición. Esto podría ser ineficiente, ya que cuando se tienen tiempos de exposición largos ( $> 5$  minutos), el observador no puede hacer un análisis preliminar de las imágenes anteriores. Por esta razón, se decidió proponer al paquete IRAF como alternativa para el análisis y visualización de los datos, dejando al PMIS únicamente para la adquisición de las imágenes.

### 5.3 La Adquisición de Imágenes y sus Casos de Uso

Genéricamente la adquisición de imágenes se puede dividir en tres casos de uso: obtiene una imagen, obtiene un bias y obtiene un dark (véase la figura 5.2). El caso Verifica el funcionamiento de ACME y PMIS, sirve para comprobar que tanto ACME como el PMIS funcionan correctamente y esta es una tarea que mayormente realizará el asistente

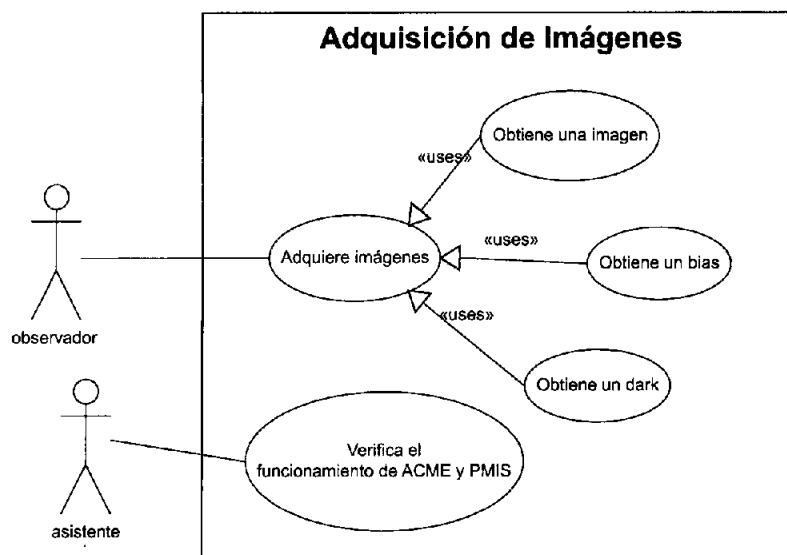


Figura 5.2: Casos de uso para la adquisición de imágenes.

al inicio de la sesión de observación. Los tres primeros corresponden a la adquisición de cada tipo de imagen que se puede obtener del CCD (por cada tipo de imagen es necesario enviar un macro distinto al PMIS). En estos casos de uso no están consideradas las posibilidades de utilizar el paquete tonantzintla para generar nuevos programas con las herramientas de programación que provee IRAF. En las adquisiciones, el observador debe revisar y en su caso editar la configuración de los programas del paquete tonantzintla para realizar sus adquisiciones. Hay ciertos parámetros ya fijados como son el área del CCD que se va a utilizar o el *binning* que no siempre coincidirán con los del observador.

### Descripción de los Casos de Uso

En todos los casos de uso, el actor es el observador. No hay una distinción entre los roles del observador y el asistente. Se da por entendido que el telescopio está posicionado en las coordenadas del objeto a observar.

- **Caso de Uso:** Obtiene una imagen
  - **Actor:** el observador
  - **Resumen:** describe la adquisición de una imagen con el programa `adqimagen` del paquete tonantzintla.
  - **Precondición:** deben estar corriendo el programa ACME en tetlama, el paquete IRAF y el programa ds9 (para el despliegue de imágenes) en la computadora del observador.
  - **Descripción:** (escenario típico)

1. El observador verifica los parámetros que se enviarán al CCD con el comando `lpar adqimagen` de IRAF. Especialmente los parámetros “ocultos” cuyos valores por defecto deben ser los correctos para el observador. Un ejemplo de este tipo de parámetros es el área del CCD que se utilizará en la adquisición. Por defecto se utiliza todo el detector, pero un usuario puede requerir únicamente una sección del mismo.
2. Correr el programa `adqimagen`. Si se invoca solo con el nombre, `adqimagen` irá pidiendo los parámetros obligatorios: el nombre de la imagen y el tiempo de exposición. Si el programa se corre en línea, entonces deberá teclearse una cadena como la que sigue: `adqimagen imagen=prueba tiempoE=1`, donde `prueba` es el nombre del archivo (en formato FITS) que se recibirá y `1` es el número de segundos que expondrá el detector.
3. Cuando inicie la recepción de la imagen aparecerá el carácter `|` girando constantemente, al término de la recepción se desplegarán el tiempo que requirió la transmisión de la imagen y el tamaño de la misma.
4. Si el parámetro `desp` tiene el valor `yes`, la imagen se desplegará en la ventana del programa `ds9`.

- **Caso de Uso:** Obtiene un bias

- **Actor:** el observador
- **Resumen:** describe la adquisición de un bias con el programa `adqbias` del paquete `tonantzintla`.
- **Precondición:** deben estar corriendo el programa `ACME` en `tetlama` y el paquete `IRAF` en la computadora del observador.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador verifica los parámetros que se enviarán al CCD con el comando `lpar adqbias` de IRAF, análogamente al caso anterior.
  2. Correr el programa `adqbias`. Si se invoca solo con el nombre, `adqbias` pedirá el nombre de la imagen que es el único parámetro obligatorio, el nombre de la imagen ya que el tiempo de exposición es cero. Si el programa se corre en línea, entonces deberá teclearse una cadena como la que sigue: `adqbias imagen=bias`
  3. Cuando inicie la recepción de la imagen aparecerá el carácter `|` girando constantemente, al término de la recepción se desplegarán el tiempo que requirió la transmisión de la imagen y el tamaño de la misma.
  4. Si el parámetro `desp` tiene el valor `yes`, la imagen se desplegará en la ventana del programa `ds9`.

- **Caso de Uso:** Obtiene un dark

- **Actor:** el observador

- **Resumen:** describe la adquisición de una imagen con el programa `adqdark` del paquete `tonantzintla`.
- **Precondición:** deben estar corriendo el programa `ACME` en `tetlama` y el paquete `IRAF` en la computadora del observador.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El observador verifica los parámetros que se enviarán al CCD con el comando `lpar adqdark` de `IRAF`, de manera similiar a los casos anteriores.
  2. Correr el programa `adqdark`. Si se invoca solo con el nombre, `adqdark` irá pidiendo los parámetros obligatorios: el nombre de la imagen y el tiempo de exposición. Si el programa se corre en línea, entonces deberá teclearse una cadena como la que sigue: `adqdark imagen=dark tiempoE=1`.
  3. Cuando inicie la recepción de la imagen aparecerá el carácter `|` girando constantemente, al término de la recepción se desplegarán el tiempo que requirió la transmisión de la imagen y el tamaño de la misma.
  4. Si el parámetro `desp` tiene el valor `yes`, la imagen se desplegará en la ventana del programa `ds9`.

- **Caso de Uso:** Verifica el funcionamiento de `ACME` y `PMIS`

- **Actor:** el asistente
- **Resumen:** describe la verificación del canal `DDE` entre el programa `ACME` y el paquete `PMIS`.
- **Precondición:** deben estar corriendo el programa `ACME` en `tetlama`.
- **Descripción:** (escenario típico)
  1. El asistente selecciona la opción **Principal** → **Pruebas** → **Obtener Imagen**.
  2. Si todo funciona correctamente, la imagen adquirida se desplegará en el monitor de `tetlama`. En caso contrario, en el espacio de texto de `ACME` aparecerá un mensaje indicando el error.

## 5.4 La Adquisición de Imágenes con el SOR-T

La adquisición remota de imágenes se realiza desde el paquete `IRAF` a través de los programas del paquete `tonantzintla`. Cada uno de ellos genera un macro `PMIS`. Mediante la ejecución del programa auxiliar `iraf_adqccd_tcp2`, el macro se envía a la computadora `tetlama` y se espera a la recepción del archivo `FITS` con la imagen. El programa `ACME` es el encargado de recibir el macro y pasarlo al `PMIS`. Una vez que el archivo con la imagen está listo, `ACME` lo envía a la computadora que envió el macro. En la figura 5.3 se muestra un diagrama de secuencia con los pasos de este proceso. El procedimiento de adquisición es idéntico en los modos remoto y local si el observador (local) utiliza la computadora `fénix` para la adquisición de imágenes.

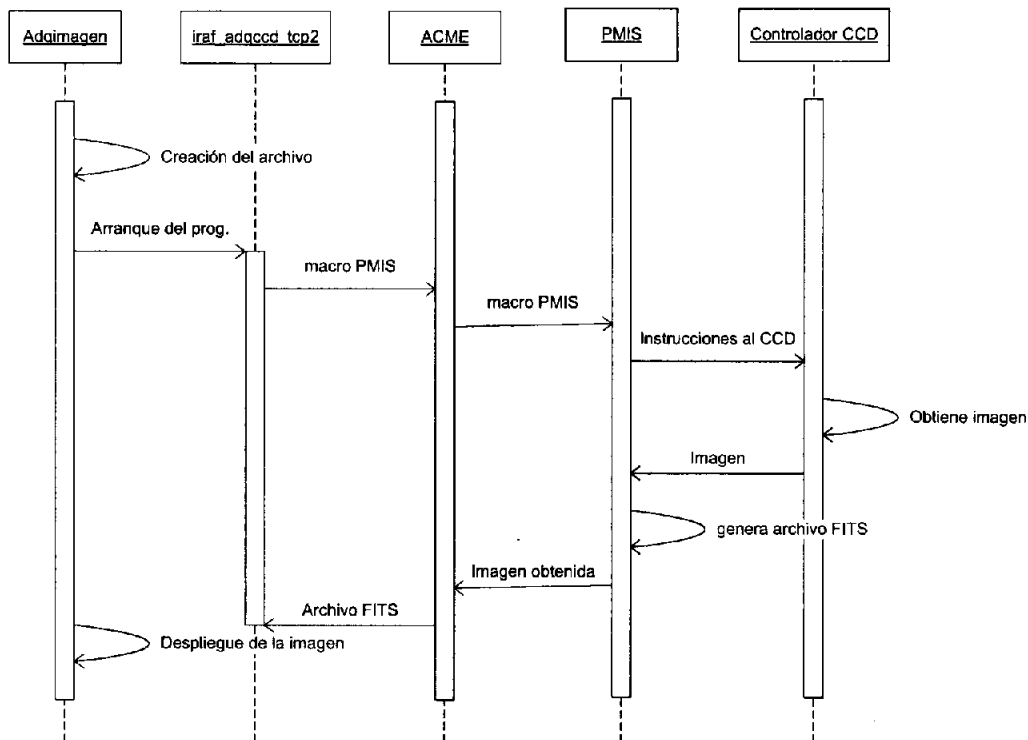


Figura 5.3: Diagrama de secuencia de todos los elementos involucrados en la adquisición de imágenes.

El software para la adquisición de imágenes está integrado por los paquetes que se indican en la figura 5.4. En uxmal (la computadora remota) y fénix (la computadora local) se utilizan el paquete IRAF, el programa `iraf_adqccd_tcp2` y el paquete `tonantzintla`. En tetlama el paquete incluye al PMIS, la tarjeta interfaz, el programa ACME y el paquete Delphi. En el firewall se utilizan las reglas de filtrado y la utilería del sistema operativo iptables, que además de impedir el paso de los paquetes provenientes de direcciones IP no autorizadas para entrar a la red del OAN-T, enruta los paquetes hacia tetlama al puerto TCP correspondiente y en sentido contrario reenvía los paquetes hacia el cliente cuando la adquisición es remota.

#### 5.4.1 IRAF y el Paquete Tonantzintla

El paquete *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF) es un software de propósito general para el procesamiento y análisis de datos científicos. IRAF fue desarrollado y es actualizado por un grupo de programación de los Observatorios Astronómicos Ópticos Nacionales de los Estados Unidos (National Optical Astronomical Observatories) de Tucson, Arizona. IRAF incluye programas generales para el procesamiento de imágenes y aplicaciones para el graficado de las mismas, además de una gran cantidad de rutinas para la calibración inicial y análisis de datos astronómicos ópticos. Actualmente hay



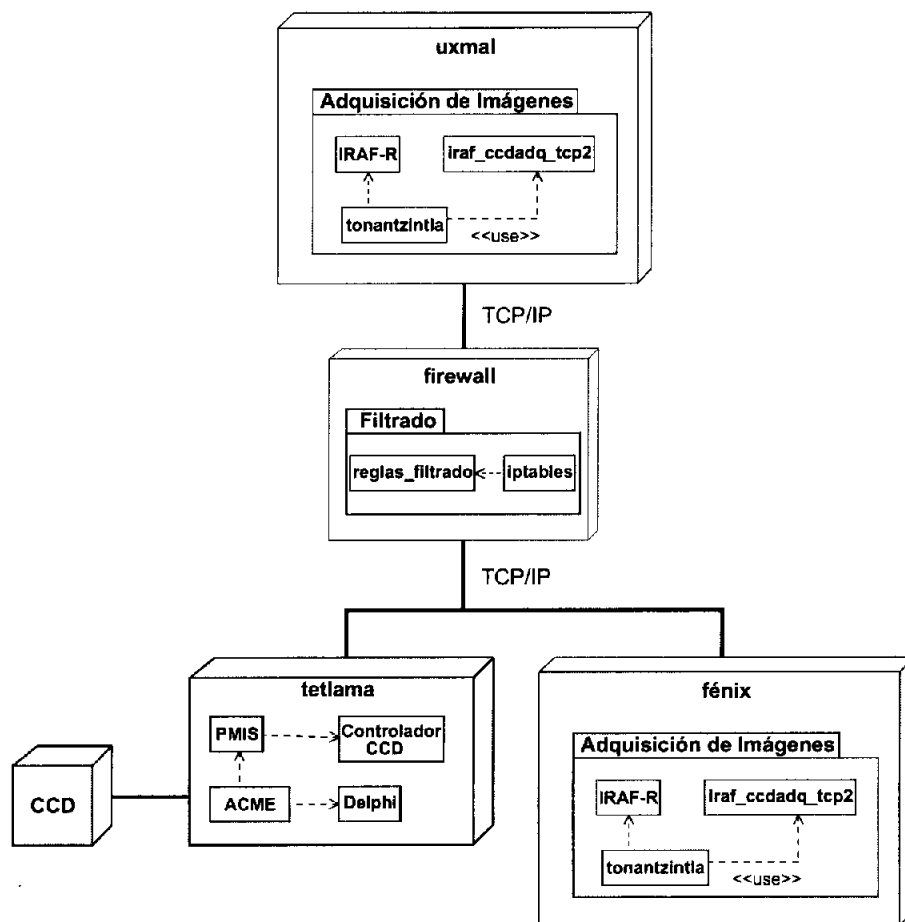


Figura 5.4: Componentes que integran la parte de adquisición de imágenes del SOR-T.

muchos paquetes externos que se le pueden agregar al núcleo que proporciona NOAO; como por ejemplo, los necesarios para el análisis de datos del telescopio espacial Hubble, rayos X e infrarrojos.

IRAF está programado en SPP (acrónimo en inglés de *Subset Pre-Processor*), un lenguaje muy parecido al lenguaje C y posee una interfaz de comandos (denominada en inglés *command language*) (CL) que puede ser usada para programar mediante macros, haciendo uso de los mismos comandos del CL.

El CL de IRAF se debe correr en una terminal gráfica como la *xterm* o *xgterm* (desarrollada por el grupo IRAF de NOAO), ya que el CL hace uso de sus capacidades gráficas. Para el despliegue de imágenes, utiliza alguno de los siguientes programas: *ximtool*, *SAOimage*, *SAOtnng* o *DS9*. En la figura 5.5 se muestran las ventanas de una terminal *xgterm*, su parte gráfica y el *DS9*.

IRAF está organizado en paquetes y cada paquete contiene un grupo específico de programas. Por ejemplo, el paquete *system* contiene los comandos básicos del CL, *images*

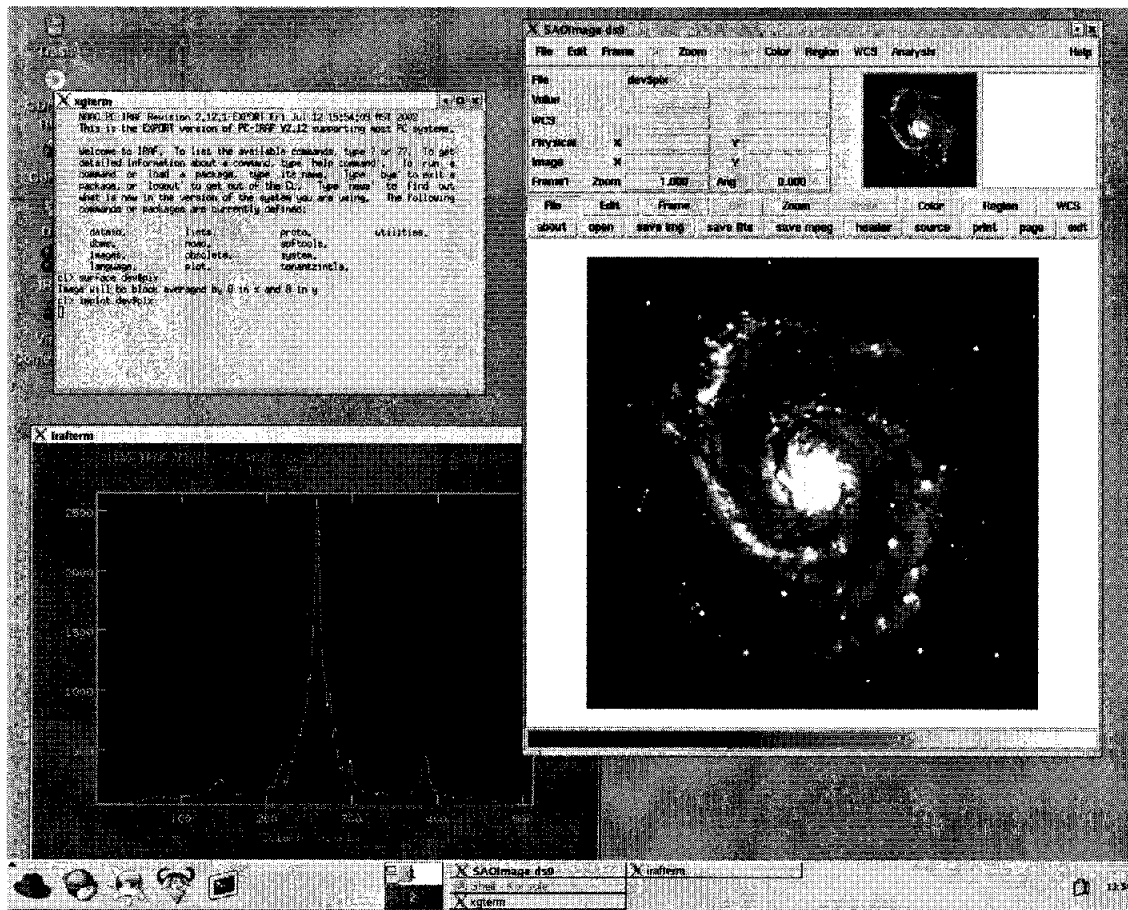


Figura 5.5: Imagen de las ventanas de IRAF, se muestran una xgterm (la ventana de texto), su contraparte gráfica en la que se muestra un corte horizontal de la imagen que se muestra en la ventana del programa SAOImage ds9.

contiene las rutinas básicas para el procesamiento de imágenes. Existen otros paquetes para la reducción de datos astronómicos como *onedspec* que contiene programas para procesar espectros unidimensionales o *ccdred* que contiene todas las herramientas para reducir las imágenes de CCDs.

El paquete *tonantzintla* contiene actualmente tres programas: *adqimagen*, *adqbias* y *adqdark*. Cada uno de ellos permite al usuario definir los parámetros de una adquisición. *Adqimagen* sirve para obtener una imagen con el CCD. *Adqbias* obtiene una imagen que muestra los niveles mínimos de respuesta del CCD (*bias*) que equivale a una imagen con tiempo de exposición cero. Con *adqdark* se obtienen las imágenes de la corriente oscura del detector, que son imágenes con tiempos de exposición similares a las normales, con

la excepción de que el obturador está cerrado. Los *bias* y los *darks* son datos que se usan en el proceso de calibración inicial de los datos. Los campos planos o *flats* se deben obtener con `adqimagen`. Los programas fueron implementados con comandos del CL y están completamente integrados a IRAF, tienen su ayuda en línea y pueden utilizarse para crear nuevos programas. Por ejemplo, con `adqimagen` se puede generar un nuevo programa que obtenga un mosaico de imágenes y el usuario no tenga necesidad de escribir el comando en cada adquisición.

En la figura 5.6(a) se muestra un diagrama de estados de `adqimagen` (los diagramas para `adqbias` y `adqdark` son idénticos). Cada programa genera un macro PMIS (como el mostrado en la tabla 5.1) que incluye las instrucciones básicas para la adquisición de una imagen. Debido a que IRAF no tiene mecanismos para acceder directamente a los sockets del API de Linux, se decidió que únicamente generaran un archivo temporal y llamaran a un programa externo (`iraf_adqccd_tcp2`) hecho en C para enviarlo a `tetlama` y recibir la imagen. Un usuario puede estar adquiriendo sus imágenes y revisando las anteriores simultáneamente. Basta con abrir dos terminales para correr dos instancias de IRAF, en la primera obtiene sus imágenes y en la otra puede analizar las anteriores.

En la figura 5.6(b) se muestran los detalles del programa `iraf_adqccd_tcp2`. Los estados configuración del cliente TCP y del servidor TCP, se refieren a la creación de los sockets TCP y al llenado de las estructuras que utilizan, con los datos de la dirección IP y los puertos a los cuales se conectarán. Finalmente, en la figura 5.7 se muestra un diagrama de actividad que muestra la interacción entre los programas `adqimagen` e `iraf_adqccd_tcp2`.

## 5.4.2 El Programa ACME

Debido a que el fabricante del CCD no proporciona los detalles acerca de la operación de la tarjeta interfaz ni el código fuente del PMIS, en la primera fase del SOR-T [ALAMI98], fue necesario buscar una manera de acceder remotamente al PMIS para obtener las imágenes del CCD. El esquema de adquisición que se utilizó hacía uso del paquete Samba y el envío de ciertas instrucciones con la invocación remota de métodos del lenguaje Java.

El PMIS disponible en el OAN-T puede recibir comandos de tres maneras: a través de la interfaz gráfica de usuario, mediante la ejecución de un macro que contiene la lista de instrucciones o bien mediante el protocolo Dynamic Data Exchange (DDE) de Windows. Para simplificar la adquisición remota de imágenes con el PMIS y hacer uso del canal DDE, se implementó el programa ACME (en Borland Delphi) que funciona como un servidor que se encarga de recibir comandos desde la red por un socket TCP, los convierte y acondiciona para que a través del canal DDE los pase al PMIS, y los ejecute. Una vez adquirida la imagen y guardada en el disco duro en formato FITS, ACME envía el archivo al cliente mediante otro socket TCP.

Se decidió emplear el canal DDE porque es el que permite recuperar el código de error al ejecutar un comando. A través del DDE, PMIS informa si el comando fue ejecutado exitosamente y si hubo algún problema. Cosa que no ocurre cuando se corre el PMIS y se le indica que debe ejecutar las instrucciones de un archivo, si surge algún problema, el PMIS simplemente se detiene y no hay manera de informar al usuario remoto lo que

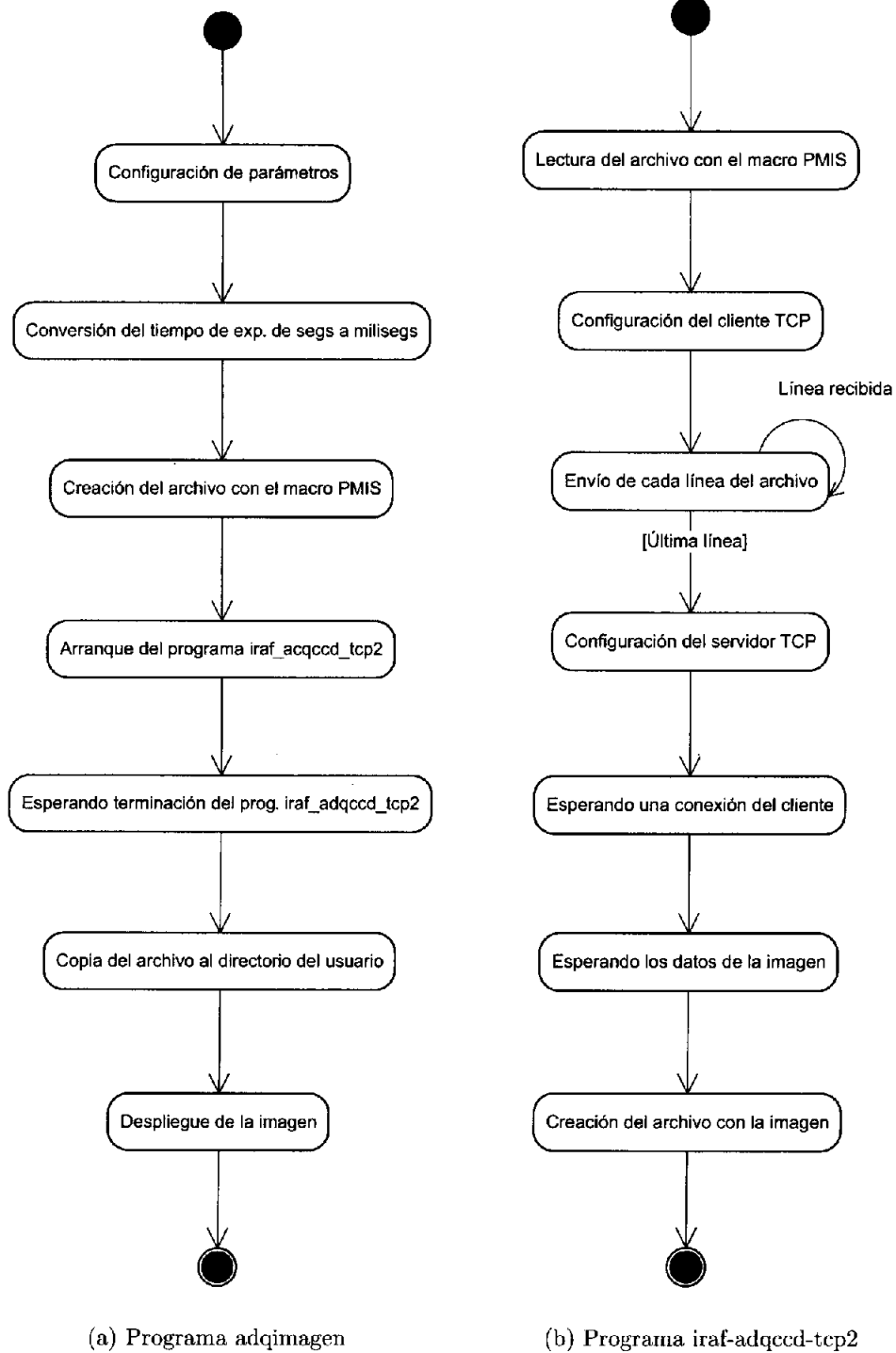


Figura 5.6: Diagrama de estados de los programas adqimagen del paquete tonantzintla e iraf-adqccd-tcp2.

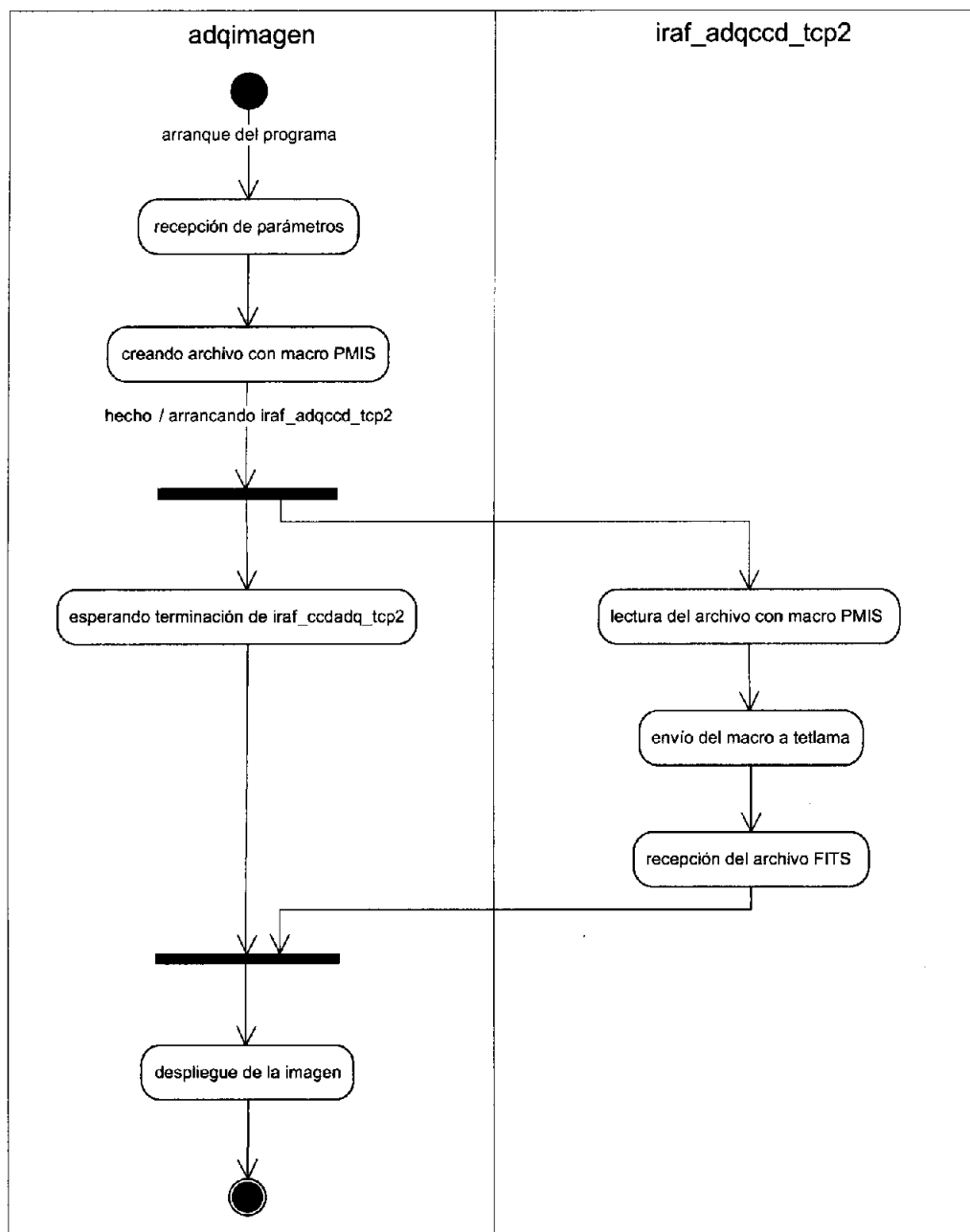


Figura 5.7: Diagrama de actividad de los programas adqimagen e iraf-adqccd-tcp2.

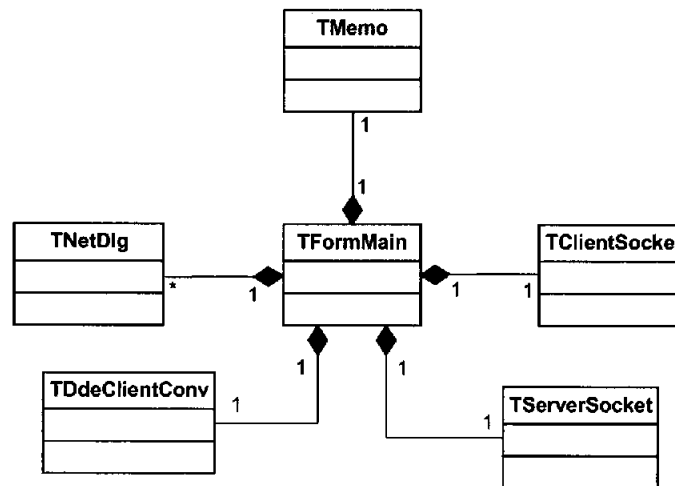


Figura 5.8: Diagrama de las clases más importantes del programa ACME.

está ocurriendo.

En la figura 5.8 se muestran únicamente las clases más importantes del programa: el espacio de texto en el que se despliega el texto (**TMemo**), los sockets cliente y servidor TCP (**TClientSocket**, **TServerSocket**), el cliente DDE (**TDdeClientConv**) y la forma principal que contiene a todas las demás clases (**TFormMain**). Se omitieron clases como la del menú y los elementos que integran cada menú. **TNetDlg** es la clase de la ventana de diálogo en la que se establecen los parámetros de red. En la figura 5.9 se muestran los estados del programa.

### La Operación de ACME

El principio de operación de ACME es muy simple: recibe un macro de PMIS y envía de regreso una imagen en formato FITS. Un socket TCP recibe el macro proveniente del cliente por el puerto 12005 y lo guarda en memoria. Cuando recibe el comando EXPORT que se asume como última línea, ACME comienza a pasar cada línea al servidor DDE de PMIS y espera del servidor DDE un mensaje indicando si cada línea se realizó satisfactoriamente o no. En caso negativo, el servidor DDE envía un código de error. Obtenida la imagen, ACME le indica a PMIS que debe exportarla como imagen FITS al directorio `C:\imagen` de donde la tomará para enviársela al cliente por el puerto TCP 12006. El cliente debe haber activado previamente un servidor TCP para recibir la imagen. El programa envía la imagen a la dirección IP desde la cual se envió el macro. En la figura 5.10 se muestran los puertos TCP empleados durante la adquisición de imágenes. Debe señalarse que cuando ACME recibe un macro PMIS, bloquea la recepción de comandos para evitar que se envíen instrucciones contrarias al PMIS. ACME únicamente envía la imagen obtenida a la computadora que la solicitó.

Las únicas condiciones que debe tener el macro de PMIS, son que cada línea debe

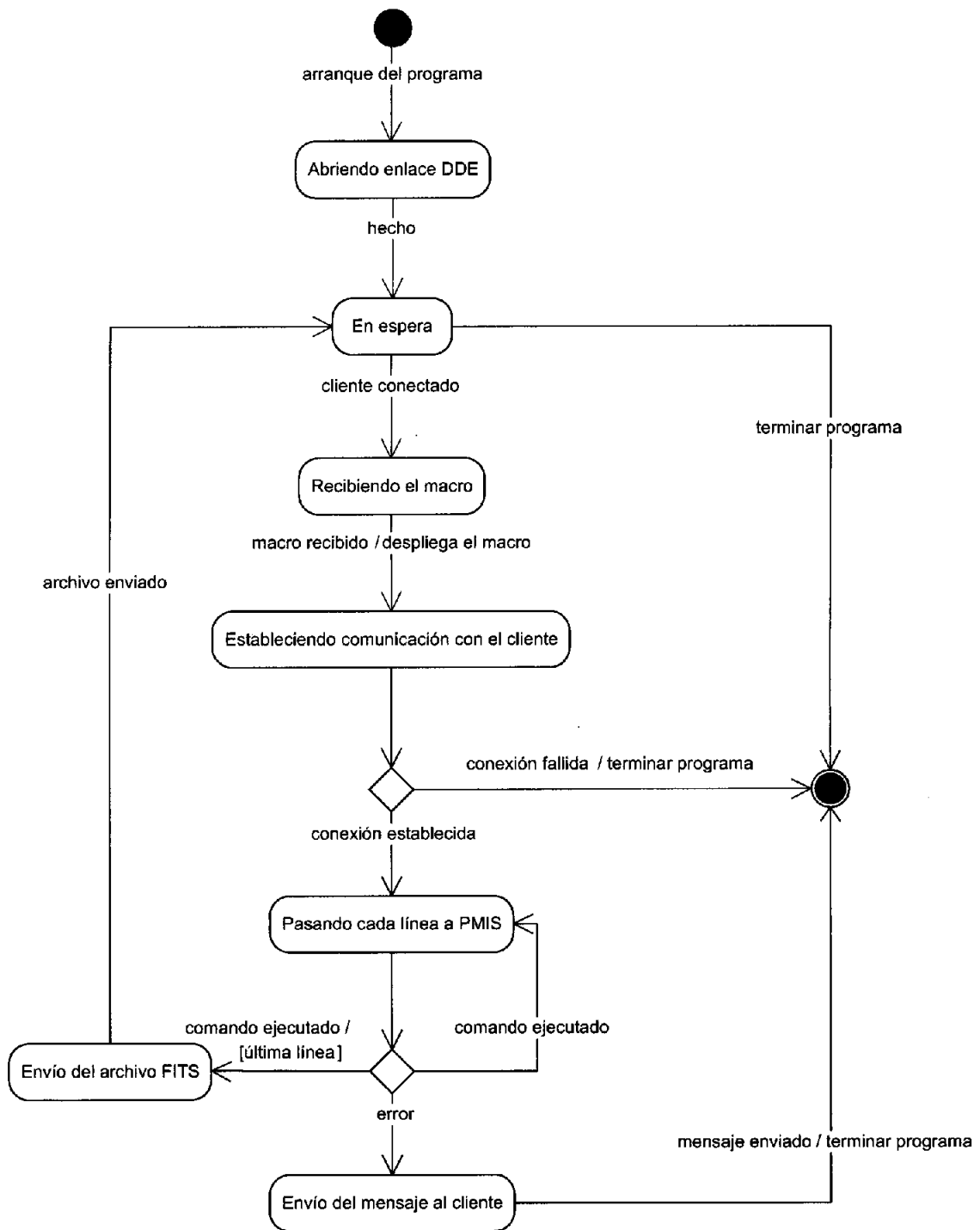


Figura 5.9: Diagrama de estados del programa ACME.

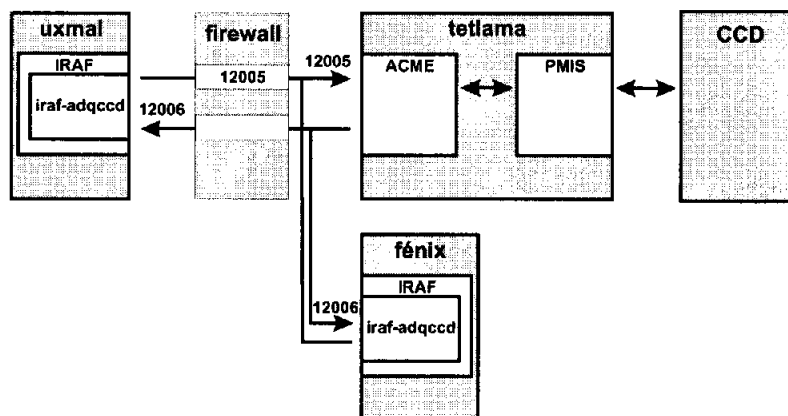


Figura 5.10: Puertos TCP empleados en la adquisición de imágenes.

---

```

"CSETUP\n"
"CCDFMT 0 0 512 512 2 2\n"
"CGAIN 1\n"
"IREMOVE *\n"
"ICREATE Imagen_1 512 512\n"
"CI Imagen_1\n"
"OBS 1000\n"
"WINDOW I D\n"
"EXPORT FITS \imagen\prueba.fit\n"

```

---

Tabla 5.1: Ejemplo de macro PMIS con el formato como debe ser enviado a ACME.

terminar con los caracteres ascii 10 y 13 o bien un carácter de nueva línea (`\n` en C) y tener como última línea `EXPORT FITS C:\imagen` o bien solo la palabra `EXPORT`. Un ejemplo de macro (en lenguaje C) se muestra en la tabla 5.1.

Cabe notar que el archivo ejecutable de ACME debe estar en el directorio de PMIS. Al iniciarse la ejecución de ACME, si PMIS no está corriendo entonces lo arranca, en caso contrario solo inicializa la comunicación por DDE.

### La Interfaz Gráfica de ACME

En la figura 5.11 se muestra la ventana principal del programa ACME. Los elementos más importantes de esta ventana son los siguientes:

- **Principal** → **Pruebas** → **Obtener Bias y Principal** → **Pruebas** → **Obtener IMAGEN**, son comandos que adquieren un bias y una imagen de 1024x1024 pixeles



```

ACME PMIS Controller
Principal Red DDE
>>> EXPORT FITS \\imagen\pruebas.tif
>>>
DDE -> CSETUP (STAT = 0)
DDE -> CCDPMT 0 0 256 256 4 4 (STAT = 0)
DDE -> CGAIN 1 (STAT = 0)
DDE -> IREMOVE (STAT = 0)
DDE -> ICREATE "Image_1" 256 256 (STAT = 0)
DDE -> CI "Image_1" (STAT = 0)
DDE -> OBS 100 (STAT = 0)
DDE -> WINDOW 1 0 (STAT = 0)
DDE -> EXPORT FITS L \\imagen\imagen.M (STAT = 0)
>>> Image successfully read
>>> Image successfully sent
192.168.0.2

```

Figura 5.11: Ventana principal del programa ACME

utilizando el canal DDE, respectivamente. La imagen tiene un tiempo de exposición de 5 segundos.

- **Red** → **Parámetros de Red** abre la ventana de diálogo que se muestra en la figura 5.12 para determinar los puertos TCP, de recepción del macro que envía el cliente y el puerto al que ACME deberá enviar la imagen.
- **DDE** → **Abrir Enlace** y **DDE** → **Cerrar Enlace** abren y cierran la conexión con el servidor DDE de PMIS, respectivamente. A su arranque, ACME establece la comunicación con el servidor DDE automáticamente por lo que no se necesita la intervención del usuario para hacerlo. Estos botones los puede utilizar el usuario cuando sospeche de que el canal DDE entre ACME y PMIS no se haya establecido.
- El espacio de texto se utiliza para desplegar el macro que se recibe del cliente y el código de error que se recibe del servidor DDE.
- En la parte inferior de la ventana se muestra la dirección IP del cliente desde la que se envía el macro y a la cual se enviará la imagen.

En el espacio de texto, se despliega cada línea del macro conforme se va recibiendo. Al llegar la palabra **EXPORT**, aparece una línea punteada indicando el inicio de la transferencia del macro al PMIS. Para cada comando enviado aparece una línea que termina con el código de error enviado por PMIS (**STAT=código\_de\_error**), que debe ser cero. Al terminar la intervención de PMIS las líneas **>>> Image successfully read** y **>>> Image successfully sent** indican que la imagen ha sido leída y enviada al cliente, respectivamente. Finalmente aparece el texto **GAME OVER** que marca el momento en que

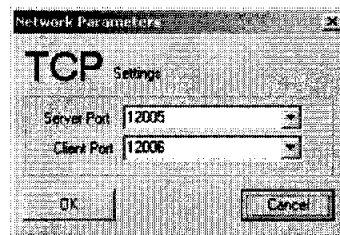


Figura 5.12: Ventana de diálogo para establecer los puertos TCP de recepción del macro (Pto Servidor) y envío de la imagen (Pto Cliente).

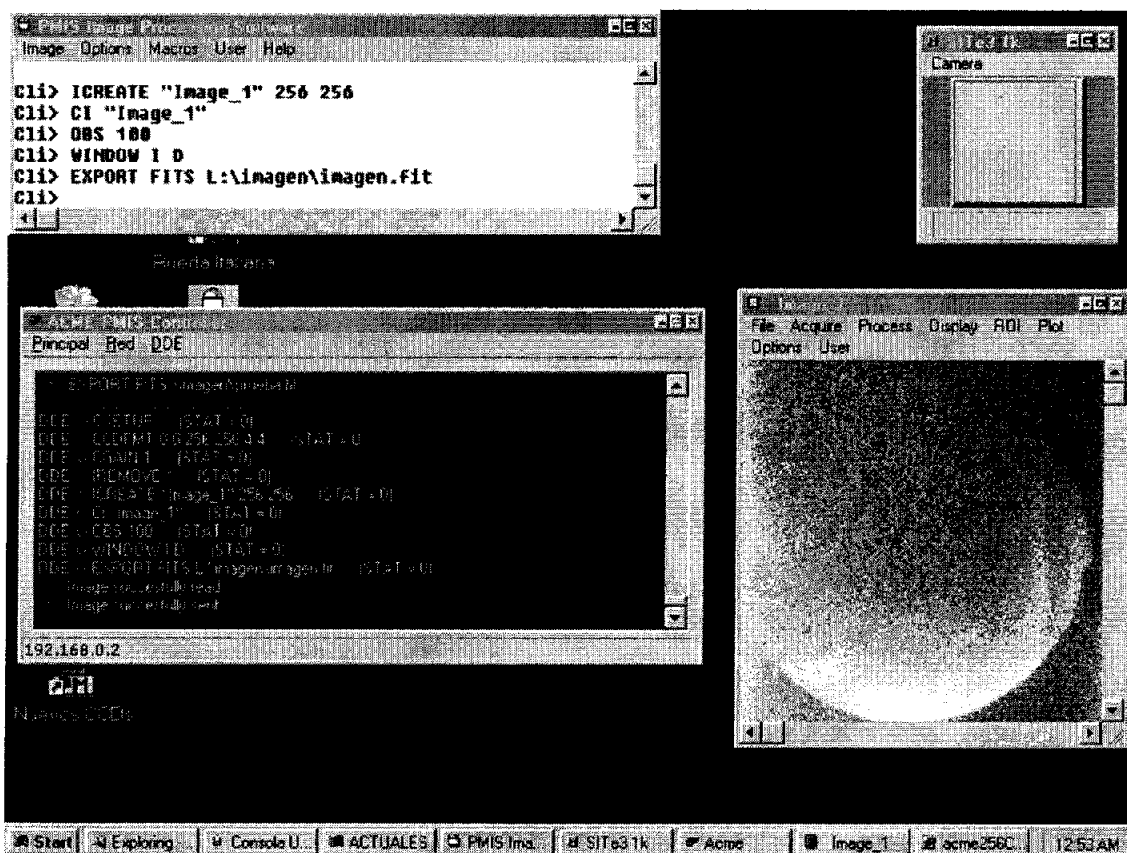


Figura 5.13: Imagen del monitor en la que aparecen la ventana principal de ACME y tres ventanas auxiliares de PMIS.

el programa está listo para iniciar nuevamente el ciclo de recepción del macro y envío de la imagen. En la figura 5.13 se pueden observar la ventana de ACME y las otras tres

Hora	Mínimo (s)	Promedio (s)	Máximo (s)	Desv. Est. (s)
10:00	17.30	39.04	82.45	17.18
19:30	11.73	17.07	25.63	4.20
21:00	10.73	15.32	28.44	4.47
05:00	8.93	9.41	11.14	0.62

Tabla 5.2: Tiempo empleado en el envío de imágenes (1024x1024 pixeles, 16 bits) entre el OAN-T y Ciudad Universitaria.

Hora	Mínimo (KB/s)	Promedio (KB/s)	Máximo (KB/s)	Desv. Est. (KB/s)
10:00	25.50	63.40	121.53	25.36
19:30	82.03	130.64	179.28	30.80
21:00	73.92	146.68	195.81	35.75
05:00	188.62	224.26	235.24	13.47

Tabla 5.3: Tasa de transmisión durante el envío de imágenes (1024x1024 pixeles, 16 bits) entre el OAN-T y Ciudad Universitaria correspondiente a los tiempos de la tabla 5.2.

ventanas que se abren cada vez que PMIS obtiene una imagen.

En la ventana de diálogo que se muestra en la figura 5.12, **Pto Servidor** es el puerto por el cual ACME espera el macro y **Pto Cliente** el puerto al que enviará la imagen de la dirección IP que aparece en la barra de estado

### La Detección de Errores

Es importante señalar que ACME no analiza los códigos de error que puede producir PMIS, lo único que ACME discrimina es si recibe un cero o no. Aún cuando no hubiera ocurrido propiamente un error, si PMIS regresa un entero distinto de cero por el servidor DDE, ACME lo asume como tal. Existen sólo dos tipos de errores para los cuales ACME despliega un mensaje en el espacio de texto y envía la cliente alguna indicación.

Normalmente, PMIS envía un cero por el servicio DDE cada vez que un comando se ejecuta satisfactoriamente, de lo contrario despliega el mensaje `#> Error: PMIS` y lo envía al cliente por el puerto TCP 12006 abortando el envío al DDE de las demás líneas del macro.

Si por alguna razón, el programa no puede utilizar el canal DDE para enviar un comando, aparecerá en el espacio de texto `#>Error during DDE XMit. Batch aborted` y enviará al cliente el mensaje `Error: XMit`.

## 5.5 Sobre el Desempeño del SOR-T en la Adquisición de Imágenes

En el SOR-T la adquisición de imágenes resulta ser la más afectada por el desempeño de la red, ya que puede degradar seriamente la operación del SOR-T en casos cuando el

observador está adquiriendo imágenes de corto tiempo de exposición, como pueden ser las de una estrella brillante durante el proceso de enfoque.

Análogamente a los datos mostrados en la última sección del capítulo anterior, las tablas 5.2 y 5.3 contienen los resultados durante la obtención de 20 imágenes de 1024x1024 pixeles y 16 bits (2097152 bytes) a diferentes horas de día para tener una referencia del comportamiento de la red OAN-T/IAUNAM. Cada imagen fue de 1024x1024 pixeles y 16 bits (2097152 bytes) que es la imagen más grande que se puede obtener con el detector del OAN-T. Los datos se obtuvieron del programa `iraf.adqccd_tcp2`, el cual cada vez que obtiene una imagen contabiliza el tiempo desde que se inicia hasta que se termina la recepción de la misma. Como se puede observar a partir de las 19:30 horas la tasa de transmisión va aumentando, conforme avanza la noche.

## Capítulo 6

# Elementos Adicionales del SOR-T

### 6.1 Introducción

En este capítulo se describen otros módulos que integran el SOR-T distintos del control del telescopio y la adquisición de imágenes: la videoconferencia entre el OAN-T y Ciudad Universitaria, las imágenes de la cámara de vigilancia ubicada en el piso del telescopio, la implementación del firewall para la protección de la red interna del OAN-T y, la administración y vigilancia de las computadoras del OAN-T. En la figura 6.1 se incluyen todos los paquetes que se describirán en este capítulo.

Cabe señalar que la lista de módulos mencionados anteriormente es únicamente temporal, ya que el proyecto Observación Remota aún no ha terminado y continuará agregando nuevos elementos del edificio del telescopio al SOR-T conforme éstos se vayan automatizando. Por ejemplo, el encendido y apagado de luces, la apertura del iris del telescopio, la tapa de protección del buscador, la cortina de la cúpula, la cámara del buscador, etcétera.

Exceptuando la videoconferencia, toda la información generada por los demás componentes se despliega en una página web. Con lo que se puede acceder a dicha información desde otras computadoras sin que se tenga que correr la interfaz de usuario del telescopio.

### 6.2 La Videoconferencia con el OAN-T

Un elemento fundamental en un esquema de operación remota activa como el SOR-T es la comunicación entre el observador y el asistente. Con la finalidad de ahorrar dinero en llamadas telefónicas de larga distancia, se hizo una evaluación de diferentes programas de videoconferencia para seleccionar el que tuviera el mejor desempeño. Solo se consideraron programas de dominio público y las pruebas se realizaron durante las horas de mayor carga entre la sede del IAUNAM en Ciudad Universitaria y el OAN-T.

Los programas que se probaron son VAT y VIC desarrollados en los laboratorios Lawrence Livermore de los Estados Unidos<sup>1</sup>, el *Robust Audio Tool* (RAT)<sup>2</sup> hecho por el

---

<sup>1</sup>[www-nrg.ee.lbl.gov/vat/](http://www-nrg.ee.lbl.gov/vat/)

<sup>2</sup>[www-mice.cs.cl.ac.uk/multimedia/software/rat](http://www-mice.cs.cl.ac.uk/multimedia/software/rat)

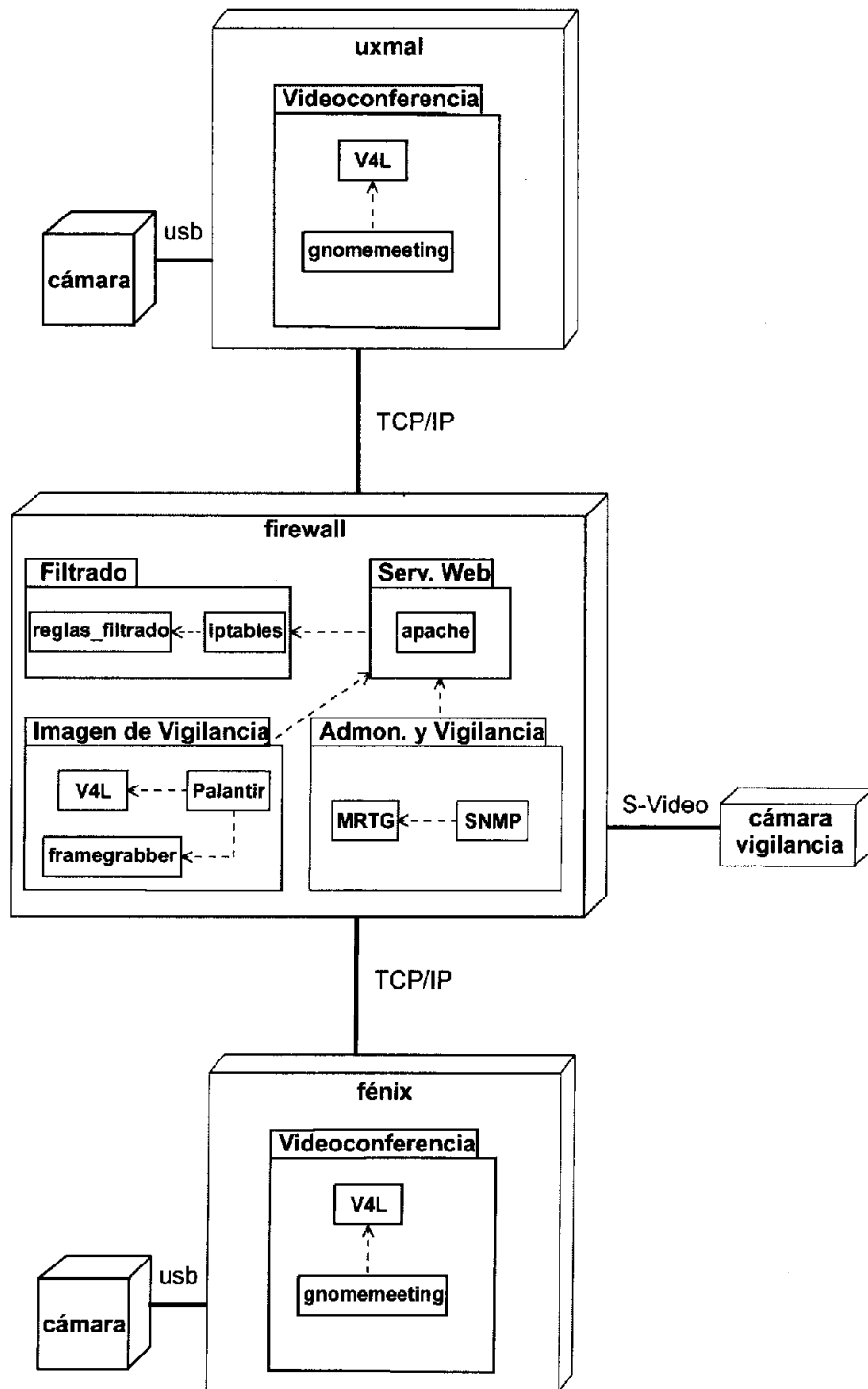


Figura 6.1: Componentes que integran los elementos adicionales del SOR-T.



Figura 6.2: Ventana principal del Gnomemeeting. La imagen más grande es la del asistente en el OAN-T y la imagen pequeña la del autor, durante una sesión de observación remota.

grupo de multimedia del University College de Londres, el FreePhone<sup>3</sup> implementado en la Universidad de Niza en Francia y el Gnomemeeting<sup>4</sup>. Los cuatro primeros se crearon como parte de la iniciativa MBONE<sup>5</sup>. Por su parte, Gnomemeeting tuvo su origen en la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica.

Los programas que mejor desempeño tuvieron fueron el RAT y Gnomeeting. Se decidió utilizar este último debido a que incluye la transmisión de video y el RAT no. Además de que utiliza la interfaz *Video4Linux* (V4L) lo que permite seleccionar la imagen que se trasmite si la computadora desde la cual se comunica el usuario tiene instalada más de una cámara.

Las cámaras utilizadas son del modelo WebCam 3 de la marca Creative que se conectan a la computadora a través de un puerto usb. En la figura 6.2 se muestra la ventana principal del programa. La imagen más grande corresponde a la del asistente de observación en el OAN-T y la más pequeña a la del observador en Ciudad Universitaria.

### 6.3 La Cámara de Vigilancia

Esta cámara está instalada en el piso del telescopio y como se aprecia en la figura 6.3 le permite al usuario tener una vista de la parte inferior del telescopio de modo que puede darse cuenta si algo obstruye el movimiento del mismo. La imagen de la cámara se captura con un *framegrabber* Hauppauge WinTV. V4L tiene un manejador que reconoce

<sup>3</sup>[www-sop.inria.fr/rodeo/fphone](http://www-sop.inria.fr/rodeo/fphone)

<sup>4</sup>[www.gnomemeeting.org](http://www.gnomemeeting.org)

<sup>5</sup>[www.savetz.com/mbone](http://www.savetz.com/mbone)

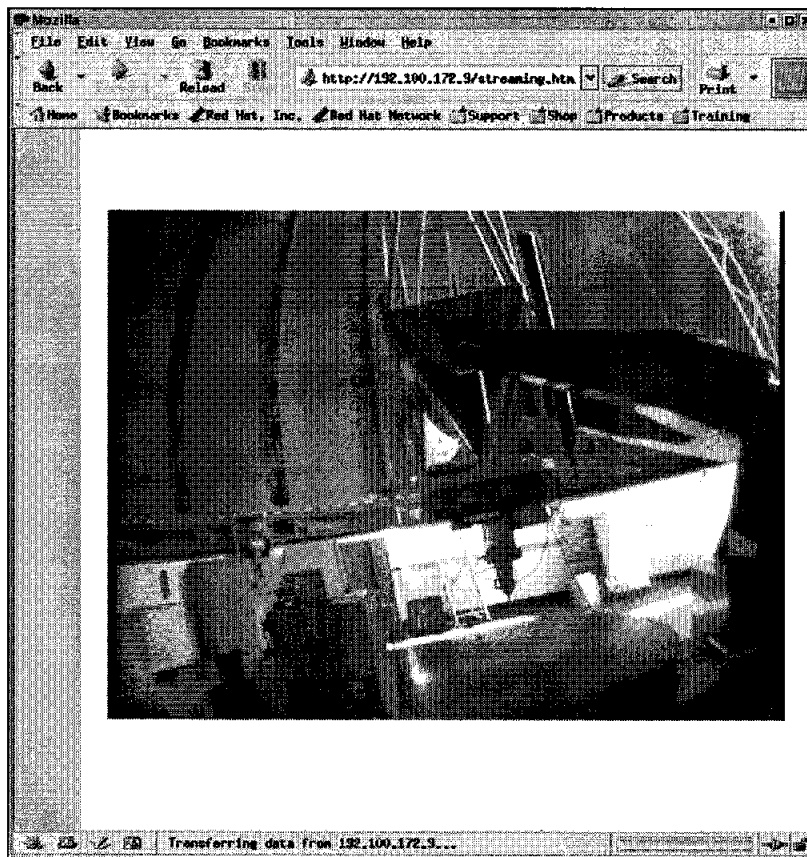


Figura 6.3: Ventana de un navegador con la imagen de la cámara de vigilancia.

automáticamente la tarjeta y la pone a disposición de cualquier programa. El programa Palantir<sup>6</sup> toma el tren de datos generado por V4L y lo transmite como video en tiempo real a cualquier cliente que se conecte al puerto TCP 3000. En la página web solo se agrega la liga en html como si fuera una imagen al puerto TCP 3000. De momento y por seguridad, únicamente se permiten conexiones desde las subredes del IAUNAM en Ciudad Universitaria. Pero los permisos de entrada a cualquier otra computadora se cambian rápidamente desde el firewall (alrededor de un minuto y medio).

En la imagen de la figura 6.3, se pueden observar la parte inferior, la horquilla y el espejo primario del telescopio. A un lado de la base del telescopio se encuentra la plataforma circular hidráulica. Cada vez que un observador mueve el telescopio a través de las interfaces gráficas, se le advierte que esta plataforma debe estar abajo para evitar algún accidente con el telescopio y la instrumentación asociada.

<sup>6</sup>[www.fastpath.it/products/palantir](http://www.fastpath.it/products/palantir)



## 6.4 La Vigilancia de las Computadoras del OAN-T

Con la finalidad de mantener algunos datos que permitan vigilar las computadoras del OAN-T, se instalaron agentes del *Simple Network Management Protocol* (SNMP). El SNMP es un protocolo de la capa de aplicación de TCP/IP que facilita la obtención de información de las computadoras y dispositivos de red que son monitorizados. SNMP permite a los administradores de redes manejar la configuración de los dispositivos de red, localizar y resolver problemas, así como planear el crecimiento de la red.

SNMP funciona bajo la arquitectura cliente-servidor, el servidor es el agente que se instala en cada una de las computadoras que van a ser administradas y el cliente es el programa que colecta la información de cada uno de los agentes. Con SNMP no sólo se pueden vigilar aspectos relacionados con la red, sino también parámetros de operación como puede ser número de usuarios en sesión, espacio ocupado en los discos duros, carga de trabajo promedio de una computadora (*load average*), cantidad de correo basura (*spam*) que recibe una computadora, entre otros.

En el OAN-T se instaló un agente en las computadoras fénix, tetlama y pirinola, la última funciona también como el cliente SNMP. Actualmente en la página del OAN-T, únicamente se despliegan las estadísticas del tráfico de la red a través del *firewall*.

La información se grafica utilizando el *Multi Router Traffic Grapher* (MRTG)<sup>7</sup>. Es una herramienta que permite acumular los datos generados por los agentes SNMP y generar una estadística básica del servicio supervisado. MRTG genera páginas HTML que contienen imágenes con las gráficas de los datos obtenidos. En la figura 6.4 se muestran unas gráficas del tráfico hacia el exterior de la red del OAN-T.

## 6.5 La Implementación del Firewall

Es muy conocido en Internet que si un administrador de red no es lo suficientemente cuidadoso, puede comprometer la seguridad de sus sistemas. El OAN-T no es la excepción, por tal motivo se instaló un firewall en la computadora pirinola. Se implementó con la herramienta *iptables*<sup>8</sup> que viene incluida en los núcleos 2.4.x y 2.6.x de Linux. Iptables realiza el filtrado de paquetes, la traducción de direcciones y puertos de red (NA[P]T) o bien la modificación de los paquetes que pasan por una red. Iptables es un sistema bastante seguro ya que las reglas de filtrado se insertan en la sección del manejador de red en el núcleo de Linux, de tal manera que cada paquete recibido por la red se verifica si cumple con alguna de las reglas de tránsito, en caso contrario se desecha.

Adicionalmente a su capacidad de filtrado, en el OAN-T se utilizó iptables para implementar una red privada (que actualmente es la 192.168.223.x) porque el Observatorio solo cuenta con dos direcciones IP válidas cedidas por el INAOE. Esta funcionalidad de iptables es la que se utiliza para enrutar los paquetes dirigidos al programa ACME y a la IGU-L (véanse las figuras 4.14 y 5.10), en las computadoras tetlama y fénix, respectivamente.

---

<sup>7</sup>[www.mrtg.org](http://www.mrtg.org)

<sup>8</sup>[www.netfilter.org](http://www.netfilter.org)

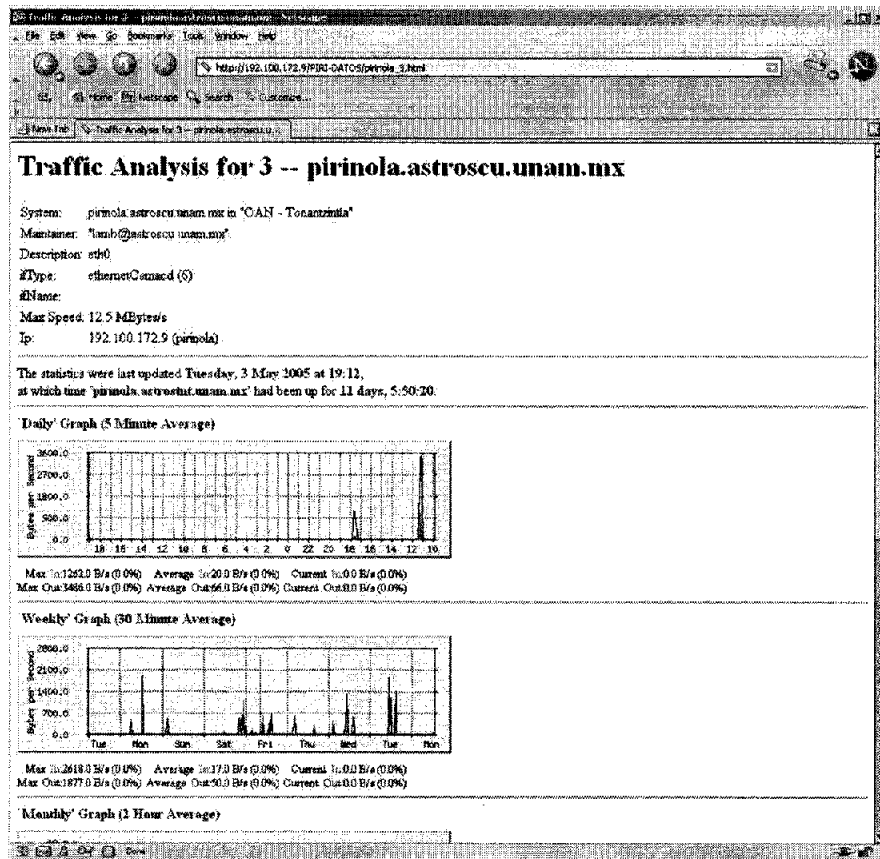


Figura 6.4: Ventana de un navegador con las gráficas generadas por MRTG.

Hora	Origen	Mínimo (s)	Promedio (s)	Máximo (s)	Desv. Est. (s)
05:00	firewall	8.78	9.02	9.70	0.39
	fénix	8.86	10.31	12.70	1.89

Tabla 6.1: Tiempo empleado en el envío de 2 MB de datos desde el OAN-T al IAUNAM con el comando ttcp.

Hora	Origen	Mín.(KB/s)	Prom. (KB/s)	Máx. (KB/s)	Desv. Est. (KB/s)
05:00	firewall	206.19	228.09	227.83	9.04
	fénix	157.50	199.05	225.77	34.09

Tabla 6.2: Tasa de transmisión durante el envío de datos entre el OAN-T y el IAUNAM correspondiente a los tiempos de la tabla 6.1.

## 6.6 Sobre el Desempeño de los Elementos Adicionales

De todos los elementos adiciones del SOR-T descritos en este capítulo, el único que puede afectar el desempeño de la operación del telescopio y la adquisición de imágenes es el firewall. Con la finalidad de averiguar el retraso que induce el firewall, especialmente durante la transmisión de las imágenes se realizó una prueba de envío de datos. La prueba consistió en el envío de 20 paquetes de 2 MB de datos mediante `ttcp` que es un comando estándar de UNIX. `Ttcp` contabiliza el tiempo de transmisión y recepción de datos. En la primera prueba los datos se transmitieron desde la computadora fénix y pasaron a través del firewall que los enrutó hasta el IAUNAM y en la segunda se transmitieron desde el firewall al IAUNAM.

En la tabla 6.1 se muestran el tiempo que tomó la transmisión de los datos a la hora en que se tuvieron los datos más pequeños para el RTT del comando ping mencionado en la última sección del capítulo 4 y en la tabla 6.2 las tasas de transmisión correspondientes. Como se puede observar, el retraso que ocasiona la tarea de filtrado y enrutamiento del firewall es mínima y en la práctica, es imperceptible para el usuario.

## Capítulo 7

# Conclusiones y Líneas de Trabajo Futuras

### 7.1 Conclusiones

El objetivo de esta tesis ha sido el diseño e implementación de una arquitectura para el sistema de observación remota del OAN-T. A continuación se listan cada uno de los resultados alcanzados en lo que respecta al SOR-T.

#### Sobre la Implementación del SOR-T

- Se propuso e implementó una arquitectura para realizar observaciones remotas con el telescopio de 1 metro de diámetro del OAN-T, que integra la instrumentación disponible en el OAN-T y que puede ser operada a distancia. La modularidad de la arquitectura propuesta permite la integración de instrumentación nueva. La única restricción que se impone es el uso de la interfaz Ethernet y el protocolo TCP/IP.
- El SOR-T permite operar el telescopio a distancia con la misma funcionalidad como si el usuario estuviera en el observatorio lo que permite asegurar que los resultados observacionales que obtiene un usuario remoto son los mismos de un usuario local.
- Con el SOR-T se pueden obtener las imágenes del detector CCD del OAN-T en formato FITS desde el paquete IRAF, aprovechando todo su potencial para el procesamiento de imágenes. Con los programas implementados, un usuario experimentado en el uso de IRAF tiene la flexibilidad de crear programas nuevos para obtener secuencias de imágenes e incluso desarrollar procedimientos de análisis para buscar elementos de interés en las imágenes de manera automática.
- Se implementó un conjunto de elementos auxiliares para el usuario del SOR-T: se instaló un firewall con lo que se protege la red interna del OAN-T de ataques externos y se implantó una red privada para enlazar a todas las computadoras del observatorio y así disponer de más direcciones IP. Se instaló el programa de dominio público Gnomemecting para tener un enlace de videoconferencia entre el IAUNAM en Ciudad Univesitaria y el OAN-T. Se instaló una página web desde la

cual se puede acceder a una cámara de vigilancia ubicada en el piso del telescopio y a las estadísticas de un grupo de variables para saber las condiciones actuales de las computadoras, del tráfico en la red, etc.

### **Sobre el Desempeño del SOR-T**

- Desde su instalación a finales de 2003 hasta la fecha, las interfaces gráficas para operar el telescopio han funcionado adecuadamente, si bien la opción remota ha sido menos utilizada (debido principalmente a problemas con la red OAN-T/IAUNAM), no ha ocurrido lo mismo con interfaz local. Por dos años consecutivos, la IGU-L ha sido usada durante las temporadas (de octubre a mayo) en las cuales las condiciones atmosféricas han permitido realizar observaciones astronómicas en el OAN-T.
- En lo que respecta a la operación del SOR-T, como todo sistema distribuido, se ve afectado por el rendimiento de la red pública de la que se hace uso. En la práctica, se ha observado que el SOR-T funciona de manera adecuada cuando el recorrido de los paquetes de ida y vuelta del comando ping (usando como una métrica empírica) entre el IAUNAM y el OAN-T se encuentra en el intervalo que va de los 20 a los 200 ms de manera sostenida, sin grandes variaciones. Esta condición se cumple de las 19:30 horas en adelante, lo que asegura que el SOR-T funcionará adecuadamente durante las noches de observación. De los resultados presentados en el capítulo 6, se puede concluir que la inclusión del firewall a la red del OAN-T, en la práctica no afecta el funcionamiento del SOR-T e incluso su inclusión o eliminación es imperceptible para el usuario en términos de tiempo.
- Es necesario buscar una alternativa para agilizar el enfoque del telescopio, ya que el procedimiento actual es muy lento y de ser posible debe automatizarse. Cabe señalar que este proceso no depende directamente del SOR-T, sino de las capacidades del sistema de adquisición de imágenes (PMIS y la electrónica de adquisición de imágenes).

## **7.2 Líneas de Trabajo Futuras**

El proyecto Observación Remota tiene como objetivo último a largo plazo, lograr la robotización del telescopio de 1m del OAN-T. El SOR-T planteado en esta tesis es un primer paso en la consecución de esta meta. Muchas son las líneas de trabajo que quedan abiertas a partir de los resultados de la presente tesis.

- Hacer un estudio detallado del desempeño del SOR-T.
- Hacer las modificaciones al SCT y las interfaces del telescopio para agregar los controles y las imágenes de la cámara que se instalará en el buscador del telescopio. Incluir al SOR-T todos los controles de los diferentes componentes del observatorio que se vayan automatizando como el iris del telescopio, la tapa de protección del buscador, la cortina de la cúpula, etcétera.

- Automatizar la cúpula y hacer los cambios en las interfaces del telescopio para indicar la posición de ésta.
- Agregar catálogos de objetos astronómicos a las interfaces de usuario. Los catálogos pueden ser locales con listas de objetos o bien establecer los mecanismos para acceder a grandes bases de datos astronómicas públicas disponibles en Internet.
- Actualmente los encabezados de las imágenes FITS contienen la información mínima, en un futuro habrá que agregar datos tales como el tiempo sidereal, la hora local, la ascensión recta, declinación, fecha, etcétera; para facilitar el proceso de reducción de datos.
- Estudiar la posibilidad de migrar de IPv4 a IPv6 para utilizar la infraestructura de Internet 2, y la creación en la red interna del OAN-T de una isla IPv4 para aquellos dispositivos que no lo puedan hacer.
- A partir del sistema de adquisición de imágenes del SOR-T y utilizando las capacidades de programación de IRAF, explorar la factibilidad de hacer nuevos programas para la adquisición de secuencias de imágenes y el procesamiento automático de datos. Como el caso la adquisición de campos planos que se utilizan en la calibración de las imágenes astronómicas.
- Determinar la factibilidad de establecer un banco de datos con todas las imágenes obtenidas en el OAN-T para un futuro observatorio virtual.

## Referencias

- [ALAMI98] Angeles, F., B. Sánchez L. A. Martínez y A. Iriarte: *Prototipo del Sistema de Observación Remota de Imágenes del OAN-Tonantzintla*. Reporte Técnico RT-98-02, Instituto de Astronomía, UNAM, 1998.
- [Bab53] Babcock, H. W.: *The Possibility of Compensating Astronomical Seeing*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 65:229–236, 1953.
- [Bar95] Baruch, J. E. F.: *Robotic Observatories*, capítulo The Development of a Robotic Telescope System at Bradford, páginas 21–26. Wiley-Praxis Series in Astronomy and Astrophysics. John Wiley & Sons, 1995.
- [Bar00] Baruch, J. E. F.: *The Future of Robotic Telescopes for Education*. Publications of the Astronomical Society of Australia, 17:119–124, 2000.
- [BC96] Baruch, J. E. F. y M. J. Cox: *Remote Control and Robots: An Internet Solution*. IEE Computing and Control Engineering Journal, páginas 39–45, Febrero 1996.
- [BLP<sup>+</sup>02] Bakos, G. A., J. Lazar, I. Papp, P. Sari y E. M. Green: *System Description and First Light Curves of the Hungarian Automated Telescope, an Autonomous Observatory for Variability Search*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 114:974–987, 2002.
- [Bod95] Bode, M. F. (editor): *Robotic Observatories*. Wiley - Praxis Series in Astronomy and Astrophysics. John Wiley & Sons, 1995.
- [Bok55] Bok, B. J.: *Size and Type of Telescope for a Photoelectric Observatory*. Astronomical Journal, 60:31–32, 1955.
- [Boo94] Booch, Grady: *Object Oriented Analysis and Design*. Addison-Wesley, segunda edición, 1994.
- [BRJ99] Booch, Grady, James Rumbaugh y Ivar Jacobson: *The Unified Modeling Language User Guide*. Object Technology Series. Addison-Wesley, 1999.
- [BSI98] Bernal, A., B. Sánchez y A. Iriarte: *Remote Control for the OAN 1 m Telescope at Tonantzintla, Puebla*. En Lewis, H. (editor): *Telescope Control Systems III*, volumen 3351 de *Proceedings of SPIE*, páginas 354–360. SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998.

- [CMVP02] Carlo, E. Di, F. Massi, G. Valentini y A. Di Paola: *Optical and Infrared Observations of the Supernova SN 1999el*. The Astrophysical Journal, 573:144–156, 2002.
- [Cod92] Code, A. D.: *The Wisconsin APT: The First Robotic Telescope*. En Filippenko, A. V. (editor): *Robotic Telescopes in the 1990s*, volumen 34 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, páginas 3–8. Astronomical Society of the Pacific, 1992.
- [Dou04] Douglass, Bruce Powel: *Doing Hard Time Developing Real-Time Systems with UML, Objects, Frameworks, and Patterns*. Object Technology Series. Addison Wesley, 6a. edición, 2004.
- [dSP03] Silva, Paulo Pinheiro da y Norman W. Paton: *User Interface Modeling in UMLi*. IEEE Software, 20(4):62–69, July/August 2003.
- [FLTM01] Filippenko, A. V., W. D. Li, R. R. Treffers y M. Modjaz: *The Lick Observatory Supernova Search with the Katzman Automatic Imaging Telescope*. En Chen, W. P., C. Lemme y B. Paczynski (editores): *Small-Telescope Astronomy on Global Scales*, volumen 246 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, páginas 121–130, 2001.
- [GB94] Gutiérrez, L. y A. Bernal: *Computerized Control for a Telescope*. Instrumentación y Desarrollo, 3(4):17–19, 1994.
- [GB95] Gutiérrez, L. y A. Bernal: *Sistema Computarizado de Control del Telescopio de Tonantzintla*. Reporte Técnico RT-95-01, Instituto de Astronomía, UNAM, 1995.
- [GBB+04] Gassler, W., T. Bertram, F. Briegel, T. Driebe, M. Heininger, E. Nusbaum, C. Storz, J. Wang, L. Zealouk, T. M. Herbst, R. Ragazzoni, A. Eckhardt y G. Weigelt: *UML Modeling of the LINC-NIRVANA Software*. En Lewis, H. y G. Raffi (editores): *Advanced Software, Control, and Communication Systems for Astronomy*, volumen 5496 de *Proceedings of SPIE*, páginas 79–87. SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2004.
- [GCD+04] Gelderman, R., M.T. Carini, D. R. Davis, M. E. Everett, E. F. Guinan, S. B. Howell, S. V. Marchenko, J. R. Mattox, C. H. McGruder III y D. K. Walter: *The Robotically Controlled Telescope (RCT) at KPNO*. Astronomische Nachrichten, 325(6-8):559–564, 2004.
- [GJM91] Ghezzi, Carlo, Medhi Jazayeri y Dino Mandrioli: *Fundamentals of Software Engineering*. Prentice Hall, 1991.
- [GKR94] GKR Computer Consulting & Photometrics, LTD.: *PMIS Image Processing Software User Manual, versión 3.0*, 1994.



- [Gom00] Gomaa, Hassan: *Designing Concurrent, Distributed, and Real-Time Applications with UML*. Object Technology Series. Addison Wesley, 4a. edición, 2000.
- [GRS01] Granzer, T., P. Reegen y K.G. Strassmeier: *The Wolfgang and Amadeus Automatic Photoelectric Telescopes*. *Astronomische Nachrichten*, 322(5/6):325–332, 2001.
- [LFCJ03] Li, W., A. V. Filippenko, R. Chornock y S. Jha: *The Katzman Automatic Telescope Gamma-Ray Burst Alert System, and Observations of GRB 020813*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115:844–853, 2003.
- [LSW86] Longair, M. S., J. M. Stewart y P. M. Williams: *The UK Remote and Service Observing Programme*. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 27:153–165, 1986.
- [Lyo39] Lyot, B.: *The Study of the Solar Corona and Prominences without Eclipses*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 99:580–594, 1939.
- [Mar68] Maran, S. P.: *Telescopes and Automation*. *Science*, 158:867–871, 1968.
- [MG00] Menascé, Daniel A. y Hassan Gomaa: *A Method for Design and Performance Modeling of Client/Server Systems*. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 28(11):1066–1085, Noviembre 2000.
- [MRRR02] Medvidovic, Nenad, David S. Rosenblum, David F. Redmiles y Jason E. Robbins: *Modeling Software Architectures in the Unified Modeling Language*. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 11(1):2–57, enero 2002.
- [MS95] Mullet, Kevin y Darrell Sano: *Designing Visual Interfaces Communication Oriented Techniques*. SunSoft Press - Prentice Hall, 1995.
- [REE+04] Rauer, H., J. Eislöffel, A. Erikson, E. Guenther, A. P. Hatzes, H. Michaelis y H. Voss: *The Berlin Exoplanet Search Telescope System*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116:38–45, 2004.
- [RJB98] Rumbaugh, James, Ivar Jacobson y Grady Booch: *The Unified Modeling Language Reference Manual*. Addison-Wesley, 1998.
- [RNG91] Roddier, F., M. Northcott y J. E. Graves: *A Simple Low-Order Adaptive Optics System For Near-Infrared Applications*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 103:131–149, 1991.
- [RT84] Raffi, G. y M. Tarenghi: *The Remote Control Run from La Serena, June 10-17, 1984*. *ESO Messenger*, (37):1–3, 1984. European Southern Observatory.

- [RTB03] Rigon, L., M. Turatto y S. Benetti: *SN 1999E: Another Piece in the Supernova-Gamma-Ray Burst Connection Puzzle*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 340:191–196, 2003.
- [RTF93] Richmond, M. W., R. F. Treffers y A. V. Filippenko: *The Berkeley Automatic Imaging Telescope*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 105:1164–1174, 1993.
- [RZ86] Raffi, G. y M. Ziebell: *Remote Control of 2.2-m Telescope from Garching*. ESO Messenger, (44):26–30, 1986. European Southern Observatory.
- [SBB<sup>+</sup>01] Stark, A. A., J. Bally, S. P. Balm, T. M. Bania, A. D. Bolatto, R. A. Chamberlain, G. Engargiola, M. Huang, J. G. Ingalls y K. Jacobs: *The Antarctic Submillimeter Telescope and Remote Observatory (AST/RO)*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 113:567–585, 2001.
- [SBEG97] Strassmeier, K. G., L. J. Boyd, D. H. Epanand y T. Granzer: *Wolfgang-Amadeus: The University of Vienna Twin Automatic Photoelectric Telescope*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 109:697–706, 1997.
- [SG96] Shaw, Mary y David Garlan: *Software Architecture Perspectives on an Emerging Discipline*. Prentice Hall, 1996.
- [Sho03] Shopbell, P. L.: *Remote Observing on the Keck Telescopes*. En Payne, H. E., R. I. Jedrzejewski y R. N. Hook (editores): *Astronomical Data Analysis Software and Systems XII*, volumen 295 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, páginas 170–173. Astronomical Society of the Pacific, 2003.
- [SMA<sup>+</sup>00] Sánchez, B., L. A. Martínez, F. Angeles, A. Bernal y A. Iriarte: *Manual de Observación Remota del OAN-Tonantzintla*. Reporte Técnico MU-99-03, Instituto de Astronomía, UNAM, 2000.
- [ST84] Smith, B. A. y R. J. Terrile: *A Circumstellar Disk around Beta Pictoris*. Science, 226:1421, 1984.
- [Ste98] Steele, I. A.: *An Object Model of the Liverpool Telescope*. En Lewis, H. (editor): *Telescope Control Systems III*, volumen 3351 de *Proceedings of the SPIE*, páginas 232–243. SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998.
- [Ste01] Steele, I. A.: *The Liverpool Telescope*. Astronomische Nachrichten, 322(5/6):307–310, 2001.
- [Ste04] Steele, I. A.: *The Liverpool Telescope*. Astronomische Nachrichten, 325(6-8):519–521, 2004.

- 
- [Wal01] Walton, Sam: *Linux Socket Programming*. SAMS, 2001.
- [ZWKR97] Zijlstra, A. A., A. Wallander, L. Kaper y J. A. Rodríguez: *Remote Observing at the ESO NTT and CAT Telescopes*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 109:1256-1263, 1997.

**TESIS COPILCO**  
TESIS  
ENCUADERNACIÓN

---

Medicina No 24 Interior P.B. Copilco Universidad  
Coyoacan, 04360, México, D.F.  
Tels. 5659 3435, 5658 1553