

PROYECTO DE GRADO 2004

Sistema Autónomo Para La Detección De Nubes y Bólidos



Facultad de Ciencias
Universidad de la República



Autores: Freddy Kugelmass y Graciela Chelle

Usuario Responsable: Dr. Gonzalo Tancredi

Supervisora: Sylvia da Rosa

Versión 6.11

Índice

Índice	3
1- Resumen	7
2 - Introducción	11
2.1 - Descripción general	13
2.2 - Objetivos.....	15
2.2.1 - Generales	15
2.2.2 - Específicos	15
2.3 - Antecedentes.....	16
3 - Motivación	21
3.1 - Desafío personal.....	21
3.2 - Desafío profesional.....	21
3.3 - Campos de interacción y áreas temáticas	21
3.4 - Interacción con dispositivos	22
3.5 - Estudios Interdisciplinarios	22
3.6 - Investigación.....	22
3.7 - Relevancia comercial.....	22
3.8 - Modernización de metodologías	22
4 - Estado del arte	27
4.1 - Métodos no terrestres.....	27
4.2 - Métodos terrestres.....	29
5 - Diseño	33
6 - Desarrollo, implementación y pruebas.	37
6.1 - Preliminares.....	37
6.2 - Módulo SCG	37
6.3 - Módulo SAI	38
6.4 - Módulo SDN diurno.	39
6.5 - Módulo SDN nocturno	42
6.6 - Módulo SCR	50
7 - Conclusiones	53
8 - Trabajo futuro.	57
Anexo I – Especificaciones técnicas y físicas de la cámara web	61
Anexo II – Formato de imágenes utilizado	63
Anexo III – Descripción del puerto USB	68
Bibliografía	73
Referencias	77

Resumen

1- Resumen

El Sistema Autónomo para la detección de Nubes y Bólidos (SADNB en adelante) es el resultado de un trabajo técnico desarrollado para el Observatorio Astronómico Los Molinos (OALM en adelante). El mismo fue presentado por el Departamento de Astronomía de la Facultad de Ciencias y aprobado por el Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería, como proyecto de grado (año 2004) en la Carrera de Ingeniería en Computación.

El SADNB formará parte del proyecto para la búsqueda de objetos cercanos a la Tierra (NEO por sus siglas en inglés Near Earth Objects) llamado BUSCA (Búsqueda Uruguaya de Supernovas, Cometas y Asteroides)^[1]. El objetivo principal del programa BUSCA es la búsqueda de NEOs así como el posterior seguimiento de los mismos para determinar sus órbitas. De esta forma se contribuye al objetivo marcado por la Comunidad Astronómica de completar el inventario de asteroides que se puedan aproximar a la Tierra y tengan un diámetro mayor de un kilómetro. El proyecto BUSCA surge debido a que los esfuerzos para descubrir NEOs han sido concentrados en el hemisferio norte y ninguno puede llegar a declinaciones sur mayores a -30° , dejando más de un 25% del cielo (buena parte del hemisferio sur celeste) sin cubrir. Se cuenta para ello con un telescopio reflector de 46 cm. de diámetro con cámara CCD adaptada.

Para que el programa BUSCA funcione en forma automática se requiere la existencia de un sistema (el SADNB) capaz de tomar en una foto una amplia parte del cielo, y realizar un posterior análisis de la foto tomada. Cumpliendo dos objetivos:

- Determinar las condiciones del cielo, de las cuales dependen las observaciones.
- Detectar la presencia de bólidos^[2].

Las fotos se toman mediante una cámara de tipo All-Sky. La Cámara All-Sky^[3] es un modelo de cámara automática que toma imágenes a color del cielo, en tiempo real, y procesa dichas imágenes para determinar las condiciones del cielo.

Mediante una red de estos sistemas se puede detectar bólidos desde varios sitios, lo que posibilita la triangulación y el cómputo de la órbita heliocéntrica del meteoro previa a su ingreso a la atmósfera, así como el cálculo de la trayectoria final para determinar el posible punto de caída del meteorito.

Por tanto el SADNB será el núcleo básico de una Red Nacional, cuyos nodos serán ubicados cerca de las Estaciones Meteorológicas u Observatorios Astronómicos, a los efectos de poner en marcha el programa BUSCA.

El proyecto consiste en desarrollar un sistema autónomo que integre las siguientes funcionalidades:

- Controlar una cámara tipo All-Sky.
- Adquirir imágenes periódicas diurnas y nocturnas.
- Procesar las imágenes para el cálculo del porcentaje de nubosidad.
- Reportar periódicamente a un sitio en Internet los resultados obtenidos del procesamiento y análisis de las imágenes tomadas por la cámara según las funcionalidades.

Será el primero en su tipo en funcionar en forma autónoma durante el día y la noche, con capacidad de detección automática de fracciones de nubosidad, y del nivel de insolación.

Para la realización de este proyecto se contó con un equipo de apoyo conformado por:

- Dr. Gonzalo Tancredi – Departamento de Astronomía – Facultad de Ciencias
- Técnico en Electrónica Alberto Ceretta – Observatorio Astronómico “Los Molinos” (M.E.C.)
- Msc. Ing. Enrique Latorres – Asesor informático

Otras fuentes de apoyo fueron:

- Meteorólogos de la unidad docente de Meteorología de Facultad de Ciencias.
- Astrónomos aficionados interesados en los meteoros.

Introducción

2 - Introducción

El SADNB tiene la función de gobernar un hardware (GABINETE) con una cámara en un montaje tal que permite tomar imágenes fijas de una amplia zona del cielo (diurno y nocturno), así como interpretar correctamente, de las imágenes tomadas el porcentaje, de cobertura de nubes.

El GABINETE contiene una cámara montada sobre un espejo (que es una sección esférica) y una pequeña estación meteorológica. Todo el conjunto de la cámara y el espejo puede pivotar sobre un eje, de forma tal de que pueda elevarse para su operación, e introducirse dentro del GABINETE en caso de necesitar transportarlo, o para resguardarlo de las inclemencias del tiempo.

El GABINETE en sí mismo es una caja plástica cuya tapa se desliza para permitir la operación de elevación, y que se cierra luego de la operación de introducción.

La comunicación con el GABINETE comprende el diálogo desde la computadora mediante tres vías:

- Un puerto serial, para el envío de órdenes y recepción de información de status.
- Un puerto paralelo para la comunicación con las modificaciones hechas a la cámara.
- Un puerto USB para recepción de las imágenes.

El software a desarrollar se dividió según las funcionalidades en el siguiente grupo de módulos:

- Software de Control de Gabinete
- Software de Adquisición de Imágenes
- Software de Detección de Nubes
- Software de comunicación de Resultados

Software de Control de Gabinete, SCG. El módulo SCG se encarga de la comunicación con el GABINETE y del manejo de los componentes del mismo. El SCG efectúa la apertura y cierre del GABINETE, y controla la modalidad día-noche de la cámara.

Software de Adquisición de Imágenes, SAI. El SAI se encarga de tomar las imágenes con la cámara web, en modalidad diurna o nocturna, y procesarlas para dejarlas listas para su análisis posterior.

En la modalidad diurna, el SAI utiliza la cámara sin habilitar la modificación de hardware, realizando varias tomas sucesivas y promediando el resultado.

En la modalidad nocturna, el SAI habilita la modificación de hardware de la cámara y se controla el tiempo de exposición por medio del puerto paralelo.

Como en las imágenes obtenidas aparece tanto la imagen del cielo como otras que no tienen interés, todas las fotografías pasan luego por un proceso

de "recorte". Tanto las imágenes obtenidas, como el resultado del análisis se almacenan en formato BMP.

Software de Detección de Nubes, SDN. El SDN se implementó diferenciando algoritmos de imágenes diurnas y nocturnas.

El algoritmo de detección diurna está compuesto por varios procesos sucesivos que analizan los porcentajes de los distintos colores presentes en la imagen y sus relaciones para determinar el porcentaje de nubosidad.

El algoritmo de detección nocturna está basado en la detección de nubes y en el conteo de estrellas. Dado que la cámara CCD es sensible al infrarrojo cercano, puede detectar la temperatura de la nube frente a la temperatura del cielo nocturno en el infrarrojo cercano. La polución luminosa nocturna (el resplandor de las ciudades) contribuye a hacer visibles las nubes al iluminarlas en el espectro visible, pero conspira porque oculta las estrellas más débiles.

Software de comunicación de Resultados, SCR. El SCR reporta resultados en Internet sobre imágenes, fracción de nubosidad y animación con imágenes seleccionadas.

En resumen: a través del módulo SAI se obtienen imágenes tomadas por la cámara, que serán procesadas y analizadas por el módulo SDN para obtener información que es enviada por el módulo SCR.

Con el fin de llevar a cabo las funciones descritas y con la idea de minimizar los costos y recursos tanto de hardware como de software se optó por realizar el desarrollo en ambiente Windows, por disponer de abundante información, soporte de hardware y herramientas de desarrollo.

La programación del análisis de las imágenes se desarrolló en lenguaje ANSI C, lo cual permitirá en posteriores versiones portarlo a otros entornos, como Linux.

Las interfaces visuales para el ajuste de parámetros funcionales y pruebas del equipo fueron desarrolladas en Visual Basic.

2.1 - Descripción general

La conformación del Hardware se puede observar en el esquema mostrado en la siguiente figura:

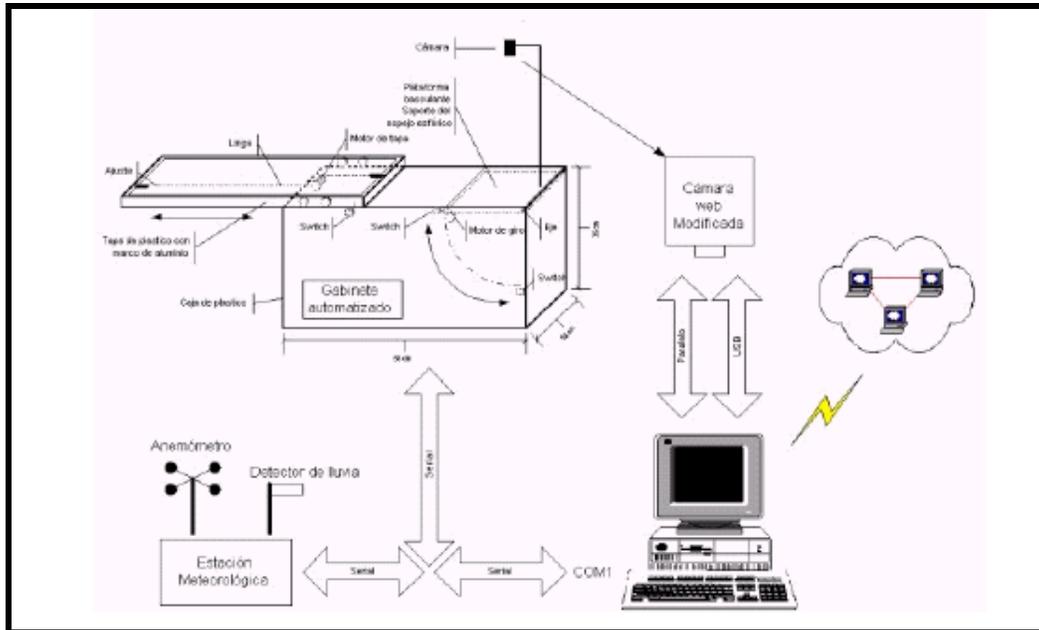


Figura 2.1. Esquema del Hardware.

El dispositivo a controlar es un GABINETE que contiene partes mecánicas y electrónica de control, y una plataforma pivotante sobre la cual está montada la parte óptica. La plataforma tiene un espejo esférico y sobre él la cámara, montada en un brazo solidario a la plataforma. El GABINETE automatizado tiene una tapa accionada por motores que permiten su apertura y cierre para protección de los delicados instrumentos internos.

El dispositivo de captura de imágenes es una cámara web con chip CCD marca Philips modelo ToUCam FUN - PCVC740K modificada. La modificación fue realizada por el técnico a cargo, para poder obtener exposiciones nocturnas controlando la duración de la exposición. También se adicionó un dispositivo de enfriamiento del chip CCD mediante un Peltier, dispositivo de enfriamiento electrónico.

El GABINETE contiene una pequeña estación meteorológica que consiste en un sensor de lluvia y un anemómetro, a partir de cuyos datos el GABINETE decide si las condiciones ambientales son tales que ameriten el cierre del instrumento. Asimismo responde a comandos que recibe y envía periódicamente información de estado por medio de un puerto serial.

En la siguiente figura podemos visualizar un esquema general del Software desarrollado:

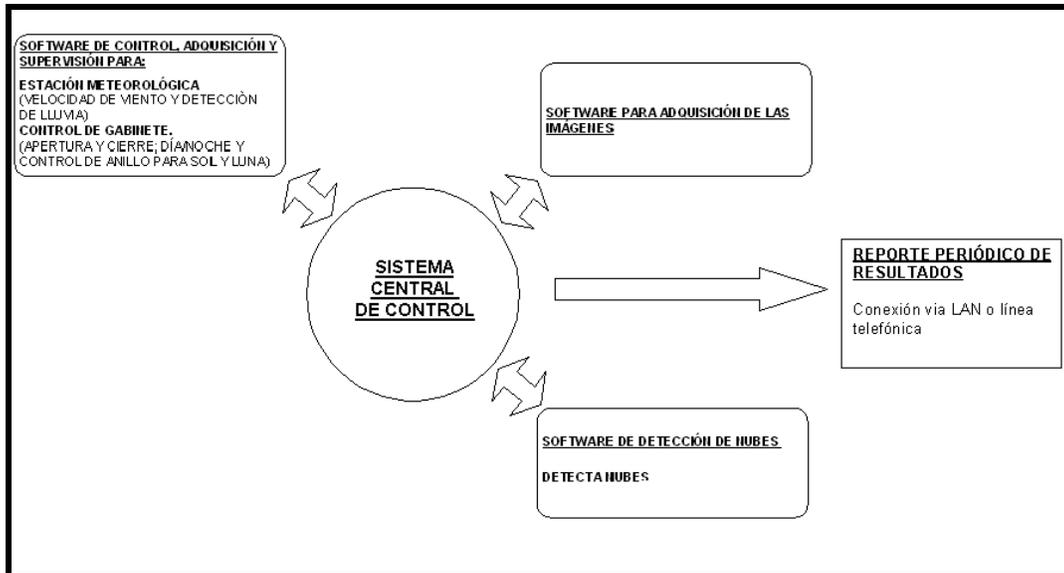


Figura 2.2. Diagrama del Software

El Software de Control de Gabinete (SCG) efectúa la apertura y cierre del GABINETE, controla la modalidad día-noche de la cámara.

El Software de Adquisición de Imágenes (SAI) se encarga de tomar las imágenes con la cámara web, en modalidad diurna o nocturna. Para ello se encarga de colocar la cámara en la modalidad deseada por medio de un comando, de recibir las imágenes por USB, y eventualmente controlar el tiempo de exposición por el puerto paralelo.

En la modalidad diurna, el SAI utiliza la cámara sin habilitar la modificación de hardware, realizando varias tomas sucesivas y promediando el resultado. En la modalidad nocturna, el SAI habilita la modificación de hardware de la cámara y se controla el tiempo de exposición por medio del puerto paralelo.

Como en las imágenes obtenidas aparece el espejo y parte de la plataforma todas las tomas pasan luego por un proceso de "recorte". Tanto las imágenes obtenidas, como el resultado del análisis se almacenan en formato BMP.

El Software de Detección de Nubes (SDN) se implementó diferenciando algoritmos de imágenes diurnas y nocturnas.

El algoritmo de detección diurna está compuesto por varios procesos sucesivos que analizan porcentajes de color.

El algoritmo de detección nocturna está basado en que la cámara CCD es sensible al infrarrojo cercano. Puede detectar la radiación de la nube frente a la radiación del cielo nocturno en el infrarrojo cercano. La polución luminosa nocturna (el resplandor de las ciudades) contribuye a hacer visibles las nubes al iluminarlas en el espectro visible.

El Software de Comunicación de Resultados (SCR) reporta resultados en Internet sobre imágenes, fracción de nubosidad y animación con imágenes seleccionadas.

2.2 - Objetivos

2.2.1 - Generales

Los objetivos del proyecto SADNB son:

- Proveer información acerca de las condiciones de cielo en el observatorio y reportar periódicamente los resultados a un sitio en Internet a través de una conexión LAN o línea telefónica.
- Integrar en un sistema central el software y hardware ya desarrollados o en desarrollo, así como desarrollar nuevos algoritmos para realizar algunas de las tareas pendientes (detección de nubes de día y noche, integrar el algoritmo de detección de bólidos y sus trayectorias, etc.)
- Tener en cuenta el minimizar los costos y recursos de hardware y software.
- Basados en el prototipo presentado, analizar y sugerir alternativas para integrar los sistemas y desarrollar las aplicaciones integradas de forma de realizar las funciones descritas.
- Que sea extensible, permitiendo incorporar otras funcionalidades a futuro.

2.2.2 - Específicos

Los objetivos específicos a lograr son los siguientes:

- El software requerido debe ser capaz de controlar el GABINETE, de comunicarse con el mismo a través del puerto serial por medio de comandos predefinidos, para permitir la apertura y cierre del mismo, encendido y apagado de un calentador incorporado, y recibir permanentemente el estado del GABINETE y sus sensores.
- Debe minimizar costos y recursos de hardware, lo cual permitirá la instalación de varios equipos distribuidos en todo el país. Su funcionamiento deberá ser automático las 24 horas del día.
- Debe realizar tomas diurnas y nocturnas; por tanto debe poder comunicarse con la cámara web modificada, vía puerto USB, para la

adquisición de imágenes y control de la misma, y vía puerto paralelo, para el control manual de la exposición nocturna.

- Una vez obtenidas las imágenes, debe ser capaz de reconocer la porción nubosa de las mismas y calcular el porcentaje de nubosidad, por tanto debe realizar un análisis de la imagen, que presenta desafíos distintos según sean tomas diurnas, nocturnas o en el período de amanecer y anochecer.

Debe reportar a un sitio web la información obtenida, así como alguna de las imágenes tomadas. Los datos obtenidos serán de gran utilidad para la comprobación de los modelos de predicción del tiempo y para estadísticas sobre evolución del clima en las distintas regiones del país.

2.3 - Antecedentes

Cronológicamente el SADNB nace de la necesidad de conocer remotamente las condiciones de observación en el primer observatorio del Programa BUSCA, a instalarse al norte del departamento de Maldonado. En este observatorio se instalará un telescopio reflector. Como este telescopio será controlado en forma remota a través de Internet, surge la necesidad de que el operador pueda tener una visión lo más completa posible del cielo nocturno, para una primera determinación de las condiciones de observación del cielo imperantes localmente. Con la finalidad de proveer la información sobre el estado del cielo al operador, es necesario contar con una cámara All-Sky, que es una cámara cuyo campo de visión abarca casi 180°. Esto se complementa con las mediciones de los sensores meteorológicos, que aportan al observador la suficiente cantidad de información a evaluar para determinar la apertura o no de la cúpula que protege al telescopio principal.

Las primeras y exitosas pruebas permitieron ampliar estos objetivos y se propuso desarrollar un software que complementara el sistema, con la finalidad de procesar las imágenes de manera automática para la detección de bólidos y el cálculo del porcentaje de nubosidad.

Algunas de las funcionalidades originales fueron cambiadas o pospuestas durante el curso del proyecto, debido a que concurrentemente con el desarrollo del mismo, se estaba probando el GABINETE, que está compuesto por la cámara All-Sky modificada para tomas de larga exposición, y una pequeña estación meteorológica. La cámara se encuentra dentro del GABINETE, el cual se abre para permitir la operación, y se cierra si las condiciones climáticas son adversas o si recibe la orden directa de cerrarse. Durante el curso del año 2004 el equipo de desarrollo de hardware comprobó el funcionamiento del mismo en condiciones reales a la intemperie, constatándose la necesidad de una serie de modificaciones al mismo a los efectos de solucionar problemas prácticos de funcionamiento y de minimizar el mantenimiento.

Para compatibilizar el desarrollo del proyecto SADNB en cuanto a los límites de tiempo establecidos para los proyectos de grado de la Facultad de Ingeniería, se minimizó cualquier modificación mecánica del hardware para tenerlo disponible el mayor tiempo posible, sacrificando algunas funcionalidades en el alcance del presente proyecto. Por ejemplo, originalmente la cámara se ayudaba de un sistema mecánico para ocultar el Sol y la Luna. En las pruebas prácticas realizadas a la intemperie el mismo no resultó ni eficiente (se trancaba por ser muy susceptible a las inclemencias del tiempo) ni eficaz (su uso imponía una pérdida de una fracción importante del cielo en las fotos), por lo que se optó eliminarlo. Esto limitó en principio el alcance del análisis nocturno, en tanto se diseñaba un sistema mejor.

El uso de la cámara proporcionada también impuso limitaciones al proyecto: la posibilidad de controlar autónomamente todos los aspectos necesarios para obtener buenas tomas nocturnas (Brillo, gamma, contraste, saturación, balance de blanco, velocidad de obturación y ganancia) en todas las condiciones demostraron ser en la práctica sumamente limitadas, lo cual repercutió negativamente el posible análisis de las tomas nocturnas en condiciones lejanas a las ideales, que se encuentran por ejemplo en una noche sin luna.

Por otra parte, el equipo de desarrollo del algoritmo de detección de bólidos determinó que el algoritmo no estaba apto para ser evaluada su integración al presente proyecto. Esto sucedió porque para la fecha propuesta para integrarlo, el equipo requería más pruebas con imágenes obtenidas con la cámara; por lo que fue descartada la detección de bólidos.

Por tanto para el presente proyecto:

- Se eliminó la funcionalidad de detección de bólidos
- Se limitaron las tomas nocturnas a noches sin Luna o períodos nocturnos donde no es visible.
- Se limitó el algoritmo de determinación de nubosidad nocturna a detectar 0% o 100% de nubosidad.

Motivación

3 - Motivación

Dentro de las propuestas presentadas nos llamó la atención el título de este proyecto, por lo que comenzamos a tomar conocimiento sobre el tema. Luego de evaluarlo nos encontramos motivados por los siguientes factores:

- Desafío personal
- Desafío profesional

3.1 - Desafío personal

Al interiorizarnos de los pormenores del sistema a controlar, lo vimos como un gran desafío para nosotros. No solo porque debíamos interactuar con mecanismos físicos, a diferencia del software que habitualmente hemos desarrollado en los cursos de Facultad, sino porque este software necesariamente tendría que poder adaptarse a situaciones climáticas cambiantes.

3.2 - Desafío profesional

A partir de nuestra investigación sobre el particular hemos visto que el reconocimiento de la cobertura de nubes en imágenes es un tema de amplio estudio desde hace varias décadas. Comienza de la mano de la fotografía satelital, y han sido variados los enfoques aplicados a resolver el problema. Algunos de los métodos empleados son: el uso de distintas longitudes de onda (visibles, infrarrojas, ultravioleta, radar), polarímetros^[4], filtros y correlaciones realizadas con observaciones manuales. Todas estas técnicas son empleadas tanto basadas en tierra como en satélites^[5].

3.3 - Campos de interacción y áreas temáticas

También vimos los múltiples campos de interacción, tanto actuales como futuros, para desarrollar proyectos de observación de las condiciones meteorológicas que permite relevar el GABINETE (nubosidad diaria, detección de lluvia y registro de la velocidad del viento), de importante e inmediata aplicación en áreas temáticas de:

- *Aplicaciones Forestales y Agricultura:* una estadística regional permite detectar ciclos locales y dar información para determinar el rendimiento de cultivos^[6].
- *Insolación diaria:* determinar el aprovechamiento de la energía solar.
- *Meteorología y Medio Ambiente:* establecer una base de datos que de origen a estadísticas detalladas del tiempo en diversas regiones de nuestro país, así como detectar tendencias locales y regionales, y las modificaciones de las mismas.
- *Ingeniería:* teniendo un relevamiento estadístico de las condiciones meteorológicas en las distintas regiones de nuestro país se pueden establecer mejor la influencia del clima en el avance de obras de infraestructuras camineras, estructurales, etc.

- *Recursos Hídricos:* con una estadística regional de lluvias, porcentaje de nubosidad e indirectamente, de radiación solar, se puede prever hasta cierto punto la evolución del cauce de ríos y arroyos de nuestro país.
- *Incendios Forestales:* el estudio estadístico puede ayudar a determinar zonalmente las tendencias que determinen en qué época del año levantar las alertas de incendio.

3.4 - Interacción con dispositivos

Las áreas en las que teníamos que involucrarnos al realizar este proyecto eran Control, Sensores e Instrumentación, Tratamiento Digital de Imágenes, Reconocimiento de Formas y Patrones, sobre todo en condiciones que no son controladas (de laboratorio), áreas en las cuales no es habitual para un estudiante de nuestro medio moverse.

3.5 - Estudios Interdisciplinarios

Para poder integrar las funcionalidades solicitadas teníamos que interiorizarnos en temas de Física y Astronomía, e interactuar con usuarios de importante trayectoria y con gran especialización en los temas.

3.6 - Investigación

Este proyecto nos ofrecía la posibilidad de aplicar la informática y desempeñarnos en un trabajo que tenía un matiz de investigación, y de aplicación inmediata, viéndose los resultados enseguida, y dejando abierta una puerta a la expansión del sistema con mejoras posteriores.

3.7 - Relevancia comercial

Comercialmente es importante tener disponibles sistemas de reconocimiento automático de nubes en las imágenes satelitales, dado el uso de las mismas en el diagnóstico de cosechas, la prospección de minerales y petróleo, la identificación de plagas o la búsqueda de agua.^[7]

Dispositivos que relevan la presencia de nubes en el cielo tienen un valor de venta de entre U\$S 600 y U\$S 15.000. ^{[8],[9]}

3.8 - Modernización de metodologías

La estimación de la fracción nubosa se hace tradicionalmente mediante la división del cielo en 8 gajos (sectores) y el conteo visual del número de sectores nubosos. Esta es la metodología que utiliza el personal de la Dirección Nacional de Meteorología para hacer las estimaciones, varias veces al día.

Mediante el uso de un sistema automático la estimación de la fracción nubosa deja de depender de un observador entrenado.

Al ser de bajo costo, permite con recursos económicos modestos la instalación de varios equipos distribuidos en todo el país. Además funcionaría en forma autónoma durante el día y la noche. Los datos referidos a fracción de nubes son de gran utilidad para la comprobación de los modelos de predicción del tiempo y para estadísticas sobre la evolución del clima en distintas regiones del país, pudiendo sentar una base estadística científica sobre irradiación solar.

Por tratarse de un trabajo enmarcado dentro de todo lo mencionado y de relevancia científica es por lo que creímos que era de mucho interés realizar este proyecto.

Estado del arte

4 - Estado del arte

Dentro de los distintos aspectos que involucra este proyecto estudiamos cuál es el estado de arte en los mismos, así como qué se hace en nuestro país.

En el área de detección de nubes, para hacer las estimaciones del porcentaje de nubosidad, la metodología que utiliza el personal de la Dirección Nacional de Meteorología en nuestro país se basa en la estimación de la fracción de nubosidad, que se hace tradicionalmente mediante la división del cielo en 8 gajos (sectores) y el conteo visual del número de sectores nubosos.

Los sistemas de detección autónomos de nubes han avanzado mucho, sobre todo en la última década, mediante el advenimiento de las cámaras digitales.

A través de una búsqueda en Internet hemos encontrado distintos dispositivos y métodos, los cuales cuestan desde algunos miles de dólares a varias decenas de miles dólares, y básicamente se dividen en:

- Métodos basados en imágenes tomadas desde el espacio (métodos no terrestres).
- Métodos basados en imágenes tomadas desde tierra (métodos terrestres).

4.1 - Métodos no terrestres.

Los métodos aéreos son en su mayoría satelitales, y se basan normalmente en el estudio de imágenes tomadas en distintas longitudes de onda. Estas imágenes se pueden obtener con una sola cámara y varios filtros, consiguiendo imágenes sucesivas en distintas longitudes de onda, o mediante varias cámaras cada una con su filtro sensible a un rango determinado de longitud de onda, todas ellas tomando las imágenes en forma coordinada y simultánea.

El espectro electromagnético es un espectro continuo de todos los tipos de radiación electromagnética. En el espectro, la Radiación Electromagnética, es ordenada generalmente de acuerdo a su longitud de onda o frecuencia. La Figura 4.1 muestra el espectro electromagnético dividido en regiones.

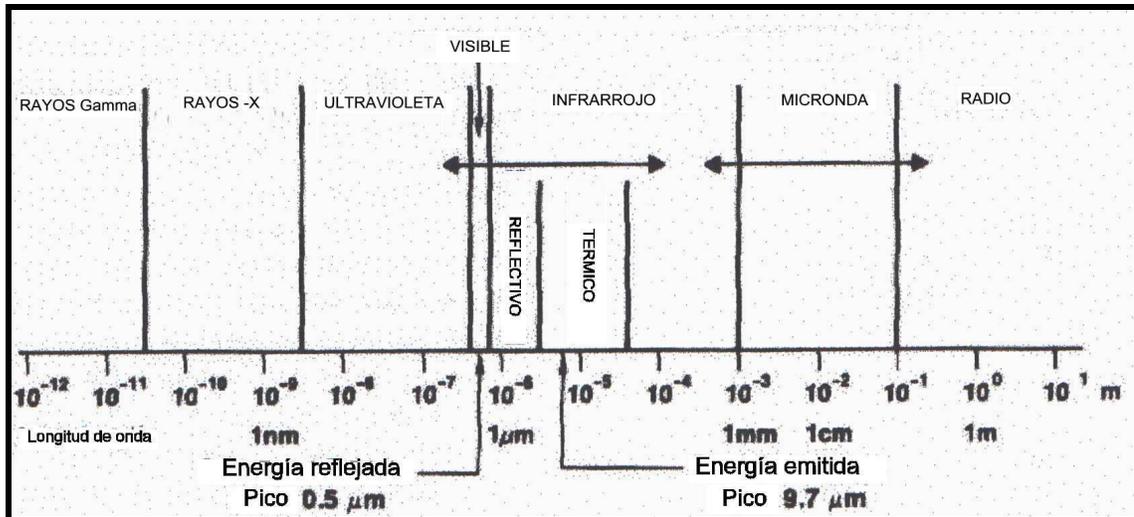


Figura 4.1. El espectro electromagnético con los tipos de radiación por regiones de longitud de onda.

La figura 4.2 muestra el espectro visible.

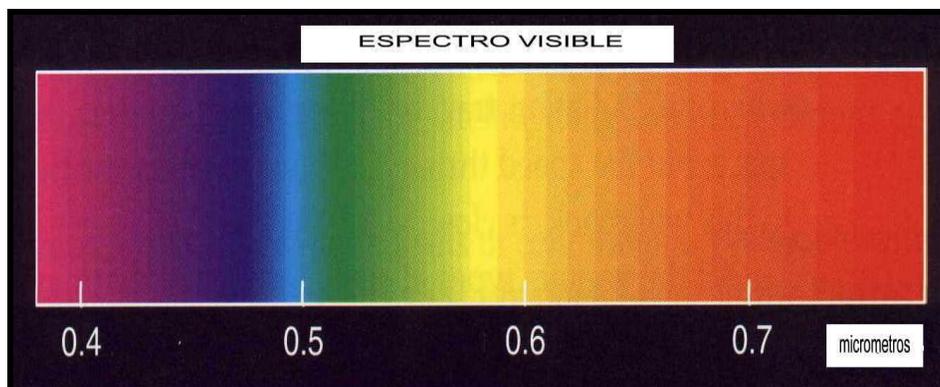


Figura 4.2. Longitudes de onda y colores correspondientes aproximados en el espectro visible.

Los objetos emiten energía en rangos específicos de longitudes de onda, que son normalmente conocidos como espectro del objeto.

El análisis y registro remoto describe las mediciones de propiedades físicas de un objeto obtenidas a distancia. La radiación es la energía emitida en forma de ondas por todas las sustancias que no están al cero absoluto.

Los sistemas de análisis y registro remoto se basan en la radiación electromagnética y operan en diferentes partes del espectro: visible (VIS), infrarrojo (IR) y microonda (MW).

Hemos visto que estos métodos son usados en el estudio de un período de varios años. Este estudio permite realizar un análisis estadístico para la identificación del clima de regiones⁵. El resultado de este estudio permite identificar las características que diferencia imágenes con y sin nubes, y

como estas características varían a lo largo de los distintos regímenes climáticos.

4.2 - Métodos terrestres.

Los métodos basados en tierra implican la utilización de cámaras tipo All-Sky, con el uso de filtros y polarímetros. Los métodos implican un estudio que se prolonga por meses o años, realizando correlaciones y análisis estadísticos. Hemos observado que para simplificar y acotar el tiempo necesario para optimizar los algoritmos se hacen ciertas limitaciones en las observaciones. De esta forma nacen algoritmos que sirven exclusivamente para imágenes nocturnas en noches sin luna^[10], el uso de filtros para analizar exclusivamente una longitud de onda^[11], la utilización de tres cámaras simultáneas con filtros de polarización lineal montados en un eje y tres longitudes de onda^[4], para hacer estudios comparativos.

Actualmente se pueden adquirir dispositivos comerciales similares al de este proyecto, como por ejemplo el producto "Total Sky Imager"^[12].

También, hemos encontrado documentos donde se ha comparado la performance de diferentes sistemas de detección de nubes^{[13],[14]}.

Incluso se han utilizado redes neuronales a los efectos de resolver este problema.^[15]

En resumen, hemos encontrado que las cámaras All-Sky son un buen sistema alternativo a las observaciones humanas en la detección de la cobertura de nubes, aunque solo se puede obtener la cobertura total. Se han encontrado algunas dificultades en la detección de nubes altas o tenues. Para ello se utilizan pequeños bancos de datos de observaciones visuales para comparar con las imágenes tomadas de las cámaras All-Sky. Toda esta problemática exige un esfuerzo en ajustar el análisis y la evaluación automática de imágenes.

El resto de las técnicas han mostrado tener la misma problemática. Obviamente, cada método se concibe para un uso particular y por ello no pueden compararse directamente. Actualmente se trabaja mejorando estas técnicas probando otros métodos similares.

Diseño

5 - Diseño

Se partió del relevamiento de la información brindada por parte de los responsables del proyecto, y de los módulos desarrollados por el técnico que diseñó el GABINETE.

El módulo de Software de Control, Adquisición y Supervisión para Estación Meteorológica y Gabinete proporcionado fue desarrollado en LabView, un entorno de trabajo para el sistema operativo Windows que facilita la comunicación con dispositivos externos desde un PC. El mismo es un entorno, no genera ejecutables independientes; aunque se podría llegar a acceder al entorno por medio de componentes ActiveX. De todas maneras, esta forma de acceder implica el pago de licencias. Este módulo, aunque era eficiente, fue desarrollado pensando en la operación manual del GABINETE. No contemplaba elementos que hicieran posible el funcionamiento en forma autónoma.

Considerando que la forma de comunicación con el GABINETE es por medio del puerto serial decidimos que por costo y simplicidad de este módulo sería desarrollado nuevamente.

Para el módulo de Software para Adquisición de las Imágenes se proporcionó un paquete conocido con el nombre K3CCD^[16]. El mismo fue concebido para manejar cámaras web modificadas para tomas de larga exposición. El programa funciona en el entorno Windows y tiene la posibilidad de ejecutar un lenguaje de scripting con capacidades limitadas. El paquete es altamente eficiente en cuanto a sus objetivos, y además tiene incorporado una serie de funcionalidades para manipular las imágenes obtenidas. El paquete K3CCD es legendario dentro del campo de la astronomía aficionada, y un punto de referencia obligado para cualquier otro paquete similar.

El paquete originalmente se distribuía con licenciamiento Shareware, y permitía el uso del mismo por un período de tres meses. Finalizado el mismo era necesario solicitar una nueva licencia por otros tres meses. Esto planteaba un problema de mantenimiento, considerando que el SADNB iba a estar instalado en zonas alejadas y se requiere que su funcionamiento sea autónomo.

Además, a partir de agosto del 2004, el paquete cambió su forma de licenciamiento, convirtiéndose en un paquete netamente comercial: no se puede renovar la licencia luego del período de prueba.

Por todo esto decidimos descartar este producto e investigar otros similares. Los productos encontrados eran muy primitivos o no llegaban a cubrir las prestaciones requeridas, o bien requerían el pago de licencias onerosas. Con lo cual decidimos estudiar la factibilidad de un desarrollo propio como alternativa a la adquisición de un producto. Este estudio de factibilidad determinó posteriormente la elección del sistema operativo para trabajar.

Nuestras opciones para el Sistema Operativo eran Windows, originalmente elegida por el técnico, o Linux como alternativa de un Sistema Operativo sin costo. Por tanto, lo primero que investigamos fue la existencia de drivers proporcionados por el fabricante. Encontramos mucha documentación de la cámara en el ambiente Windows. Además la cámara no viene en forma nativa con drivers para Linux, aunque se consigue un driver para la misma.

Para el producto final se tenía que tener en cuenta el costo (licencias de software), la abundancia de información disponible, el soporte del fabricante de la cámara, y las herramientas de desarrollo disponibles.

El resultado de nuestro análisis se ve reflejado en la siguiente tabla comparativa de características de los dos ambientes:

Característica	Ambiente Windows	Ambiente Linux
Costo	Valor de la licencia.	Costo de la distribución elegida.
Documentación de APIs relacionadas al proyecto	Abundante, tanto de los proveedores como investigación de terceros.	Abundante.
Disponibilidad de drivers proporcionados por el fabricante	Si.	No existe driver ni documentación del fabricante de la cámara.
Acceso a proyectos que involucren módulos similares a los definidos en el proyecto para la integración con el Hardware	Gran variedad, involucrando distintas tecnologías. Disponibilidad de ejemplos.	No fueron encontrados módulos similares. Se encontró documentación sobre el manejo de la cámara solamente en condiciones normales.
Existencia de software gratuito relacionado con el proyecto	Existe en abundancia, pero el encontrado no se adapta totalmente a las características del proyecto.	Fueron encontradas algunas referencias.
Disponibilidad de herramientas de desarrollo	Abundantes.	Existentes.

Se optó por hacer el desarrollo en un entorno Windows, aprovechando al máximo las funcionalidades que provee y realizando los algoritmos específicos en lenguaje ANSI C de forma tal que en un futuro pueda ser fácilmente portado a otros entornos (Linux).

Desarrollo, implementación y pruebas

6 - Desarrollo, implementación y pruebas.

6.1 - Preliminares.

Este proyecto tuvo la dificultad de desarrollarse mientras el GABINETE se encontraba en fase de pruebas y correcciones, lo que en definitiva implicó ciertas limitaciones en cuanto al uso del GABINETE por parte de los integrantes de este proyecto.

Las necesarias modificaciones a las que fue sometido el GABINETE para resolver los problemas de orden práctico que fueron surgiendo condicionaron un poco el orden de desarrollo de los distintos módulos. Algunas de esas dificultades implicaron además un cambio en los objetivos, como fue mencionado, modificando el alcance del proyecto en la fase nocturna, lo que luego demostró no ser una limitación para el proyecto BUSCA.

También fue eliminada la integración del módulo de detección de bólidos y determinación de las trayectorias de entrada y punto posible de impacto, debido a que no estuvo pronto para ser estudiado e incorporado a los otros módulos.

A pesar de estos inconvenientes de índole netamente práctica, e inherentes al desarrollo de un producto que va a ser sometido a las inclemencias del clima y a factores biológicos, ajenos a nosotros, ha sido destacable la participación y colaboración permanente de los responsables del proyecto para encontrar soluciones, tanto a los problemas que han ido surgiendo, como en el análisis conducente a desarrollar los algoritmos de detección de nubes, acompañándonos en las pruebas y colaborando en la toma de imágenes, sobre todo durante las noches invernales.

Sin embargo, el hecho de tener estas dificultades motivó que el desarrollo, implementación y pruebas, fuera un trabajo enteramente modular, en la medida en que fue disponible tener acceso al GABINETE o a las fotos obtenidas mediante el mismo.

6.2 - Módulo SCG

El módulo SCG fue realizado en Visual Basic para tener una interfase de operación amigable y de rápido desarrollo. Básicamente tiene que poder establecer la existencia y permanencia de comunicación con el GABINETE, y posibilitar el envío de comandos manuales de operación al mismo.

Durante el desarrollo del SCG se mantuvo un diálogo permanente con el técnico encargado del desarrollo del GABINETE. Del mismo surgieron algunas modificaciones que fueron luego implementadas, como por ejemplo el permanente informe del estado del GABINETE al SCG, o el cierre del mismo en caso de no detectar la presencia del SCG por un período de tiempo.

6.3 - Módulo SAI

El módulo SAI presentó desafíos propios a la hora de efectuar el desarrollo. Además, la elección del entorno de desarrollo fue decidida para utilizar la información disponible a ese momento respecto al posible control y operación de la cámara.

La decisión final fue la de hacer el desarrollo en el entorno Windows. Las distintas opciones que provee esta decisión de diseño comprenden:

- WDM Video for Windows Capture Driver ^[17]
- DirectX ^[18]

El WDM Video for Windows Capture Driver es una especificación que tiene varios años, y que está presente desde Windows 3.11. Ha sufrido diversas revisiones, y existe amplia documentación del uso de la misma, tanto por Microsoft, como por terceras partes que han realizado componentes que facilitan el diálogo con la API.

Algunos paquetes sencillos de captura de imágenes de cámaras modificadas realizados por aficionados a la astronomía utilizan componentes que acceden a ésta API y han sido populares durante largo tiempo.

DirectX es una interfase bastante más nueva de acceso a ciertos componentes (audio, video y dispositivos de juegos) pensada para dar mayor flexibilidad a la hora de desarrollar aplicaciones de juegos que accedan al hardware de una forma uniforme a través de una API.

Otros paquetes de captura de imágenes de aficionados a la astronomía, de mayores prestaciones, utilizan esta API. Pero utilizan una aproximación diferente al problema de la larga exposición.

Lo que hacen es tomar un video en formato AVI, con un programa de seguimiento (tracking) del objetivo (planeta, nebulosa, galaxia, etc.), y luego por medio de la extracción de los cuadros a imágenes, y posteriormente la adición de imágenes (promedio) obtienen tomas equivalentes a una de larga exposición.

Esta aproximación al problema queda descartada de plano, debido a que en un promedio de imágenes se anula automáticamente la presencia de cualquier traza, cosa que haría incompatible la aplicación de este algoritmo de imágenes nocturnas con el programa BUSCA.

Dado que era posible utilizar DirectX con tomas de larga exposición, y por tanto era posible utilizar cualquiera de las dos opciones, se decidió elegir una aproximación de caja negra al problema de la captura, permitiendo disponer mejor del tiempo restante del proyecto a resolver los problemas menos conocidos o documentados como el reconocimiento de nubes.

Por tanto decidió buscar un componente que realizara ese trabajo, y dentro de las posibles opciones para la captura de imágenes, se optó por utilizar un

componente gratuito de captura utilizado por otros paquetes de captura de imágenes utilizados por aficionados: el ezVidCap.ocx.

El mismo provee las funcionalidades necesarias para satisfacer las necesidades del proyecto, es gratuito, existe buena documentación, y utiliza componentes presentes en toda versión de sistema operativo de Windows, lo cual nos da una amplia gama de versiones para elegir, de variado costo.

El uso del componente es sencillo y rápido. El componente se comunica con el WDM Video for Windows Capture Driver, y provee una interfase con las funcionalidades necesarias de la API.

A los efectos del proyecto, se utiliza la función CapSingleFrame, que captura una sola imagen del dispositivo de captura seleccionado (en el caso del proyecto, la cámara Phillips ToUCam, pero que en caso de utilizarse otra cámara sería totalmente compatible) y la función SaveDIB que permite salvar esa imagen a disco en formato .BMP.

En el caso de las tomas diurnas se subsanó el problema de la carencia del anillo de obturación al observar que las imágenes tenían mucha mejor definición cuando se promediaba un cierto número de ellas. Las pruebas demostraron que un valor entre 5 y 10 exposiciones promediadas daban como resultado imágenes sumamente nítidas, cosa muy necesaria para la correcta aplicación del algoritmo de detección de nubes diurnas.

En el caso de las tomas nocturnas, se debe habilitar las modificaciones hechas a la cámara en primer lugar (se envía al GABINETE el comando correspondiente) con lo cual se coloca la cámara en el modo nocturno, y luego a través del puerto paralelo se envían los comandos manuales para inicio de captura y fin de captura y lectura del sensor CCD de la cámara.

Luego se utilizan las mismas funciones que se utilizan de día para recuperar y almacenar la imagen.

6.4 - Módulo SDN diurno.

Mientras se esperaban las primeras fotos tomadas con el GABINETE, se comenzó el estudio del cielo nuboso a distintas horas, y en distintas condiciones, mediante fotos tomadas con una cámara digital. Se tomaron fotos con una cámara Olympus D520, en la misma resolución que las que iba a entregar la cámara del GABINETE, pero que obviamente abarcaban un rango del cielo mucho menor (unos 30° de apertura).

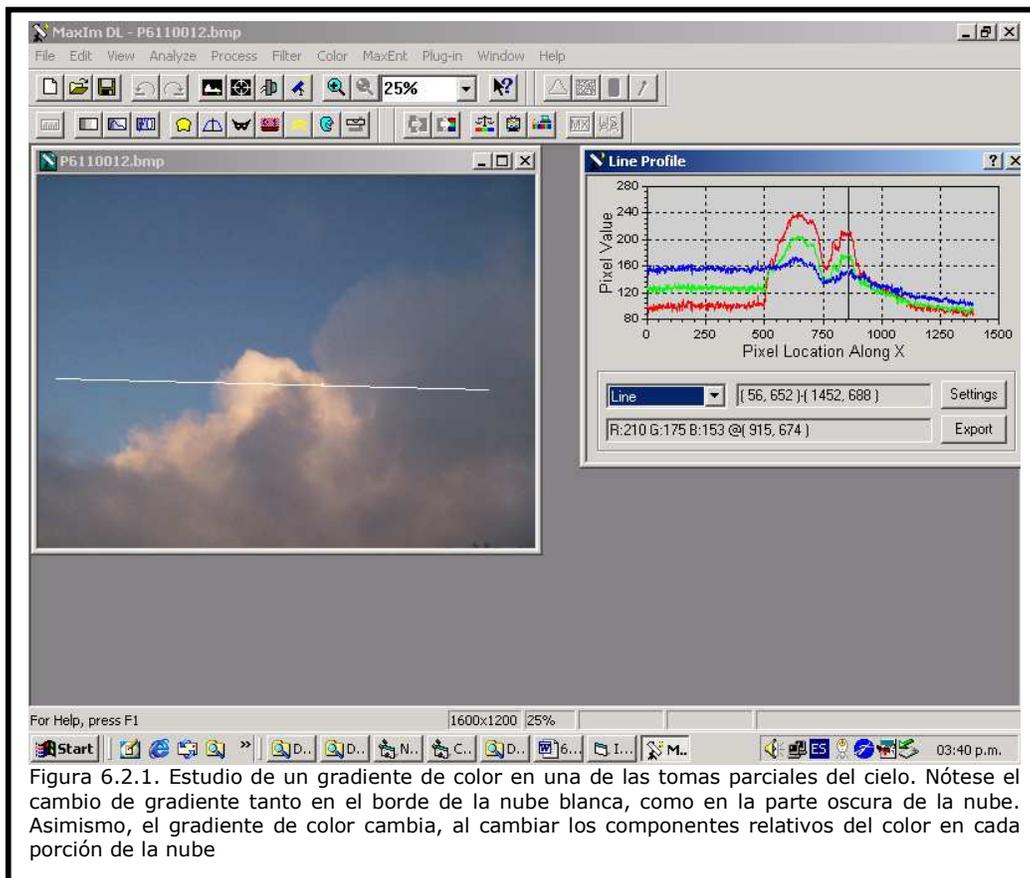
Otra limitación que se tuvo en esta etapa fue que la cámara solo podía tomar imágenes del cielo diurno. La identificación de nubes diurnas presenta una problemática distinta a la identificación de nubes nocturnas, dado que de día se cuenta con la iluminación del sol, mientras que de noche se podría llegar a contar solamente con la polución nocturna para iluminar las nubes, o con la diferencia de temperatura entre las nubes y el cielo, y la sensibilidad de la

cámara al infrarrojo cercano. Por tanto se inició el desarrollo de este módulo con el objetivo definido de poder identificar nubes en condiciones diurnas.

Las fotos obtenidas con la cámara Olympus, así como las que se tendrían de la cámara del GABINETE, estaban en formato BMP. Este formato permite almacenar la información de color para cada píxel en tríadas, representando cada coordenada de la tríada la magnitud del color Azul, Verde y Rojo.

La sugerencia del cuerpo docente de estudiar los gradientes de los colores en distintas direcciones, y luego ver cómo variaba el mismo en los bordes de las nubes resultó ser medianamente eficiente para detectar nubes blancas sobre un cielo azul, pero resultó ineficaz para detectar nubes en tonalidades grises sobre cielo azul, por ejemplo, o sobre cielo oscuro.

Descartado este procedimiento, se estudió el pequeño banco de fotos obtenido con la cámara Olympus, a los efectos de obtener información que nos pudiera orientar en la dirección correcta para desarrollar los algoritmos de identificación de nubes diurnas.



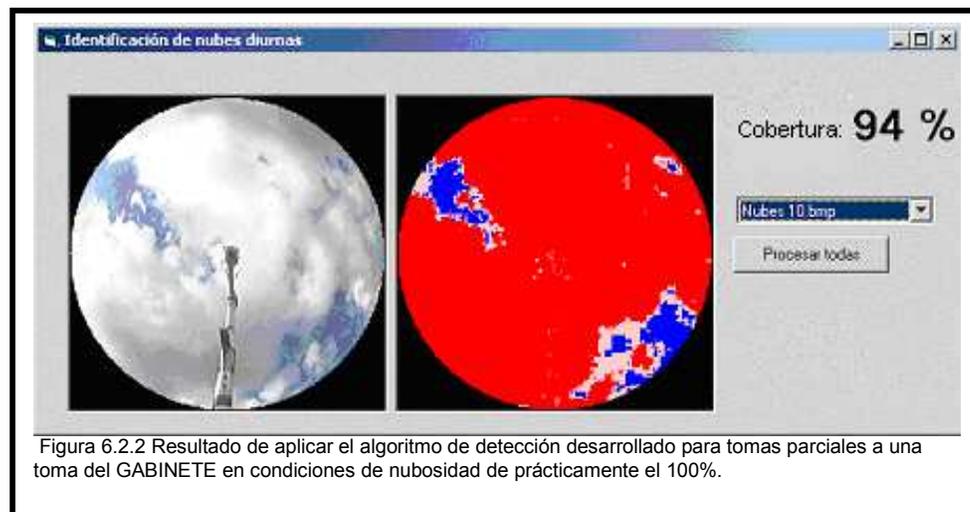
Del estudio de las distintas fotografías mediante el software proporcionado Maxim DL^[19], y del estudio comparativo de los gradientes y los valores relativos de los componentes del espacio de color en los distintos tipos de nubes, dedujimos el primer algoritmo para detectar las nubes, basado en el

valor relativo del componente rojo del píxel, respecto del verde y azul. El cielo, tal cual lo vemos, tiene por cierto un gran componente de azul, pero también tiene en menor grado componentes en el rojo y verde. Basamos el primer algoritmo en que las nubes blancas tienen mucho mayor componente de rojo que el cielo.

Este algoritmo demostró ser tan eficiente en descubrir las nubes blancas sobre el cielo azul, como el del gradiente propuesto por los docentes, pero casi tan ineficaz como aquél en todas las demás condiciones.

Las nubes que en la foto presentaban tonalidades más oscuras, grises y hasta con un tono violeta, eran invisibles a éste algoritmo con los parámetros experimentales utilizados; y la variación del nivel de sensibilidad del mismo luego de cierto valor provocaba que un cielo oscuro (antes del amanecer o al atardecer, luego de la puesta del sol) fuera identificado como nube, cuando no lo era.

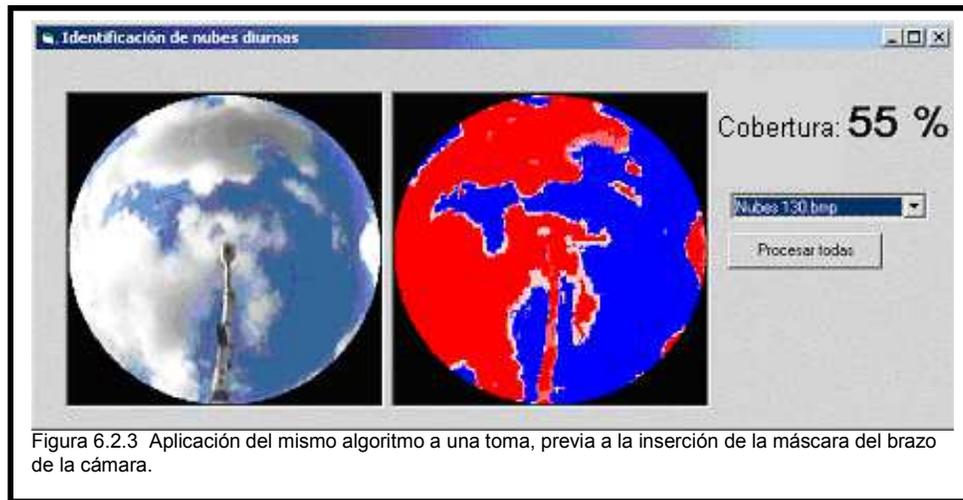
Posteriormente se logró la identificación de las nubes más oscuras mediante un estudio regional de la variación del gris, logrando en todas las condiciones valores de identificación píxeles de más del 95% de píxeles identificados correctamente.



Así que luego de algunos intentos se encontró otra relación entre los valores de rojo y verde que solucionaron en parte estos defectos de identificación, aunque no todos para todas las condiciones.

Por ejemplo, en condiciones de sol cercano al horizonte, se identifica incorrectamente porciones de cielo como nubes, por lo que se decidió en esta etapa del proyecto limitar el reconocimiento diurno de nubes al intervalo de tiempo comprendido entre 30 minutos luego de la salida del sol, y 30 minutos antes de la puesta de sol.

La posterior prueba de los algoritmos de detección desarrollados para tomas parciales del cielo demostraron tener valores de identificación superiores al 98% al ser utilizados en las tomas de la cámara del GABINETE.



En las imágenes adjuntas se puede ver la identificación de las nubes en las distintas etapas de iteración del algoritmo. Las nubes que se detectan por relación de rojo/verde y rojo/azul se pintaron de rojo, de un tono más claro las correspondientes a la relación rojo/verde, el rosado corresponde a la identificación por cambio en el gradiente de gris. Por último, el azul corresponde a la identificación de porción despejada de cielo.

A los efectos de procesar únicamente la porción de la imagen que corresponde al cielo, pero dejando afuera la porción de cielo inmediata al horizonte (para limitar la influencia de objetos que pudieran estar cercanos, y para minimizar dentro de lo posible el efecto de la polución luminosa), cada toma obtenida por la cámara del GABINETE se procesa recortando una porción cuadrada apropiada y centrada en la cámara. El procedimiento de centrado es necesario al momento de hacer la instalación del equipo.

El proceso de recorte limita, asimismo, el tamaño de la imagen a enviar por Internet en el momento de reportar resultados.

6.5 - Módulo SDN nocturno

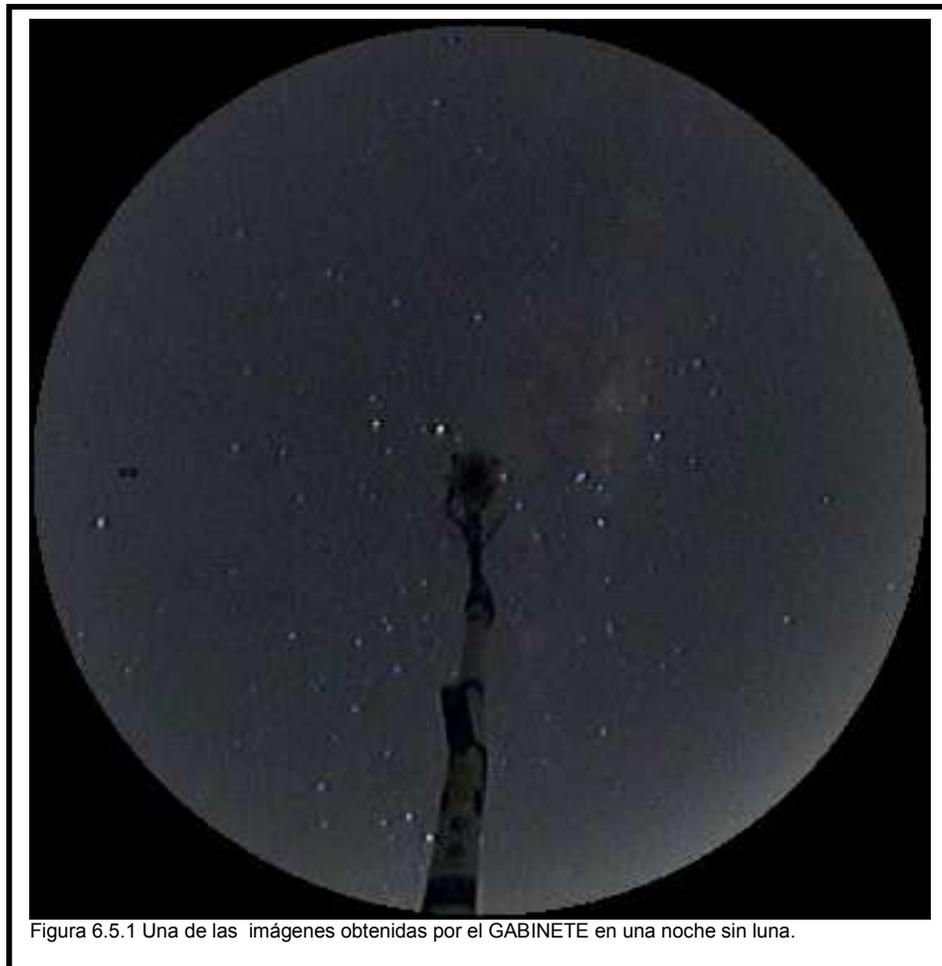
El desarrollo del algoritmo de detección de nubes para el período nocturno fue el que presentó mayores desafíos en cuanto a la oportunidad de poder probar la cámara.

En primer lugar, luego de estar operativo el GABINETE por un período largo de tiempo probando el SAI y el SDN diurno, se constataron deficiencias en el diseño original de los mecanismos. El sistema de obturación de anillo, que proveería protección al elemento CCD de la cámara de la visión directa del sol, y serviría de pantalla para las noches de luna, tuvo que ser revisado, y posteriormente descartado. Esto demostró ser un inconveniente en el período

nocturno, donde para obtener una toma no saturada del cielo era necesario hacer exposiciones tan cortas que difícilmente eran suficientes para poder trabajar en el algoritmo de detección de nubes nocturno.

Así se decidió modificar y limitar el objetivo de identificar nubes nocturnas, al de la detección de nubes en períodos donde la luna no sea visible. Esta limitación no afecta el alcance del SADNB dado que el presente proyecto, como parte del programa BUSCA, requiere una cierta exposición (de varios segundos) para que quede registrada correctamente la trayectoria de los bólidos, a los efectos de poder aplicar los algoritmos (no disponibles para el presente proyecto) de identificación de trayectorias.

No fue posible aplicar los algoritmos ya realizados para la identificación de nubes diurnas, dado que la información obtenida en las fotos era mayormente ausente de color (Ver figura 6.5.1).



El algoritmo tuvo que ser iniciado desde cero. A la fecha en que se pudo trabajar nuevamente con el GABINETE, la toma de fotos nocturnas en períodos sin luna presentó un desafío, dado que se necesitaba tener un pequeño banco de datos de pruebas para realizar el análisis para obtener un mecanismo apropiado de detección de nubes.

En la información recopilada no se encontraron informes detallados, incluyendo algoritmos, sobre detección de nubes nocturnas en fotografías tomadas por cámaras tipo All-Sky, con un caso excepcional: el trabajo de M. Kosh¹⁰. En el trabajo de M. Kosh, R. Seviour y F. Honary se describe un análisis de imágenes nocturnas tomadas por una cámara tipo All-Sky. En su publicación describen un algoritmo similar al que se precisa en este proyecto, diseñado para detectar auroras boreales en imágenes nocturnas tomadas en noches sin luna.

El trabajo de M. Kosh implica transformar la imagen a una imagen binaria utilizando segmentación de imágenes. Luego se efectúa un análisis de objetos presentes en la imagen, en cuanto a tamaño y distribución, para identificar estrellas, nubes y la aurora boreal.

La aproximación del M Kosh implica la transformación de la imagen color a binaria, monocromática. Luego se aplica un algoritmo de reconocimiento de objetos en cuanto a su forma y tamaño, y se aplica una decisión basada en el estudio de más de 3000 imágenes obtenidas durante el año 1998, cada una de las cuales fue clasificada manualmente en:

- Cielo claro (sin aurora presente)
- Aurora sin nubes
- Nuboso.

Para cada imagen binaria fue contado el número de objetos distintos presentes, y el tamaño de cada uno de ellos. Luego, por comparación con las estadísticas de esas 3000 imágenes, se determina la condición del cielo en la toma en cuestión.

Una aproximación de ese estilo estaba claramente más allá del alcance de este proyecto, dado que no se tenían los recursos ni el tiempo necesario.

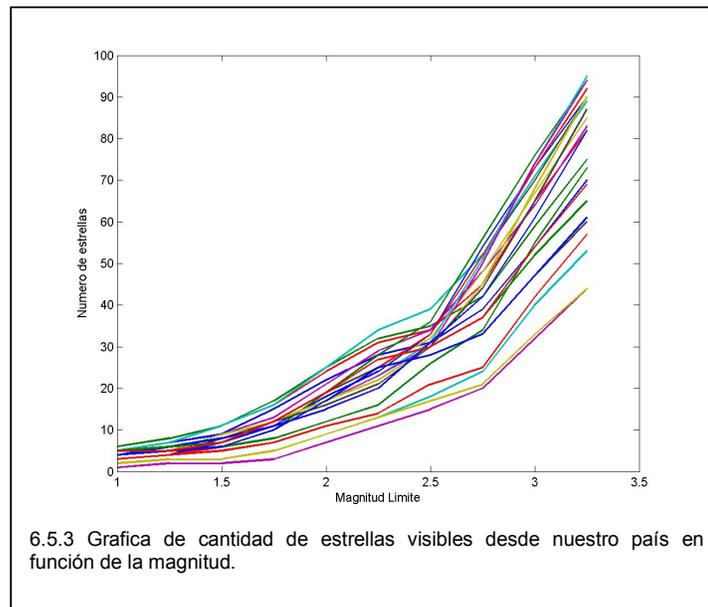
Por tanto se decidió contar directamente las estrellas visibles, mediante una aproximación ligeramente diferente a la que se utiliza en el trabajo de Kosh.

Junto a los tutores del este proyecto se consideró probar la detección de nubes nocturnas mediante el conteo de estrellas, considerando lo obvio: si hay nubes, se verán menos estrellas. En una primera aproximación al problema, se decidió que si se pueden contar más de 40 estrellas visibles, la noche se consideraba despejada, considerándose nubosa en caso contrario. (Este número no es arbitrario: es un promedio de las estrellas de magnitud superior a 2.80 visibles en nuestro hemisferio a lo largo del año. Este número varía en cada día, así como en cada hora. El valor 2.80 surge de la calibración de la cámara contra los catálogos de estrellas.)

Para hacerlo, en primer lugar, hubo que quitar el fondo del cielo de la imagen obtenida.

Magnitud	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
1.00	5	6	5	5	4	4	3	3	3	3	4	4
1.25	7	8	7	7	5	5	4	4	4	4	5	5
1.50	9	11	11	11	9	9	8	7	6	6	7	7
1.75	15	17	16	16	13	12	12	11	10	10	12	12
2.00	22	25	24	25	21	19	19	18	19	17	17	17
2.25	28	32	31	34	29	25	25	24	28	25	23	23
2.50	31	35	34	39	34	32	33	33	36	33	31	30
2.75	39	42	45	52	48	48	52	54	56	52	51	50
Magnitud	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1.00	4	4	4	4	3	2	1	2	4	4	5	5
1.25	6	6	6	5	4	3	2	3	5	5	6	5
1.50	8	8	8	6	5	3	2	3	6	6	7	7
1.75	12	12	11	8	7	5	3	5	10	10	12	12
2.00	17	16	15	12	11	9	7	9	17	17	19	19
2.25	22	21	20	16	14	13	11	13	25	25	27	27
2.50	30	30	31	26	21	18	15	17	28	28	30	30
2.75	45	44	42	34	25	24	20	21	33	33	37	37

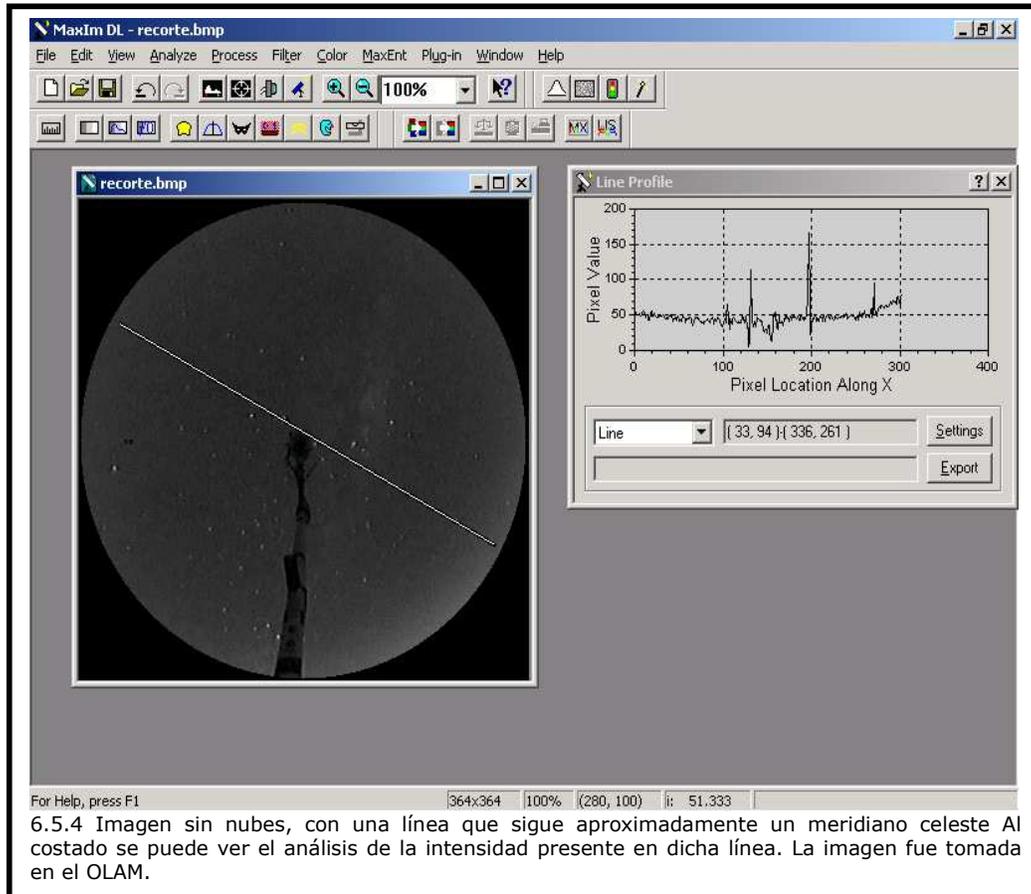
6.5.2 Tabla de estrellas visibles a lo largo del día para distintas magnitudes.



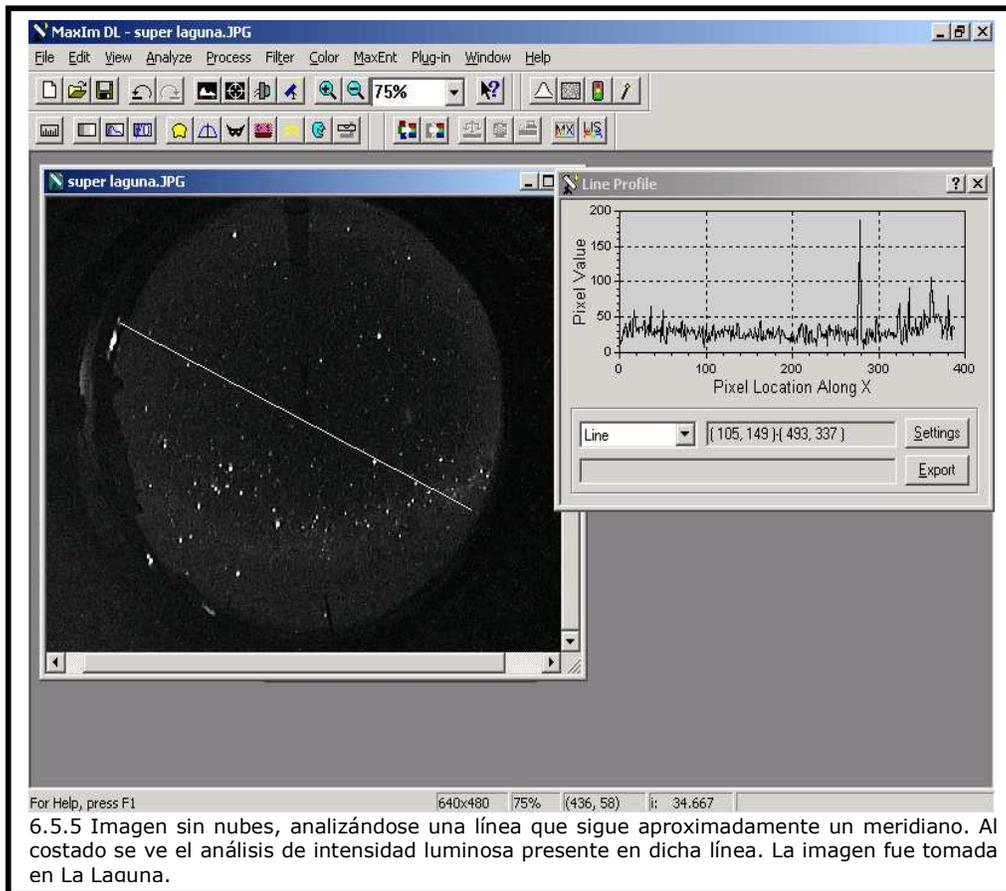
6.5.3 Grafica de cantidad de estrellas visibles desde nuestro país en función de la magnitud.

En cualquiera de las imágenes obtenidas, la variación de intensidad en una gráfica donde en el eje de las x varía de acuerdo a un meridiano celeste, y en el eje de las y se grafica la intensidad, muestra una especie de línea base, curva, representando el valor de la intensidad del cielo en cada punto del meridiano, y sobre ésta curva, aparecen picos pequeños debido a ruido y picos mayores que son las estrellas propiamente dichas.

La figura 6.5.4 muestra una imagen obtenida en el OLAM, en una noche sin luna, y a su derecha el análisis de un meridiano celeste. Se ve claramente el efecto de la polución luminosa en la curvatura del “cielo”, que tiene concavidad positiva en este caso.



La figura 6.5.5, obtenida en La Laguna, sitio donde se instalará próximamente el SADNB para su funcionamiento autónomo, muestra un caso similar, con un cielo netamente más oscuro. La concavidad del cielo, ligeramente negativa en los bordes, es más normal en ambientes libres de polución luminosa. El valor de la curva del cielo, es sensiblemente menor en éste caso, a diferencia del anterior.

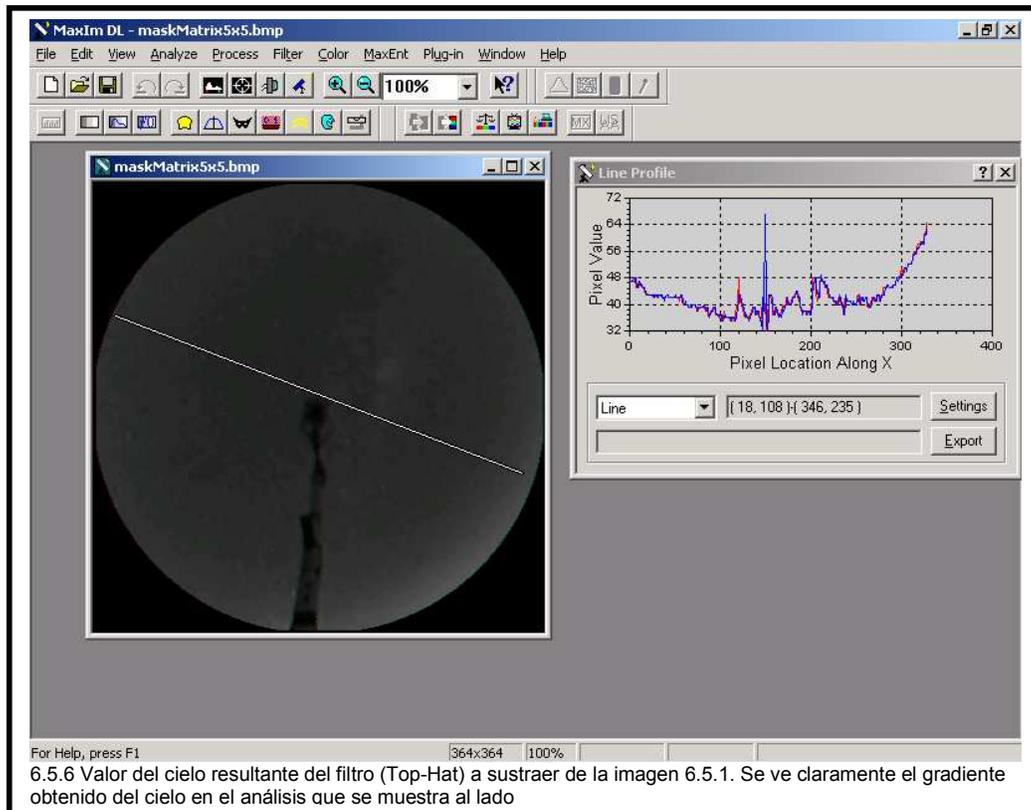


Para quitar esta información del cielo, y aplanar esta curva sobre la que se detallan las estrellas, es necesario la aplicación de un filtro. El filtro que se aplicó es el llamado Top-Hat, consistente en restar, para cada píxel de la imagen, la mediana de una matriz centrada en el mismo. De esta forma se tiene una aproximación al valor del “cielo” en los alrededores de cada píxel, y al restarlo desaparece el cielo (el valor de la media local).

En el desarrollo del algoritmo se probó con matrices centradas en el píxel de lado 3, 5, 7, 9 y 11. Por tanto se halló la mediana de una matriz de 8, 24, 49, 80 y 120 valores, para cada píxel.

Empíricamente se vio que los mejores valores se obtenían para matrices de 5 o más píxeles de lado, y que a partir de 9 píxeles la mejora ya no era apreciable.

Se decidió tomar para este proyecto el valor de 7 como un compromiso entre calidad final y velocidad de procesamiento de la imagen.



Para el algoritmo de conteo se probó contar como estrella cualquier píxel cuyo valor de intensidad superara la media más una desviación estándar, como propone el trabajo de M. Kosh; así como un valor mayor a 5 desviaciones estándar. En ambos casos se obtuvo valores similares de conteo de estrellas.

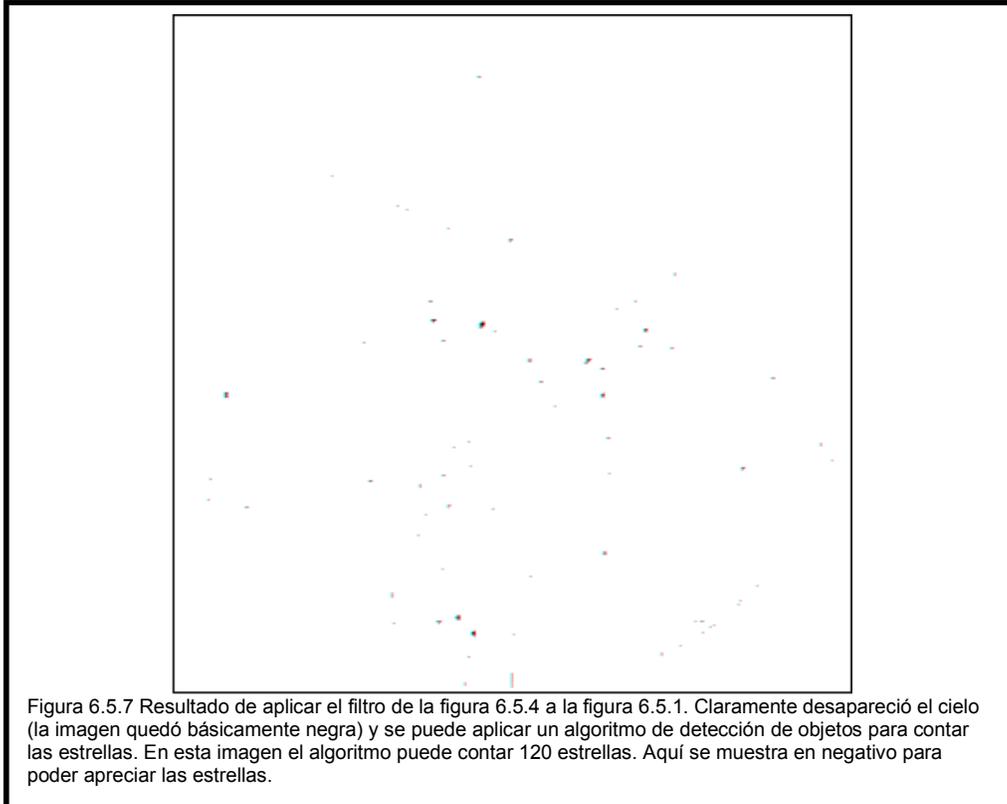
El proceso del SAI en la modalidad nocturna puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Calibración: antes de la puesta en marcha del GABINETE es necesario hacer una toma llamada DARK FRAME: es una toma con el objetivo tapado, la cual se restará de toda toma posterior, a los efectos de eliminar los llamados HOT SPOTS: píxeles del elemento CCD defectuosos, que dejando de funcionar correctamente dan valores sin un comportamiento lineal respecto a la señal.
2. Puesta del GABINETE en la modalidad nocturna.
3. Toma de imágenes de larga exposición (del orden de los 30 segundos) mediante el uso de comandos enviados a la cámara modificada por el puerto paralelo.
4. Conversión de la imagen a un formato en gama de grises.
5. Enmascaramiento de las imágenes, para dejar solamente el círculo de la calibración de las fotos.
6. Determinación del filtro TOP-HAT correspondiente a cada imagen.

7. Resta del filtro de cada imagen píxel a píxel.
8. Análisis de la imagen resultante mediante la determinación del valor promedio y la desviación estándar, y el conteo de estrellas.

Este proceso demora cerca de dos minutos en un equipo con procesador Pentium III de velocidad 1 GHz y con 256 MB de memoria RAM.

Por tanto, se puede realizar tomas de hasta 30 segundos con un intervalo de 3 minutos entre ellas.



El análisis identifica en cada imagen tomada el píxel con máxima intensidad, la media y la desviación standard. La media será de un valor pequeño pues al restar el cielo y este ser de color negro, gran parte de la imagen procesada no tendrá estrellas. De la misma forma la desviación standard será pequeña ya que se eliminó el ruido. Con la desviación standard logramos determinar un nivel máximo y mínimo de ruido existente

El conteo de estrellas se realiza evaluando el mapa de píxel procesado buscando el píxel más brillante, partiendo del píxel de máxima intensidad, apagando los píxeles del entorno. De esta forma se identifican y apagan los píxeles contiguos que pertenecen a la estrella, contando de esta forma una estrella.

6.6 - Módulo SCR

El SCR es el módulo que se encarga de comunicar los resultados mediante el uso de Internet.

Al principio se propuso comunicar los resultados subiendo información vía ftp a algún servidor.

Luego, considerando que cada servidor puede tener su propio esquema de autenticación, y para simplificar el funcionamiento de este módulo, se decidió hacer uso del correo electrónico para enviar los resultados a una dirección.

Esto permite que la seguridad del lado del servidor valide la autenticidad del contenido, por ejemplo, agregando cierto archivo codificado siempre presente en cada envío. También permite que se entre en un servidor a través de un protocolo estándar y sencillo de implementar, y hacer el proceso del análisis y posterior destino de la información en el propio servidor mediante herramientas sencillas. La distribución de las imágenes también se puede automatizar en forma sencilla mediante el uso del correo electrónico.

Conclusiones

7 - Conclusiones

Se lograron los objetivos de desarrollar un SADNB con sus diferentes módulos.

El éxito del proyecto SADNB muestra que con recursos sumamente limitados es posible establecer los cimientos que permitan crear una base de datos de información climática aplicable a variadas áreas.

Mostró que los aspectos más problemáticos a resolver en este proyecto son los componentes físicos (cámara, funcionamiento de mecanismos, etc.) solucionables con dinero, por tanto el proyecto BUSCA es un proyecto posible; y el SADNB puede ser fácilmente extendido.

Para poder identificar claramente tanto en una fotografía tomada con una cámara All-Sky como en una fotografía satelital si se tiene un cielo despejado o no, se han invertido grandes esfuerzos en el estudio estadístico del clima en todas las técnicas, dado que es un fenómeno a estudiar regionalmente. Cualquier esfuerzo modesto tropezaba hasta hace poco con la dificultad económica inherente al costo de los componentes a usar. Este asunto se revirtió recientemente debido al desarrollo de las cámaras digitales: se pasó de un valor de varios miles de dólares a algunos cientos de dólares.

El desafío de intentar lograr una aproximación razonable a los temas propuestos en este proyecto, en un marco de tiempo notablemente inferior a otros trabajos que hemos visto: meses en nuestro caso vs. años en algunos casos, y sumamente limitado en sus recursos económicos es todo un mérito para nosotros.

En un plano de implicancias menos terrenales pero no menos ambicioso, un dispositivo así permite optimizar el uso de anteojos astronómicos programables, dado que se puede saber si la región que se desea fotografiar presenta un cielo nuboso o no.

La elección de optar por hacer el desarrollo en un entorno Windows resultó ser una buena elección. Queda lugar para aprovechar mejor las funcionalidades que provee y el soporte de tercera parte de las cámaras Philips en ambiente Linux dejó de estar disponible desde octubre del 2004^[20].

Al trabajar en ambiente Windows se ha independizado el proyecto del dispositivo de captura.

Trabajo futuro

8 - Trabajo futuro.

El uso continuo del SADNB generará un banco de datos de imágenes, diurnas y nocturnas. El disponer de una base de datos de imágenes sistemática y que abarque un período de tiempo de cómo mínimo varios meses permitirá mejorar tanto el algoritmo de detección de nubes nocturno como el diurno.

Se espera una nueva versión del GABINETE, con mejoras en cuanto a la cámara empleada, al uso de un anillo de obturación, el tener una disposición tal que mantenga los insectos alejados del calentador del espejo, y a las aves lejos del mismo. En cuanto esté disponible será necesario hacer una revisión de algunos de los métodos empleados en este proyecto, debido a que algunos surgieron de la necesidad de corregir deficiencias del hardware, y otros fueron determinados por las limitaciones del hardware disponible.

El disponer de un mejor hardware, un CCD de mayor definición y el disponer de más datos técnicos permitiría hacer además un estudio de las magnitudes de las estrellas presentes en la imagen y su variación en el tiempo.

Al mejorar la cámara se podrán obtener imágenes nocturnas de mayor calidad, y se deberá revisar el algoritmo de conteo de estrellas para determinar con mayor precisión el porcentaje de nubosidad nocturno.

Como trabajo futuro se plantea que el algoritmo de conteo de estrellas sea en un entorno limitado de 11 píxeles, de forma de ver si el píxel tiene bordes alrededor, tomándose de esta forma como otra estrella, de lo contrario es la misma estrella.

Además se debe modificar el algoritmo de conteo de estrellas visibles para que en lugar de tomar el promedio anual de 40 estrellas sea función de la hora.

Se puede precisar este algoritmo contando para ello con el catálogo de estrellas, latitud, longitud, hora local, porción esfera celeste (ángulo) y magnitud límite.

En este caso, el análisis nocturno puede llegar a incluir la consulta del catálogo de estrellas a los efectos de poder identificar estrellas claves en toda época del año, teniendo entonces la posibilidad de tener un módulo que busque e identifique estrellas para determinar si una zona en particular del cielo nocturno está cubierta por nubes o no.

En el módulo de análisis de las imágenes diurnas es necesario mejorar el algoritmo para disminuir los tiempos que debieron ser eliminados a la salida y a la puesta del Sol (± 1.5 hora de crepúsculo).

Hay mucho que aprender acerca de la fotometría, por ejemplo, para lo cual se necesitan datos técnicos de las cámaras que normalmente no se encuentran presentes en los modelos más económicos.

Asimismo, la solución del problema mecánico del anillo de obturación dará mejor precisión a los análisis diurnos, y abrirá la posibilidad de detección de bólidos diurnos, y no será necesaria la aplicación del promedio de exposiciones que enmascara los mismos.

El trabajo inmediato está orientado a probar el comportamiento del SADNB en la detección de bólidos. Para ello se está calibrando mediante el uso de fuegos artificiales.

El equipo de apoyo ha quedado satisfecho con el sistema presentado. El alcance que se quiso dar en la primera etapa ha sido cumplido, y los resultados han sido satisfactorios en todos los aspectos.

Anexos

Anexo I – Especificaciones técnicas y físicas de la cámara web

Packaging content

ToUcam FUN PC-camera
 Quick install guide
 Installation Cdrom
 Attachment base

Included Applications for Microsoft Windows

<i>Application</i>	<i>Name</i>	<i>By</i>
• Web cam + broadcast	Spotlife	Spotlife
• Video conferencing	NetMeeting 3.01	Microsoft
• Video mail	Videolink Mail 4.0	Smith-Micro
• Image capture	Photo Explorer 6.0	Ulead
• Image album	Photo Explorer 6.0	Ulead
• Video capture	V-record	Philips
• Game I	Vball	Reality Fusion
• Game II	Karate	Reality Fusion
• Screensaver game I	Bounce-It 2	Reality Fusion
• Screensaver game II	Pop the Bubbles 2	Reality Fusion
• Internet update tool	V-download	Philips
• Configuration check	V-check	Philips
• Application launcher	V-lounge	Philips
• Camera settings	V-property	Philips
• PDF reader	Acrobat Reader 4.05	Acrobat

Included Applications for Apple Macintosh

• Video mail	BTV
• Webcam	Oculus
• Video conference	Ivisit
• Video capture	Quicktime

Packaging information

H x W x D	285 x 160 x 88 mm
Packaging weight	334g.

Product Specification

<i>Optical</i>	
Sensor	1/3" CMOS
Video Resolution	640 x 480 pixels (VGA)
Snapshot resolution	800 x 600 pixels (SVGA)
Min illumination	< 5 Lux
Auto white balance	2500 – 7500 K
Integrated lens	6mm f2.0 H44o
Max. framerate	30 fps @ VGA resolution

Color depth 24 bits

Audio

Mic. Sensitivity 75 – 105dB
 Mic frequency range 150Hz – 10kHz

Controls

Full automatic control
 Video format
 Framerate
 Brightness
 Gamma
 Saturation
 Contrast
 White balance
 Exposure
 Recording Volume

Mechanics

H x W x D 69 x 48 x 48 mm
 Weight 100 g
 Cable length 2.95 m
 Built-in microphone
 Built-in snapshot button
 Monitor and LCD
 mounting attachment base

Power

In operation 600mW

Minimum system requirement

Microsoft Windows

Windows 98, 2000, Me
 Intel Pentium II or AMD K6-2
 32 MB RAM
 50 MB free HDD
 1 free USB port
 CD or DVD-ROM drive
 Audio playback capability
 64K color display
 Internet connection

Apple Macintosh

Apple MacOS 9.0
 IMac Rev A - D
 32 MB RAM
 50 MB free HDD
 1 free USB port
 CD or DVD-ROM drive
 Audio playback capability
 64K color display
 Internet connection

Anexo II – Formato de imágenes utilizado

Descripción formato BMP:

BMP es un formato de archivo estándar para las computadoras que funcionan con el sistema operativo de Windows. El formato fue desarrollado por Microsoft para almacenar archivos de mapa de bits en un formato independiente del dispositivo (DIB) que permitirá que Windows visualice el BITMAP en cualquier tipo de dispositivo de visualización. El término "independiente del dispositivo" significa que el BITMAP especifica el color del píxel en forma independiente del método usado por la visualización para representar los colores.

El formato de archivo bmp puede utilizar la compresión y es (por sí mismo) no capaz de almacenar la animación. Sin embargo, se puede animar un BITMAP usando diversos métodos pero se tiene que escribir el código que realiza la animación. Hay diversas maneras de comprimir un archivo bmp, se utiliza muy raramente. Los datos mismo de la imagen pueden contener indicadores a las entradas en una tabla de los colores o valores literales RGB (rojo-verde-azul).

Información general:

Puesto que BMP es un formato de archivo bastante simple, su estructura es bastante directa. Cada archivo bitmap contiene:

- Un header llamado fileHeader: este contiene la información sobre el tipo, el tamaño, y la disposición de un archivo bitmap independiente del dispositivo.
- un header llamado informationHeader que especifica las dimensiones, el tipo de compresión, y el formato del color para el BITMAP.
- una tabla de colores, definida como un array de estructuras RGBQUAD, contiene tantos elementos como colores hay en el BITMAP. La tabla de colores no está presente para los BITMAP con 24 bits de color porque cada píxel es representado por 24 bits de valores rojo-verde-azul (RGB) en el área de datos del bitmap real.
- un array de bytes que define los bits del bitmap. Éstos son los datos reales de la imagen, representados por filas consecutivas, o "scan lines," del BITMAP. Cada scan line consiste de los bytes consecutivos que representan los píxeles en la scan line, en orden de izquierda a derecha.

Estructuras de datos:

BITMAPFILEHEADER	Bmfh;
BITMAPINFOHEADER	Bmih;
RGBQUAD	aColors [];
BYTE	aBitmapBits [];

bmfh contiene cierta información sobre el archivo bitmap (sobre el archivo, no sobre el BITMAP en sí mismo).

bmih contiene la información sobre el BITMAP tal como el tamaño, colores...

aColors array contiene una tabla de colores.

El resto es los datos de la imagen, como el formato es especificado por *la estructura* del *bmih*.

Los archivos de BMP contienen siempre datos RGB. El archivo puede ser:

- 1-bit: 2 colores (monocromáticos)
- 4-bit: 16 colores
- 8-bit: 256 colores.
- 24-bit: 16777216 colores, mezclas 256 tintes de rojo con 256 tintes de verde y azul

El BITMAPFILEHEADER:

comienzo	tamaño	nombre	stdvalue	propósito
1	2	bfType	19778	siempre fijarse a ' BM ' para declarar que esto es un archivo .bmp.
3	4	bfSize	??	especifica el tamaño del archivo en bytes.
7	2	bfReserved1	0	siempre fijarse a cero.
9	2	bfReserved2	0	siempre fijarse a cero.
11	4	bfOffBits	1078	especifica el offset desde el principio del archivo a los datos del bitmap.

EI BITMAPINFOHEADER:

comienzo	tamaño	nombre	stdvalue	propósito
15	4	biSize	40	especifica el tamaño de la estructura de BITMAPINFOHEADER, en bytes.
19	4	biWidth	100	especifica el ancho de la imagen, en píxeles.
23	4	biHeight	100	especifica la altura de la imagen, en píxeles.
27	2	biPlanes	1	especifica el número de planos del dispositivo asignado, debe ser fijado a cero.
29	2	biBitCount	8	especifica el número de bits por pixel.
31	4	biCompression	0	Especifica el tipo de compresión, generalmente se fija a cero (ninguna compresión).
35	4	biSizeImage	0	especifica el tamaño de los datos de la imagen, en bytes. Si no hay compresión, es válida fijar este miembro a cero.
39	4	biXPelsPerMeter	0	especifica el píxeles horizontales por el metro en el dispositivo señalado del target, fija generalmente a cero.
43	4	biYPelsPerMeter	0	especifica los píxeles verticales por metro en el dispositivo señalado de target, generalmente se fija a cero.
47	4	biClrUsed	0	especifica el número de los colores usados en el BITMAP, si se inicializa a cero el número de colores se calcula usando el miembro del biBitCount.
51	4	biClrImportant	0	especifica el número del color que es ' importante ' para el BITMAP, si se inicializa a cero, todos los colores son importantes.

El biBitCount especifica realmente la resolución del color del BITMAP. Los valores posibles son: 1 (black/white); 4 (16 colores); 8 (256 colores); 24 (16,7 millones de colores). El elemento de datos del biBitCount también decide a si hay una tabla de color en el archivo y cómo se vera. En el modo 1-bit la tabla de color tiene que contener 2 entradas (generalmente blanco y negro). Si un bit en los datos de la imagen es claro, apunta a la primera entrada de la paleta de colores. Si se fija el bit, este apunta al segundo. En el modo 4-bit la tabla de color debe contener 16 colores. Cada byte en los datos de la imagen representa dos píxeles. El byte está dividido en los 4 bits más altos y los 4 bits más bajos y cada valor de ellos apunta a una entrada de la paleta de colores. Hay también colores estándares para el modo de 16 colores (16 out of de Windows 20 colores reservados (sin las entradas 8, 9, 246, 247)). No se necesita utilizar los colores de este estándar si se va a visualizar el BITMAP en una pantalla que soporta 256 colores o más, no obstante (casi) cada imagen 4-bit utiliza colores de este estándar. En modo 8-bit cada byte representa un pixel. El valor apunta a una entrada en la tabla de color que contiene 256 entradas (para los detalles debe verse la paleta de colores en

Windows . En 24-bit el modo tres los bytes representan un pixel. El primer byte representa la parte roja, el segundo el verde y el tercero la parte azul. No hay necesidad de una paleta de colores porque cada pixel contiene un valor RGB, así que se omite la paleta de colores.

El array RGBQUAD:

La tabla siguiente muestra una sola estructura de RGBQUAD:

comienzo	Tamaño	nombre	stdvalue	Propósito
1	1	rgbBlue	-	especifica la parte azul del color.
2	1	rgbGreen	-	especifica la parte verde del color.
3	1	rgbRed	-	especifica la parte roja del color.
4	1	rgbReserved	-	necesidad que se fije siempre a cero.

El termino paleta no referencia a un array RGBQUAD, en su lugar se llama tabla de color. En una tabla de color (RGBQUAD), la especificación para un color comienza con el byte azul. En una paleta de colores un color comienza siempre con el byte rojo. No hay manera simple de map la tabla entera de color en una estructura LOGPALETTE, que es necesaria para visualizar el BITMAP. Se tendrá que escribir una función que copie byte tras byte.

Los datos del pixel:

Este depende de la estructura BITMAPINFOHEADER de cómo los datos del pixel deben ser interpretados (véase arriba).

Es importante saber que las filas de un DIB son almacenados al revés. Esto significa que la fila de mas arriba que aparece en la pantalla es realmente la fila de más abajo almacenada en la BITMAP. Usted no necesita dar vuelta alrededor de las filas manualmente. Las funciones de la API que también visualizan la BITMAP hacen esto automáticamente.

Importante, el número de bytes en una fila se debe ajustar siempre a un múltiplo de cuatro. Simplemente se añade los byte cero hasta que el número de bytes en una fila alcance un múltiplo de cuatro, un ejemplo:

6 octetos que representan una fila en la BITMAP: A0 37 F2 8B 31 C4
debe ser ahorrado como: A0 37 F2 8B 31 C4 00 00

para alcanzar el múltiplo de cuatro que es el siguiente más arriba después de seis (ocho).

Lo bueno:

- Lo reconocen todas las PC no importa de que era glaciarse sean.
- Las imágenes tienen mucha calidad y se leen muy rápidamente.

Lo malo:

- No se puede comprimir de ninguna manera posible o forma conocida así que hay que conseguir pasarlo a otra extensión.
- No lo reconoce ninguna computadora que no sea PC.

Anexo III – Descripción del puerto USB

Conector USB:

USB es una arquitectura de bus desarrollado por un grupo de siete empresas (Compaq, Digital Equipment Corp, IBM PC Co., Intel, Microsoft, NEC y Northern Telecom) que forma parte de los avances plug&play y permite instalar periféricos sin tener que abrir tu máquina para instalarle hardware.

USB Universal Serial Bus es una interfase plug&play entre la PC y ciertos dispositivos tales como teclado, mouse, scanner, impresora, módem, placa de sonido, cámara, etc.

Una característica importante es que permite a los dispositivos trabajar a velocidades de unos 12 Mbps., esto es más o menos de 3 a 5 veces más rápido que un dispositivo de puerto paralelo y de 20 a 40 veces más rápido que un dispositivo de puerto serial.

Funcionamiento:

Trabaja como interfaz para transmisión de datos y distribución de energía, que ha sido introducida en el mercado de PC's y periféricos para mejorar las lentas interfaces serie (RS-232) y paralelo.

Es un bus basado en el paso de un testigo, semejante a otros buses como los de las redes locales en anillo con paso de testigo y las redes FDDI . El controlador USB distribuye testigos por el bus. El dispositivo cuya dirección coincide con la que porta el testigo responde aceptando o enviando datos al controlador. Este también gestiona la distribución de energía a los periféricos que lo requieran.

Emplea una topología de estrellas apiladas que permite el funcionamiento simultáneo de 127 dispositivos a la vez . En la raíz o vértice de las capas, está el controlador anfitrión o host que controla todo el tráfico que circula por el bus . Esta topología permite a muchos dispositivos conectarse a un único bus lógico sin que los dispositivos que se encuentran más abajo en la pirámide sufran retardo . A diferencia de otras arquitecturas, USB no es un bus de almacenamiento y envío, de forma que no se produce retardo en el envío de un paquete de datos hacia capas inferiores.

El sistema de bus serie universal USB consta de tres componentes:

- Controlador
- Hubs o Concentradores
- Periféricos

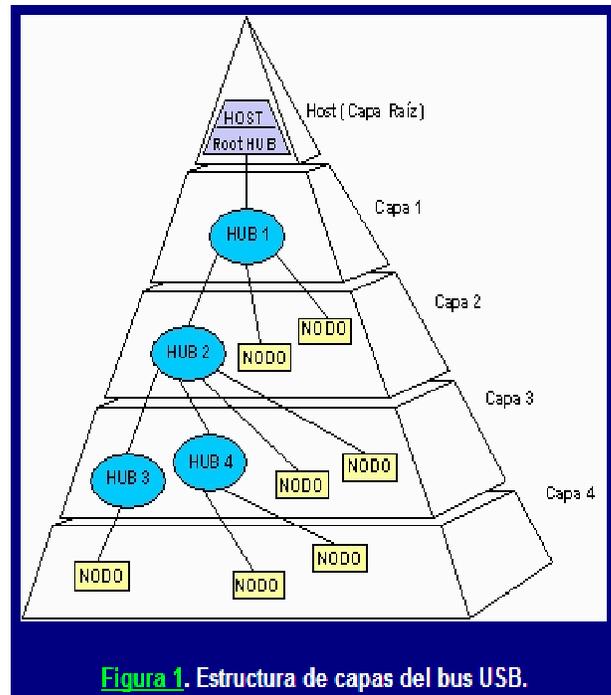


Figura 1. Estructura de capas del bus USB.

Diagrama de capas

En el diagrama de capas de la figura 5 podemos ver cómo fluye la información entre las diferentes capas a nivel real y a nivel lógico.

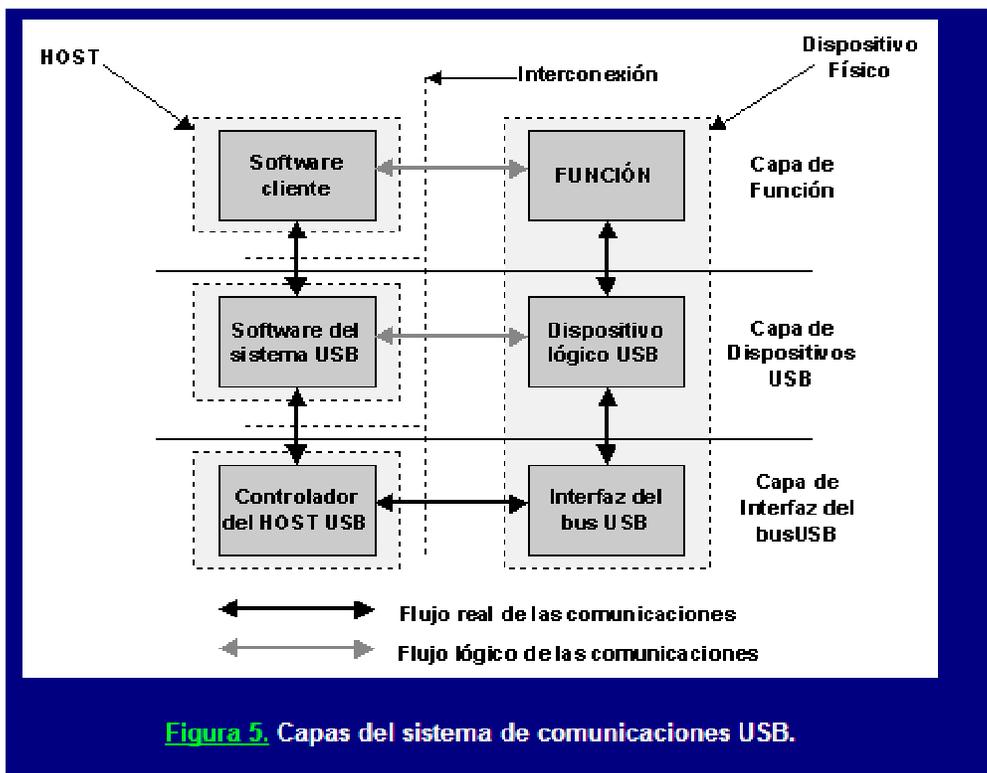


Figura 5. Capas del sistema de comunicaciones USB.

En dicha figura está materializada la conexión entre el controlador anfitrión o host y un dispositivo o periférico. Este está constituido por hardware al final de un cable USB y realiza alguna función útil para el usuario.

El software cliente se ejecuta en el host y corresponde a un dispositivo USB; se suministra con el sistema operativo o con el dispositivo USB. El software del sistema USB, es el que soporta USB en un determinado sistema operativo y se suministra con el sistema operativo independientemente de los dispositivos USB o del software cliente.

El controlador anfitrión USB está constituido por el hardware y el software que permite a los dispositivos USB ser conectados al anfitrión. Como se muestra en la figura 3, la conexión entre un host y un dispositivo requiere la interacción entre las capas. La capa de interfaz de bus USB proporciona la conexión física entre el host y el dispositivo. La capa de dispositivo USB es la que permite que el software del sistema USB realice operaciones genéricas USB con el dispositivo.

La capa de función proporciona capacidades adicionales al host vía una adecuada capa de software cliente. Las capas de función y dispositivos USB tiene cada una de ellas una visión de la comunicación lógica dentro de su nivel, aunque la comunicación entre ellas se hace realmente por la capa de interfaz de bus USB.

USB 2.0

Esta versión permite transferencias 40 veces más veloces que los USB 1.1.

Pero nuevos estándares comenzaron a aparecer y USB 1.1 quedó medio obsoleto, pues no estaba acorde a las velocidades de transferencia del momento.

El puerto USB 2.0 tiene una velocidad de transferencia de 480 mbps., sobrepasó al estándar IEEE 1394 -conocido en el ambiente Mac como FireWire y en los PC como iLink- de 400 mbps. La poderosa firma Intel no se demoró mucho en subirse al carro de la victoria y decir que sus chips vendrían integrados con esta nueva versión, que entre sus gracias está que es absolutamente compatible con la versión anterior. Si se tienen dispositivos USB 1.1, no hay problema en conectarlos al puerto USB 2.0.

Bibliografía

Bibliografía.

David Pagès Farré, research in Environmental Physics Group in University of Girona

<http://copernic.udg.es/angelets/david/research.html>

Documentos sobre detección de nubes, Atmospheric Optics Group,

<http://www-mpl.ucsd.edu/people/jshields/publications/publications.htm>

Equipo usado por el Atmospheric Optics Group

<http://www-mpl.ucsd.edu/people/jshields/wsi/wsi.intro.htm>

<http://cdsaas.u-strasbg.fr:2001/AJ/journal/issues/v122n4/201202/201202.html>

Automatic Cloud detection with SCASI, Skibotn CCD All-Sky Imager

<http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/projects/autocloud/>

Projet MASCOT, Mini All-Sky Cloud Observation Tool

<http://www.astrosurf.com/rondi/mascot/cahier.htm>

VALIDATION OF IMPROVED SKY CAMERA ALGORITHM FOR
MEASUREMENT OF CLOUD AROUND THE SUN, JEFF SABBURG and
JOE WONG

<http://www.photobiology.com/UVR98/sabburg2/>

Computational Intelligence in Cloud Classification

Markus Peura and Ari Visa

<http://www.spie.org/app/publications/magazines/oerarchive/september/sep97/Computational.html>

Referencias

Referencias

- [¹] Programa BUSCA. <http://oalm.fisica.edu.uy/busca.html>
- [²] Bólidos. http://oalm.fisica.edu.uy/pub_astromet.html
- [³] Cámara All Sky utilizada en el proyecto, Alberto Ceretta, www.geocities.com/albertoceretta/allsky.html
- [⁴] Ground-based full-sky imaging polarimetry of rapidly changing skies and its use for polarimetric cloud detection, Gábor Horváth, András Barta, József Gál, Bence Suhai, and Ottó Haiman, Eötvös University, Department of Biological Physics, Budapest, Hungría. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=11905581&dopt=Abstract
- [⁵] Cloud Detection Using Satellite Measurements of Infrared and Visible Radiances for ISCCP, NASA Goddard Institute for Space Studies & Columbia University. [http://ams.allenpress.com/amsonline/?request=getabstract&doi=10.1175%2F1520-0442\(1993\)006%3C2341:CDUSMO%3E2.0.CO%3B2](http://ams.allenpress.com/amsonline/?request=getabstract&doi=10.1175%2F1520-0442(1993)006%3C2341:CDUSMO%3E2.0.CO%3B2)
- [⁶] Utilización de imágenes satelitales de FASat Bravo en el Monitoreo de Recursos Naturales, Ing. M^a Gabriela Valenzuela V., Dr. Eligio Amthauer C., Dr. Rolando Hernández, Universidad de Concepción <http://www2.ing.puc.cl/iee/revista/Papers/Co01.pdf>.
- [⁷] Atmospheric and Environmental Research, Inc, Cloud Remote Sensing <http://www.aer.com/scienceResearch/crs/crs.html>
<http://www.aer.com/scienceResearch/crs/pubs.html>
- [⁸] Cloud Detector, Difraccion Limited, http://www.cyanogen.com/products/cloud_main.htm
- [⁹] Total Sky Imager <http://www.yesinc.com/products/data/tsi440/faqindex.html>
<http://www.yesinc.com/products/data/tsi880/faq3.html>
- [¹⁰] Identification of clouds and aurorae in optical data images, R Sevoiou, M Kosh and F Honary, Department of Communication Systems, Lancaster University, Lancaster, UK, publicado en New Journal of Physics 5 (2003) 6.1-6.7 <http://www.iop.org/EJ/abstract/1367-2630/5/1/306>
- [¹¹] A Photometricity and Extinction Monitor at the Apache Point Observatory, David W. Hogg, Department of Physics, New York University <http://www.journals.uchicago.edu/AJ/journal/issues/v122n4/201202/201202.text.html>
- [¹²] Total Sky Imager: Yanquee Enviromental Systems <http://www.yesinc.com/products/cloud.html>
- [¹³] Comparison of several ground-based cloud detection techniques, pages et al, 2002, <http://copernic.udg.es/gfa/recerca/posterEG2002.PDF>
- [¹⁴] Comparison of two imager-based methods for determination of winds aloft, Mark Beaubien, Yankee Environmental Systems, Inc., Turners Falls, MA
Jeff Freedman, Atmospheric Sciences Research Center, SUNY/Albany. Albany, NY <http://www.atmiserv.com/inner/reportspubs/TSIWindsAMS2001.pdf>
- [¹⁵] Detecting clouds using Neural Networks and generating cloud free Mosaics, T. Hosomura, P.K.M.M Pallewatta <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1991/mapfs/mapfs07.shtml>

[¹⁶] <http://www.pk3.org/K3CCDTools/>

[¹⁷] Video For Windows, Microsoft Corp,
http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/multimed/htm/_win32_video_for_windows.asp

[¹⁸] DirectX, Microsoft Corp.,
<http://www.microsoft.com/windows/directx/default.aspx?url=/windows/directx/productinfo/overview/default.htm>

[¹⁹] Maxim DL, Difrraction Limited, http://www.cyanogen.com/products/maxim_main.htm

[²⁰] <http://www.smcc.demon.nl/webcam/>