

SISTEMA DE ANÁLISIS DE VIDEO PARA MEDICIÓN AUTOMÁTICA DE INTENSIDAD DE TRÁFICO

Juan P. Ceschi¹, Enrique M. Albornoz^{1,2} y César E. Martínez^{1*}

¹Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional, sinc(i)
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral
Ciudad Universitaria Paraje "El Pozo", Ruta Nac. 168 km. 472,4 (S3000), Santa Fe

²CONICET

*cmartinez@sinc.unl.edu.ar

Resumen. El tráfico vehicular se está haciendo día a día más complicado para nuestra sociedad, ya que la cantidad de vehículos aumenta sin cesar y se producen congestiones que aumentan los tiempos de traslado, producen retrasos indeseados que irritan ánimos, dificultan los movimientos de servicios esenciales como ambulancias, bomberos, policía, etc. En la ciudad de Santa Fe se ha identificado la necesidad de una reestructuración de las políticas aplicadas a la circulación y se está trabajando en un Programa de Movilidad Urbana. Una de las medidas iniciales es cuantificar objetivamente la densidad de tráfico en arterias principales. En este trabajo se presenta el diseño, implementación y resultados iniciales de un sistema de análisis automático de videos obtenidos de las cámaras urbanas. Mediante procesamiento digital de imágenes se identifica los vehículos y se realiza el conteo discriminando en coches de gran porte (camiones y colectivos), mediano porte (automóviles y camionetas) y pequeño porte (motocicletas y bicicletas). El proyecto se encuentra en fase de prototipo funcional, donde se llegó a implementar el sistema base de procesamiento mencionado más una interfase gráfica de usuario que permite la visualización de videos, la configuración de parámetros de funcionamiento y la obtención automática de estadísticas de tráfico.

1 Introducción:

En la actualidad, la congestión vehicular es uno de los problemas más comunes que enfrenta nuestra sociedad a diario, y se produce cuando el volumen de tráfico genera una demanda de espacio transitable mayor al disponible. La consecuencia más evidente del congestionamiento es el incremento de los tiempos de viaje, especialmente en las horas pico, que alcanza en algunas ciudades niveles bastante superiores a los considerados aceptables. Además, la lentitud de desplazamiento irrita los ánimos y fomenta el comportamiento agresivo de los conductores.

Actualmente, existen en el país aplicaciones que permiten a la sociedad lidiar con la congestión vehicular, y cuya función principal es brindar

información acerca de las condiciones del tráfico en las calles. En general, esta información es generada a partir de datos proporcionados por los propios usuarios que interactúan con la aplicación, por lo que la clave del éxito yace en la necesaria y permanente colaboración responsable de la comunidad. En este contexto, surge la idea de desarrollar un sistema capaz de brindar información precisa y en tiempo real sobre la intensidad del tráfico, sin depender del aporte de las personas, a través de una implementación sencilla y económica. Los resultados provistos por un sistema de estas características permitiría tomar decisiones en temas relacionados con la movilidad urbana.

2 Situación – Problema u Oportunidad:

En las últimas décadas, en la ciudad de Santa Fe se ha producido un incremento muy importante del parque automotor. Si bien esta disponibilidad de vehículos ha permitido una mayor movilidad individual, ha generado la necesidad de una reestructuración de las políticas aplicadas a la circulación para evitar el congestionamiento de las calles. Dentro de los efectos negativos producidos por la congestión vehicular se pueden destacar los siguientes:

- la pérdida de tiempo, tanto para automovilistas como para pasajeros;
- la incapacidad de predecir con exactitud el tiempo de un viaje;
- el incremento de accidentes causados por automovilistas que pierden la calma al encontrarse en estas situaciones;
- un excesivo consumo de combustible que provoca tanto un gasto superior como un aumento de la contaminación del ambiente;
- un mayor desgaste en los vehículos debido a la situación repetitiva de aceleración y frenado.

Para poder comenzar a trabajar en una solución, primero se debe realizar un análisis estadístico del flujo del tránsito en las calles. Esta tarea no es trivial, y actualmente la Municipalidad no posee ninguna herramienta integral que le permita obtener y analizar esta información. Una primer experiencia en este sentido se ha realizado utilizando sensores de lazo inductivo que detectan el paso de los vehículos en una bocacalle. Dado que estos sensores deben ser instalados en el pavimento, estos quedan fijados de forma permanente por lo que no es posible trasladarlos para obtener información en otra zona. Adicionalmente, está el problema de la escalabilidad, ya que la instalación masiva de estos sensores demandaría una inversión económica muy elevada y no resulta rentable. En este contexto, cuando la Municipalidad requiere informes acerca del flujo de tránsito, se recurre a la observación humana para el relevamiento de la información: se destina un grupo de personas a realizar el conteo manual de vehículos, de manera presencial en las calles o mediante la observación de videos de tránsito. Entre las

desventajas de este protocolo podemos mencionar la demanda de personal, la elevada demanda de tiempo, tanto para el conteo en sí mismo como para la realización de los informes posteriores, la imposibilidad de realizar el proceso de forma masivamente en paralelo, lo tedioso y agotador de la tarea de conteo, entre muchas otras.

Una experiencia concreta al respecto se dio cuando se debía presentar el proyecto METROFE de la avenida Blas Parera. El organismo evaluador (en este caso, el Banco Mundial) solicitaba, entre otros datos, la caracterización de flujo vehicular de la traza en estudio. Esto fue resuelto a partir de la realización de conteos manuales por observación de imágenes y videos de las cámaras de seguridad urbana de la ciudad de Santa Fe. Como se puede intuir, esta tarea demandó mucho personal, tiempo y dinero.

3 Solución:

Un vez establecido el problema y la necesidad, se comenzó a trabajar en la solución del problema. Inicialmente, se realizó una búsqueda de información y un análisis acerca de las posibles tecnologías que podrían utilizarse para realizar la medición de tráfico contemplando los requerimientos de las potenciales aplicaciones. En esta primer etapa se identificó que la mayoría de los sistemas utilizan sensores de diversos tipos y que la gran desventaja de la implementación es que se requiere una gran inversión monetaria en los procesos de compra, instalación y mantenimiento. Con esta base, se exploraron tecnologías alternativas que no requieran una gran inversión y que la implementación de los dispositivos en las calles no sea un problema.

Finalmente, se decidió desarrollar un sistema para medir la intensidad de tráfico con base en técnicas avanzadas de análisis y procesamiento de imágenes y videos, utilizando cámaras estándares que se utilizan para el monitoreo de las calles de la ciudad. Algunos de los motivos que impulsaron esta decisión son:

- El análisis de video involucra un importante desarrollo de software mientras que evita grandes inversiones en la compra de sensores y equipamiento específico. Serán necesarias, por lo tanto, sólo las cámaras de video que capturen el tránsito.
- La ciudad de Santa fe dispone de una gran red de cámaras urbanas que serán utilizadas para este proyecto, sólo requiriendo en algunas un ajuste en su emplazamiento. Actualmente, la Municipalidad de Santa Fe cuenta con 94 cámaras ubicadas estratégicamente en las calles principales, donde existe mucha circulación junto a los mayores problemas de congestión. De esta manera, el costo de implementación se reduce considerablemente.
- Esta tecnología, entendiéndose software y hardware en su sentido más amplio, puede ser mejorada y ampliada para ser aplicada en temas

de seguridad ciudadana, donde se implementen aplicaciones para, por ej., conteo y flujo de peatones, identificación de personas, comportamientos sospechosos, actos de vandalismo, entre otros.

- La disponibilidad del Instituto de Investigación *sinc(i)* de la UNL-CONICET en la ciudad, donde existen los recursos humanos formados y las capacidades para llevar adelante este tipo de proyectos científico-tecnológicos.

Es interesante destacar que, previamente y durante el diseño y desarrollo del sistema, se realizaron reuniones entre los responsables de la Municipalidad y el Instituto *sinc(i)* donde se establecieron los protocolos de acceso a los videos de vigilancia, se realizaron análisis de los mismos, se llevo a cabo la revisión bibliográfica de las tecnologías y métodos del estado del arte en temas relacionados, y se realizó un relevamiento de requerimientos funcionales y no funcionales para el sistema que fueron registrados en un documento de requerimientos.

Con base en los requerimientos relevados en la etapa inicial de análisis, se estableció la lista de objetivos del Proyecto, que se listan a continuación:

- Automatizar el conteo de vehículos, dejando en el pasado el conteo por observación.
- Brindar información en tiempo real acerca del estado del tráfico en las calles.
- Implementar técnicas que reduzcan la necesidad de almacenamiento de grandes volúmenes de información, conservando la información relevante.
- Desarrollar un sistema que sea escalable y pueda afrontar procesos de reingeniería.
- Establecer un protocolo de instalación y configuración sencilla y económica.

3.1 Materiales y métodos

Videos de tráfico y herramientas de software:

El personal a cargo del sistema de cámaras de la municipalidad compiló un DVD con 15 videos de aproximadamente una hora de duración cada uno, obtenidos en diferentes zonas de la ciudad y en diferentes franjas horarias. Se requirió este conjunto de videos para poder evaluar la potencialidad del funcionamiento de los algoritmos en diversas configuraciones de las escenas: tipo de cámara, resolución del video, ángulo de la cámara, distancia focal, tipo y fuente de iluminación, condiciones atmosféricas-meteorológicas, existencia de obstáculos o interferencias, etc.

Respecto a las herramientas de software, la base del sistema está dada por el campo de la Visión Computacional y su análisis del estado del arte.

Dadas las potencialidades pretendidas para el sistema final, que incluyen la escalabilidad, el funcionamiento en tiempo real y el almacenamiento reducido, se decidió por implementar el sistema en C++ utilizando la biblioteca de código abierto OpenCV (disponible en <http://opencv.org>).

El sistema está dividido en 4 módulos principales relacionados con el preprocesamiento del video, la detección de objetos en la escena, el seguimiento de objetos y el registro del tipo y número de vehículos. Éstos fueron diseñados de forma genérica y abarcativa, para que al momento de su utilización los parámetros de cada paso puedan ser ajustados al caso de estudio particular. En la Figura 1 se presenta un diagrama general del sistema, identificando los módulos principales que lo constituyen.

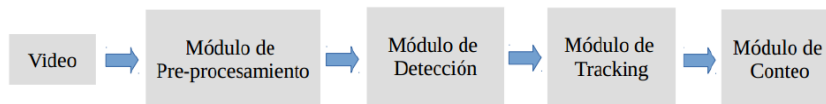


Figura 1: Esquema general del sistema

Módulo de Pre-procesamiento:

Este es el primer módulo del sistema, encargado de la preparación de las imágenes. Dentro de los procesos aplicados se encuentran:

- *Normalización de la resolución:* se analiza la resolución del video de entrada, y en base a los requerimientos de las procesos posteriores, será ajustada para reducir costos computacionales.
- *Filtrado:* estos procesos tienen el objetivo de reducir la influencia de los ruidos de diversa naturaleza que puedan estar presentes en la escena.
- *Normalización del nivel de iluminación:* dado que las fuentes de video son diversas, es necesario cuantificar el nivel de iluminación de la escena y aplicar un proceso de normalización para lograr fotogramas más homogéneos a lo largo de la duración de los videos.
- *Determinación de una Región de Interés (ROI):* este paso es semi-automático pues requiere de una participación inicial del usuario experto. La demarcación de ROI dentro de la escena presenta varias ventajas, como ser reducción del costo computacional y la exclusión de zonas no relevantes y que pueden entorpecer el procesamiento.
- *Ajustes de parámetros:* en base a la configuración particular de cada escena (video analizado), se deben establecer los volúmenes asociados a cada tipo de vehículo. Este paso podría perder importancia en tanto se estandaricen las configuraciones de las cámaras (localización, distancia focal, ángulo, etc.)

Módulo de Detección:

En este módulo los dos bloques más importantes son: el modelado del fondo y la detección de vehículos en la escena. El primero es un proceso de estimación del fondo de la escena, es decir, una escena sin vehículos. Mientras que el segundo debe distinguir los píxeles que corresponden al fondo de aquellos que pertenecen al frente. Los pasos implicados en este módulo son:

- *Modelado del fondo*: se decidió utilizar el modelado estadístico del fondo computada a partir de una secuencia de fotogramas. Ésto se realiza de forma periódica con un algoritmo basado en mezcla de Gaussianas (cita).
- *Segmentación*: se extraen los vehículos en movimiento por medio de una diferencia entre el fondo modelado y el fotograma actual del video. Aquí también se utilizan técnicas de morfología matemática para eliminar elementos espurios y lograr una segmentación más acabada.
- *Representación y Clasificación*: cada uno de los vehículos detectados será expresado como una región particular, y a partir de la estimación de sus características serán clasificados.
- *Eliminación de sombras*: las sombras de los vehículos generan inconvenientes a la hora de diferenciar los vehículos, y para eliminarlas se implementó un método que utiliza el modelo de color *Lab* (cita).

Módulo de Tracking (Seguimiento):

El módulo de tracking tiene por objetivo seguir la trayectoria y el movimiento de los vehículos detectados en el módulo anterior. Ésto es muy importante ya que no hacerlo, puede entorpecer el conteo posterior. El objetivo es identificar la correspondencia entre los vehículos que aparecen en los diferentes fotogramas sucesivos del video y los pasos incluyen:

- *Cálculo del centro geométrico*: sobre las regiones que delimitan cada vehículo se calculan los centros geométricos.
- *Resolución de oclusiones parciales*: las oclusiones parciales entre vehículos son identificadas en base a las correspondencias entre las posiciones de los centros detectados entre fotogramas sucesivos.
- *Seguimiento de vehículos*: se definió de forma ad-hoc utilizando los centros de los vehículos que ya han sido correctamente extraídos y utilizando una medida de mínima distancia entre los mismos.

Módulo de Conteo:

Dentro de este módulo se lleva un registro de la cantidad de automóviles que circularon por la escena. Con base en la ROI definida inicialmente, se establece el *límite de conteo* y es el lugar de la escena donde los vehículos son contabilizados. En una segunda instancia, se actualiza el registro de los vehículos detectados, clasificándolos según su tamaño.

Un esquema general del sistema completo puede verse en la Figura 2. La Figura 3 presenta una captura de pantalla del sistema, donde puede verse el video, un panel a la derecha que permite la configuración del sistema y en el panel inferior se muestran los resultados del análisis.

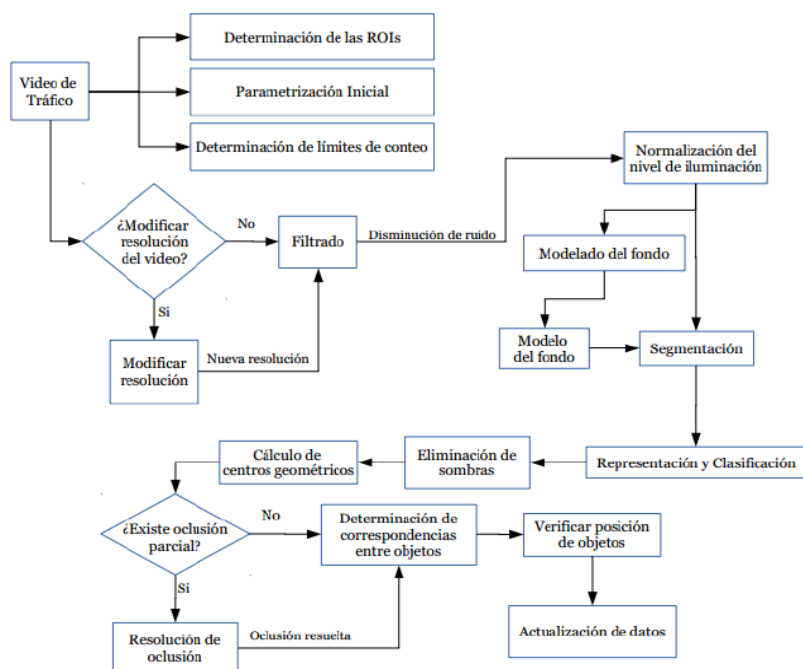


Figura 2: Esquema de procesos del sistema completo

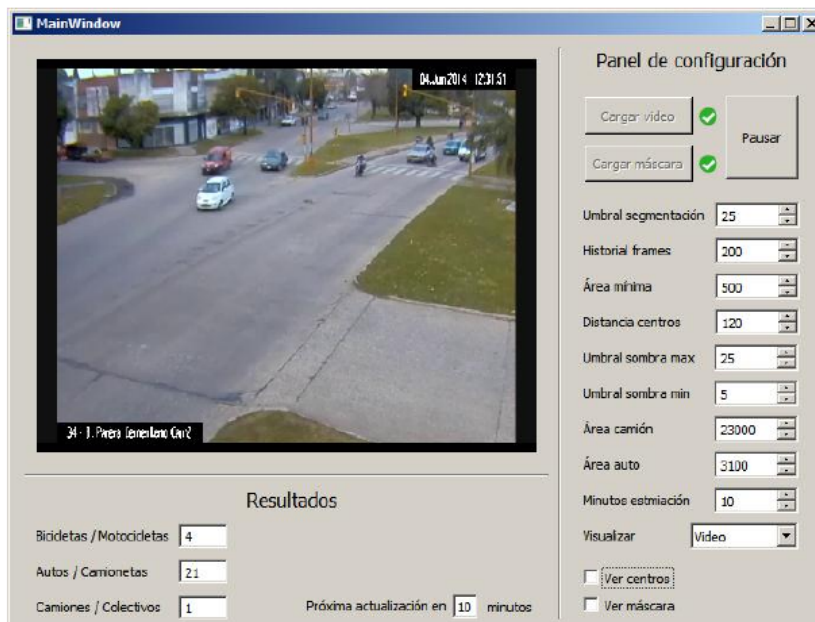


Figura 3: Captura de pantalla del sistema

4 Innovación e Inédito:

A nivel internacional existen diversos productos y soluciones en lo que se refiere a medición de tráfico, cada uno de los cuales utiliza diferentes tecnologías. Durante la etapa de estudio del estado del arte, se encontraron artículos referidos a la utilización de procesamiento de video para detección de objetos, particularmente vehículos, pero no se encontró una herramienta libre y flexible para tal fin.

A nivel nacional y local, se utilizan algunos sistemas de sensores para medición de tráfico, pero no se encontraron antecedentes de casos en los que se tenga la intención de utilizar procesamiento de video. Por lo tanto, sería posible decir que resulta inédita esta iniciativa de utilizar métodos de procesamiento de video para medición de intensidad de tráfico, sobre todo a nivel municipal o de gestión pública en general.

Consideramos que este proyecto es innovador, ya que propone la utilización y desarrollo de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) dentro del sector público, reutilizando las infraestructuras disponibles en el mismo, con lo cual se produce un ahorro económico y una disponibilidad inmediata de informes de tráfico.

5 Beneficiarios

El beneficiario más directo de este desarrollo es la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe, que a partir de la utilización de la herramienta puede disponer de datos en forma rápida y confiable. A partir de éstos análisis es posible mejorar las políticas de circulación, horarios, ampliación de accesos, determinación de carriles exclusivos, etc. Además, el personal de tráfico no se verá sometido a la tediosa tarea de la observación, cómputo y análisis manual del tráfico, pudiendo de esta manera destinar su tiempo a tareas más útiles.

Otros beneficiarios son los ciudadanos, quienes actualmente son los que padecen las consecuencias de la congestión vehicular, y que a futuro con la implementación de nuevas políticas de movilidad, no se verán tan expuestos a este problema.

Podría pensarse también que los medios de comunicación podrían sacarle provecho a este desarrollo, ya que tendrían la posibilidad de informar a la comunidad el estado de congestión de las calles. Así también, podrían beneficiarse aquellas empresas que quisieran desarrollar aplicaciones que informen al usuario sobre el estado del tráfico.

6 Relevancia para el interés público:

La disponibilidad de este tipo de herramientas permite a los gobiernos locales tener acceso a información útil de manera simple y a bajo costo. Esta información es crucial para definir políticas de tránsito, así como para elaborar y evaluar de proyectos relacionados al ordenamiento y la planificación vial.

La información producida por este sistema orientará el desarrollo de soluciones que reduzcan los casos de congestión vehicular en la ciudad. Entre estas soluciones podemos citar:

- la elaboración de nuevas políticas en temas relacionados a la movilidad urbana,
- la inclusión de semáforos inteligentes que modifiquen su comportamiento en base a la intensidad de tráfico,
- el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles que permitan a los ciudadanos conocer el estado de congestión de las calles y en base a eso modificar su ruta de circulación, entre otros.

Se espera evaluar la implementación del sistema verificando si luego de la implementación de cambios propuestos a partir de este sistema, se logra verificar o comprobar una real disminución de las congestiones y el aumento en la satisfacción general de los usuarios. Si bien podríamos enumerar una lista de beneficios que consideramos relevantes para el interés público, será necesario evaluar a posteriori las nuevas políticas y obras públicas que serán abordadas a partir de la implementación del sistema. El estudio de la utilidad,

conformidad y aceptación del sistema podría evaluarse en base a encuestas personalizadas o telefónicas a los usuarios, relevando información de accidentes de tránsito a través de fuentes policiales o de servicios de emergencias, incorporando sistemas de evaluación en las redes sociales y páginas webs, entre otros.

7 Viabilidad técnica, financiera y política organizacional:

La primer etapa tendiente a la comprobación de la viabilidad técnica ha concluido, con el desarrollo de un prototipo del sistema. El desarrollo ha sido llevado adelante por un alumno de Ingeniería Informática de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la UNL, en el marco de su Proyecto Final de Carrera, bajo la dirección de docentes-investigadores del Instituto *sinc(i)*. En esta etapa, la Municipalidad proporcionó el acceso al material filmico y colaboró en la definición de los requerimientos, objetivos y alcances del sistema. Se prevé el financiamiento para el desarrollo de la herramienta una vez analizado en profundidad el comportamiento del presente prototipo.

Un punto importante respecto de la viabilidad financiera, es que el proyecto fue concebido para ser implementado sobre el sistema de cámaras con el que actualmente cuenta la Municipalidad, principalmente usadas para seguridad pública. Se prevé un plan de ajustes y configuraciones de las cámara para que permitan mantener su funcionalidad actual, mientras son aprovechadas por este sistema sin incurrir en gastos extras. Existe la posibilidad de destinar los fondos, empleados para el actual conteo manual de tráfico, a la mejora e implementación de este sistema que una vez instalado demandaría un costo mínimo de mantenimiento.

Este sistema estará íntimamente ligado a los proyectos e inversiones que empleen los indicadores de flujo de tráfico, ya sea para diseñar calles, avenidas y/o accesos, redireccionar el flujo de vehículos particulares, definir horarios de tránsito pesado y circulación de transporte público, emplazar dependencias públicas que requieran accesos rápidos, etc.

8 Facilidad de reproducción:

El prototipo del sistema ha sido desarrollado utilizando herramientas de código abierto y sobre plataformas estándares. El sistema completo será implementado utilizando las mismas herramientas, por lo tanto podrá ser reproducido fácilmente en otros Municipios. Para ésto, deberán contar con una infraestructura de cámaras que logren filmar el tráfico, y se debe seguir un protocolo sencillo de configuración.

Desde el punto de vista financiero, si se cuenta con la infraestructura de cámaras mencionada, el costo para la aplicación del protocolo de configuración y puesta a punto de las cámaras es menor. Se debe considerar también la necesidad de una máquina (servidor) dedicada, con una

importante cantidad de memoria y de almacenamiento para procesar grandes cantidades de videos. Es importante destacar que se implementaron técnicas que permiten un almacenamiento reducido de la información, es decir, conservar solamente la información necesaria.

9 Ambiente de Hardware y Software:

Aquí se lista el hardware y software necesario para el sistema, sin embargo, es importante destacar que el software fue orientado a solucionar el problema utilizando el hardware disponible y por lo tanto en esta etapa aun no se optimizó el mismo.

Arquitectura de Hardware:

Cámaras de video:

- Marca Messoa.
- Color Speed dome camera SDS750M-HP2-EU.
- 2MP High Speed PTZ dome network camera NIC990-HP2-EU-MES.
- Outdoor IR Dome network camera NOD385-P2-MES.

PC:

- Procesador Intel Core i7, 16GB DDR3, disco rígido 1TB (SSD es óptimo)

Arquitectura de Software:

El sistema está desarrollado sobre plataforma tipo PC, utilizando las siguientes herramientas:

- Lenguaje C++
- Biblioteca de código abierto OpenCV, que contiene más de 500 funciones de visión computacional y aprendizaje maquina. OpenCV es una biblioteca multiplataforma (GNU/Linux, Mac OS X y Windows), y permite a los sistemas ser compilados para funcionar en cualquiera de éstas.

Actualmente, los videos son almacenados en servidores Windows, con formato *mp4*. Adicionalmente, se almacena un registro de eventos en una base de datos SQL.