



# TÉKLINE

Congreso Multidisciplinario en Ingeniería y Tecnologías para la Innovación

2013



**RECIBE**  
Revista electrónica  
DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICAS Y ELECTRÓNICA

Vol. 3 No.1

Editado por:

Dra. Adriana Peña Pérez Negrón  
Mc. Juan Carlos Olivares Rojas

Número Especial

# Índice

## Editorial

Presentación.....i

## Computación e Informática

Implementación de un Modelo de Gestión para la Interconexión y Disponibilidad (MGID) para Cómputo en la Nube.....I  
Sandra Anizar, Sandra Ivette Bautista Rosales,  
Chadwick Carreto.

Las simulaciones, una alternativa para el estudio de los protocolos P2P.....II  
Armando de Jesús Ruiz Calderón, Abel González Cañas,  
Sofía Barrón Pérez.

Implementación en tiempo real para el seguimiento en secuencias de vídeo.....III  
Jesús Eduardo Alcaraz, Félix Calderón.

Software interactivo para desarrollo de habilidades matemáticas a nivel primaria.....IV  
Elizabeth Guerrero Sánchez, Mallory Eréndira Rivas Tovar,  
Jairo Gerson Rivera Ruiz.

Propuesta para el manejo de información clínica basada en la NOM-168 por medio de un dispositivo móvil y la tecnología NFC.....V  
Salvador Escorcía García, Máximo López Sánchez,  
Juan G., González.

Los Triángulos de Delaunay como Procesamiento Previo para Extractores Difusos.....VI  
Manuel Ramírez Flores, Gina Gallegos García,  
Gualberto Aguilar Torres, Miguel Ángel García Licona.

Desarrollo de aplicaciones móviles para la enseñanza de las ciencias.....VII  
Rogelio Ferreira Escutia, Misael Madrigal Torres.

Diseño óptimo de un disipador de calor para luminaria  
LED mediante moderación modelación computacional.....VIII  
Daniel Cahue Díaz, Juan Cristóbal Camacho Arriaga.

## **Electrónica**

Control de velocidad de un motor de CD con un  
controlador PID Wavenet.....IX  
Abraham Christian Pedroza Araujo.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

## Presentación

Téckhne es una palabra de origen griego que rememora uno de los acontecimientos más trascendente en la historia universal: el nacimiento de disciplinas consideradas como un saber técnico. Posteriormente, la palabra griega Téckhne se tradujo al latín como ars, significando destreza o habilidad. En la antigüedad, entre los griegos, la Téckhne significaba originariamente la capacidad del hombre para producir instrumentos y bienes de consumo, en estrecha afinidad con la producción artesana y artística en general (poiésis). La técnica moderna, con su carácter calculador, racionalizante y garantizador del éxito por adelantado, invade cada vez más y más todos los sectores de la vida humana.

En México a finales de la década de 1930 se consolidan las Instituciones de Educación Superior ligadas a la Técnica y la Ingeniería con la creación del Instituto Politécnico Nacional y posteriormente en la década de 1940 los primeros Institutos Tecnológicos, en donde la ciencia y la tecnología empezaron a proliferar en las diversas regiones del País.

El Instituto Tecnológico de Morelia tiene como misión: “Formar personas competentes y competitivas a nivel internacional en el campo científico-tecnológico y humano, que contribuyan al desarrollo sustentable de México y al conocimiento global, fomentando valores humanos y culturales.” Por este motivo, comprometido con la sociedad en brindar profesionistas con una educación integral ha realizado desde el 2011 el Congreso Multidisciplinario en Ingeniería y Tecnologías para la Innovación “Téckhne”, el cual es un congreso que se realiza cada semestre en marzo y octubre y en donde convergen todas las áreas del conocimiento del Instituto como son: Ciencias Básicas, Metal-Mecánica, Ing. Industrial, Química y Bioquímica, Sistemas y Computación, Ciencias Económico Administrativas, Ingenierías Eléctrica y Electrónica donde

participan más de 5000 alumnos no sólo del Tecnológico de Morelia, sino de diversas universidades de la región de carreras como: Contador Público, Lic. en Administración, Ing. en Gestión Empresarial, Ing. en Materiales, Ing. Mecánica, Ing. y Lic. en Informática, Ing. en Sistemas Computacionales, Ing. en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Ing. Industrial, Ing. Bioquímica, Ing. Eléctrica e Ing. en Electrónica. Las actividades que se desarrollan en este congreso son talleres, visitas industriales, conferencias magistrales, ponencias técnicas (con la revisión arbitrada de artículos técnicos), entre otras actividades.

Este número especial es una recopilación de artículos selectos de las áreas de Computación, Informática y Electrónica de Téckhne 2013 en su presentación del 16 al 18 de octubre que tuvo lugar en la ciudad de Morelia, Michoacán y que esperamos encuentren útiles e interesantes.

**M.C. Juan Carlos Olivares Rojas**

# Implementación de un Modelo de Gestión para la Interconexión y Disponibilidad (MGID) para Cómputo en la Nube

Sandra Anizar

SEPI - Escuela Superior de Cómputo  
Instituto Politécnico Nacional  
México D.F.  
sanizargon@hotmail.com

Sandra Ivette Bautista Rosales

SEPI - Escuela Superior de Cómputo  
Instituto Politécnico Nacional  
México D.F.  
sibauros@hotmail.com

Chadwick Carreto

SEPI - Escuela Superior de Cómputo  
Instituto Politécnico Nacional  
México D.F.  
ccarreto@ipn.mx

**Resumen:** En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos de la implementación y las mejoras del Modelo de Gestión para la Interconexión y Disponibilidad (MGID) de los Servicios para el Cómputo en la Nube, la propuesta se trata de un Mecanismo de Conectividad que permite que los servicios proporcionados por una “Nube Pública” se encuentren la mayoría del tiempo disponibles para los usuarios en el momento que lo requieran.

**Palabras clave:** Cómputo Móvil, Cómputo en la Nube, Comunicaciones, Disponibilidad, Gestión e Interconexión.

# Implementation of a Management Model for Interconnection and Access (MMIA) for Cloud Computing

**Abstract:** In this paper we present the results obtained from the implementation and improvement of the Management Model for Interconnection and Access (MGID) Services for Cloud Computing, the proposal is a mechanism that enables connectivity that services provided by a "Public Cloud" are most of the time available to users when they need it.

**Keywords:** Mobile Computing, Cloud Computing, Communications, Access, Management and Networking.

## 1. Introducción

El Cómputo en la Nube es la convergencia y evolución de varios conceptos relacionados con las tecnologías de la información, como son la virtualización, el cómputo móvil, el diseño de aplicaciones distribuidas o el diseño de redes así como la gestión y suministro de aplicaciones, información y datos como un servicio (Oracle,2009).

Así el Cómputo en la Nube proporciona de forma eficiente el acceso a servicios informáticos, independientemente de los sistemas físicos que utilizan o de su ubicación real, siempre y cuando se disponga de acceso a Internet (L.J. Aguilar,2009), pudiendo trabajar conjuntamente sobre el mismo contenido. Sin embargo como toda tecnología que se encuentra en sus inicios, el Cómputo en la Nube no está exento de controversias, si bien es cierto que la disponibilidad es una ventaja, actualmente una de las problemáticas más fuertes que enfrenta el creciente desarrollo del Cómputo en la Nube es de garantizar la interconexión y el acceso a los servicios que esta tecnología proporciona. Esta problemática se agudiza si se toma en cuenta que actualmente la gran mayoría de los sistemas computacionales migraran a esquemas de Cómputo en

la Nube, por lo cual es de vital importancia garantizar que estos sistemas tengan interconexión a la red y a los servicios de Cómputo en la Nube el mayor tiempo posible y sin interrupciones.

La estructura del presente trabajo se compone de ocho secciones; primeramente se expone la situación actual del Cómputo en la Nube en cuanto a su concepto, características y ventajas que ofrece, en la segunda sección se define y presenta el MGID, para posteriormente en la tercera sección definir la Arquitectura que se ha desarrollado para el MGID; en la cuarta sección se comenta la Instalación de una Nube Pública, seguido de la Implementación del MGID, posteriormente las Pruebas y Resultados obtenidos, las conclusiones finales y por último algunas mejoras y trabajo a futuro.

## **2. Modelo de Gestión para la Interconexión y Disponibilidad (MGID)**

En la Figura 1, se muestra el MGID que se ha desarrollado, el cual está dotado de un carácter estándar; es decir que puede implementarse en diferentes Arquitecturas de “Nube”, para permitir la optimización de los servicios de disponibilidad, conectividad, reconocimiento y monitoreo del estado del enlace y de los usuarios.



**Figura 1.** Modelo de gestión para cómputo en la nube.

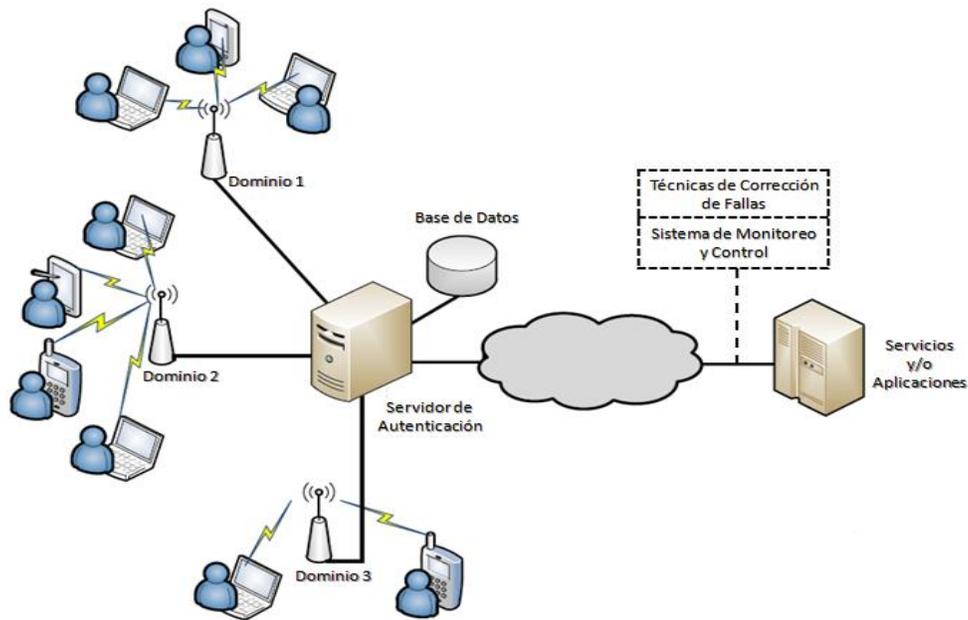
Como se puede observar el MGID está compuesto por cinco capas interconectadas entre sí, estas capas son:

- Capa de Interconexión.
- Capa de Validación o Identificación.
- Capa de Administración de la Información.
- Capa de Monitoreo de la Conexión.
- Capa de Técnicas de Corrección.

Por medio de este MGID se ha conseguido una mejora en la gestión y provisión de las aplicaciones o servicios que se encuentran dentro de una Nube Pública Educativa y a la que los usuarios pueden que acceder y hacer uso de estos servicios en el momento que lo soliciten.

### 3. Diseño y arquitectura del mgid

En la Figura 2 se puede observar la Arquitectura del MGID, la cual es de suma importancia ya que define como es que interactúan todos los elementos que componen al MGID y como estos se encuentran apoyados en algunos estándares, normas, protocolos, procesos, reglas, etc., con el fin de hacer totalmente funcional el MGID que se ha diseñado.



*Figura 2. Arquitectura del MGID en el cómputo en la nube.*

Entonces, la Arquitectura del MGID tiene la característica de que el usuario reciba una atención inmediata, así como de una total movilidad y que además, los servicios que se ofrezcan sean administrados de una forma inteligente (Oracle,2010) dependiendo del perfil que tenga la persona que acceda a la “Nube”, será el tipo de servicios a los que tendrá acceso. Esta Arquitectura ha permitido que los usuarios tengan acceso a sus servicios en la Nube sin importar diversas problemáticas de interconexión como retardos, desconexiones e intermitencias y para que varias Tecnologías Inalámbricas puedan interoperar entre sí, de manera que esto no sea un obstáculo en la

comunicación, sin embargo para nuestro caso y para fines prácticos se ha trabajado con equipo Wi - Fi y el Estándar IEEE 802.11g.

## **4. Implementación del MGID e Instalación de la Nube Pública Educativa**

Tanto el MGID así como un Servidor Cloud Computing se implementaron dentro del Laboratorio de Cómputo Móvil de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM); ya que en este existen los medios y las facilidades necesarias para desarrollarlos y así proceder a realizar las pruebas suficientes para comprobar su operación y funcionalidad.

El software que empleamos para instalar nuestra Nube Pública Educativa es ownCloud, el cual está basado en PHP, SQLite, MySQL o PostgreSQL y puede ejecutarse en todas las plataformas que cumplan con estos requisitos, se trata de una solución desarrollada con software libre que puede descargarse de forma gratuita e instalarla en un Servidor propio y que surge como una alternativa a los proveedores de servicios en la Nube comerciales; en la siguiente Tabla se muestran las características más importantes del Servidor que instalamos como Nube.

Tras completar la instalación del Sistema Operativo en el equipo, se debe configurar la tarjeta de red para asignarle una IP pública y fija, enseguida se procede a instalar todos los paquetes necesarios para después descargar e instalar la versión más reciente de ownCloud desde su sitio oficial.

Una vez listo el Servidor Cloud, se puede proceder a la creación de usuarios; entre las principales ventajas que la Nube nos ofrece, es que dispondremos de todo el espacio libre que el Servidor tenga en el disco duro y que todo lo que se aloje en el estará únicamente bajo nuestro control; gestionando así su seguridad, su privacidad y garantizando la confidencialidad de la información.

El MGID ya implementado se encarga de manejar todos los Servicios en la Nube dentro de un entorno educativo y bajo el concepto de dominio, con la finalidad

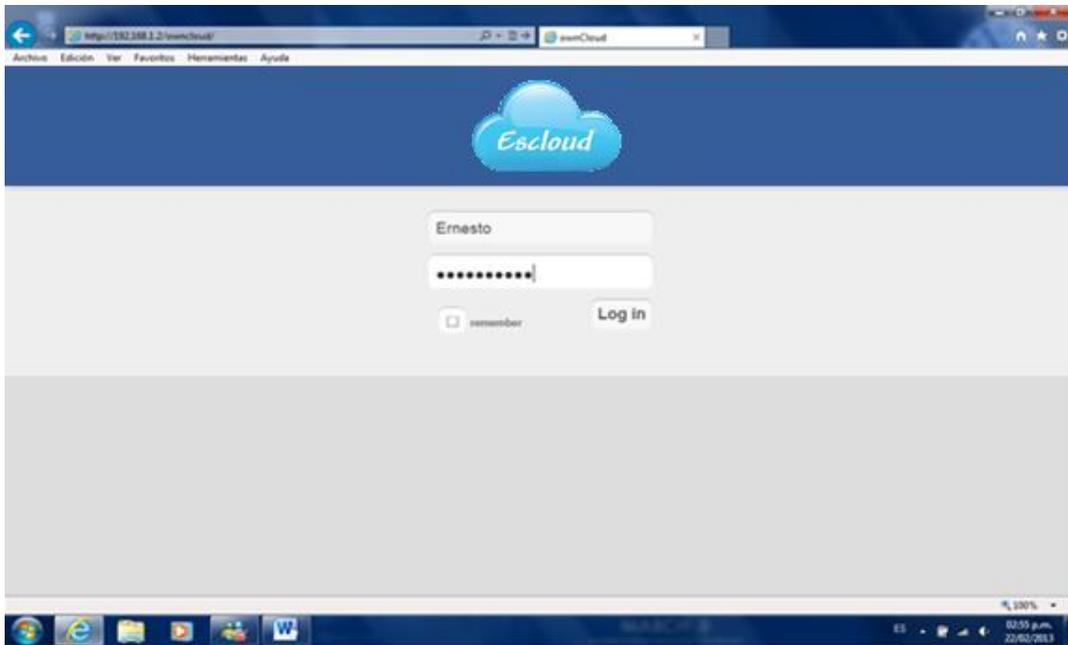
de beneficiar a aquellos usuarios (alumnos, profesores, personal administrativo, etc.) cuyos equipos móviles se encuentren dentro del área de cobertura del punto de interconexión a la Nube; para saber más sobre la instalación del Servidor Cloud así como la implementación y configuración de los equipos que componen las capas del MGID se recomienda al lector consultar algunos de los artículos anteriores que se han publicado (J.E. Chávez,2012), (J.E. Chávez,2013).

## **5. Pruebas y Resultados**

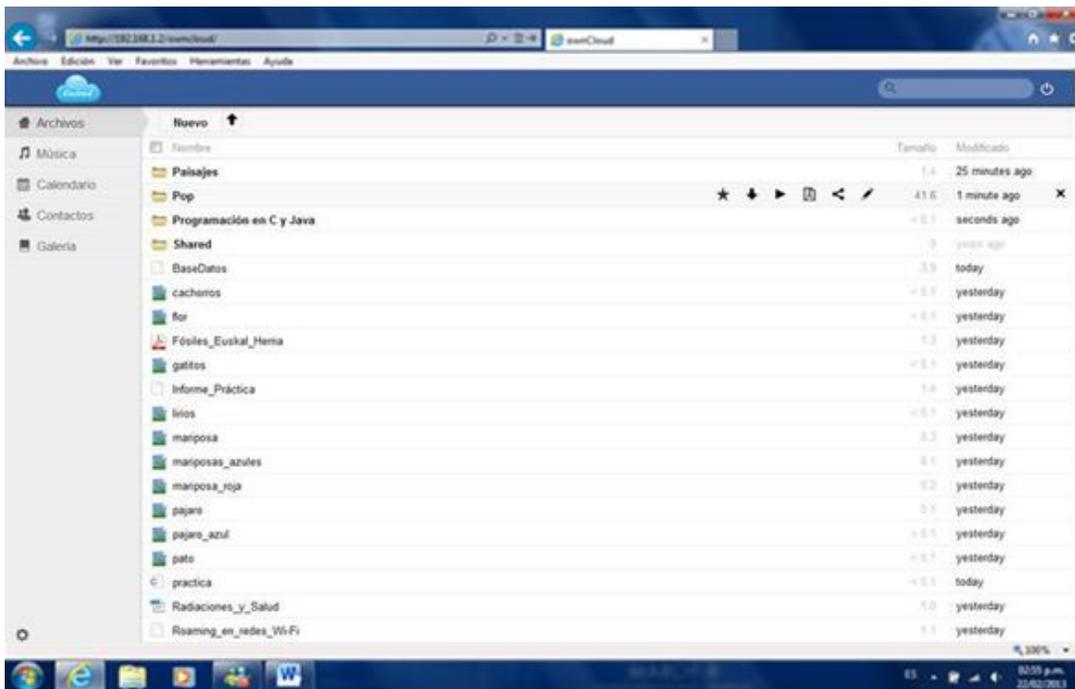
Gracias al paquete ownCloud, de forma predeterminada nuestro Servidor en Nube ofrece a todos los usuarios los siguientes servicios: Almacenamiento de información, compartir archivos con usuarios y no usuarios, reproducción de música, galerías de imágenes, calendario/agenda de contactos, visor de archivos PDF y editor de textos. Además de permitir las funciones más usuales como son el Backup y Sincronización de Archivos entre varios dispositivos y el uso de la Nube con la Tecnología WebDAV.

En su sesión el administrador es el encargado de proporcionar a cada usuario un nombre, su contraseña e ingresarlos dentro de un grupo de trabajo en la base de datos del Servidor Cloud, que les brindara el acceso a su sesión dentro de la Nube y así obtener sus servicios correspondientes; también se le asigna a cada usuario una determinada cuota de almacenamiento, que en nuestro caso es de 10 GB de espacio en disco por usuario, esto es en función al tamaño de 320 GB del disco duro y de la capacidad máxima de personas en el laboratorio que es de 30 usuarios.

Primeramente se realizaron pruebas de conexión y almacenamiento de Información en la Nube con los usuarios registrados hasta el momento vía Web desde su navegador de Internet hacia el Servidor en la Nube (ver Figura. 3 y Figura. 4).

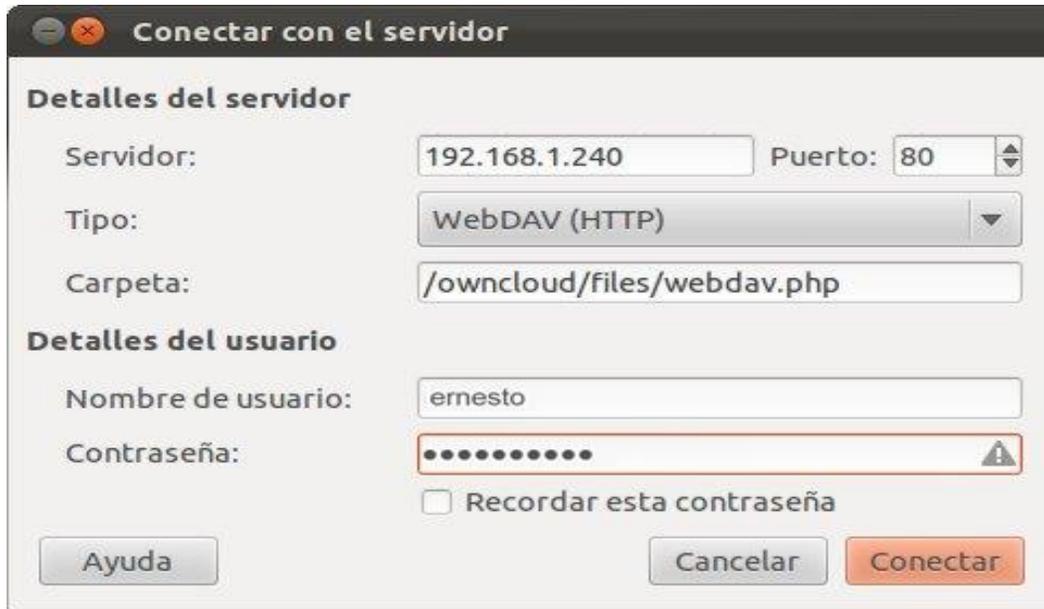


*Figura 3. Acceso a la nube desde el explorador web.*

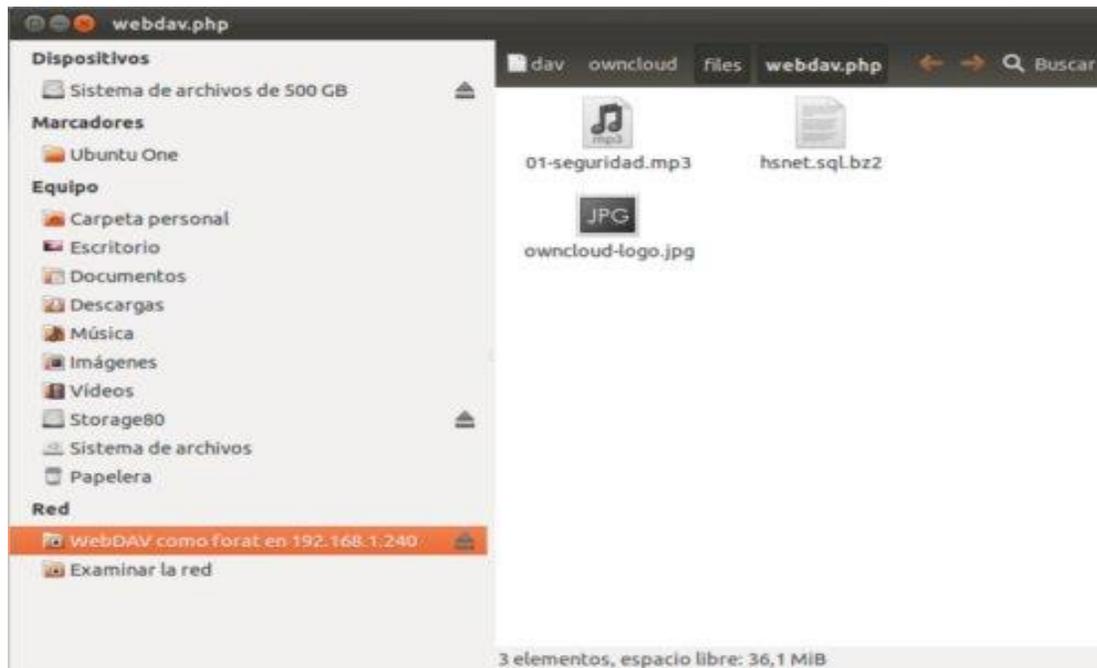


*Figura 4. Sesión en la nube vía web.*

También a través del explorador de archivos de un equipo GNU/Linux o Ubuntu mediante WebDAV, como se muestra en la Figura. 5 y la Figura. 6 respectivamente.

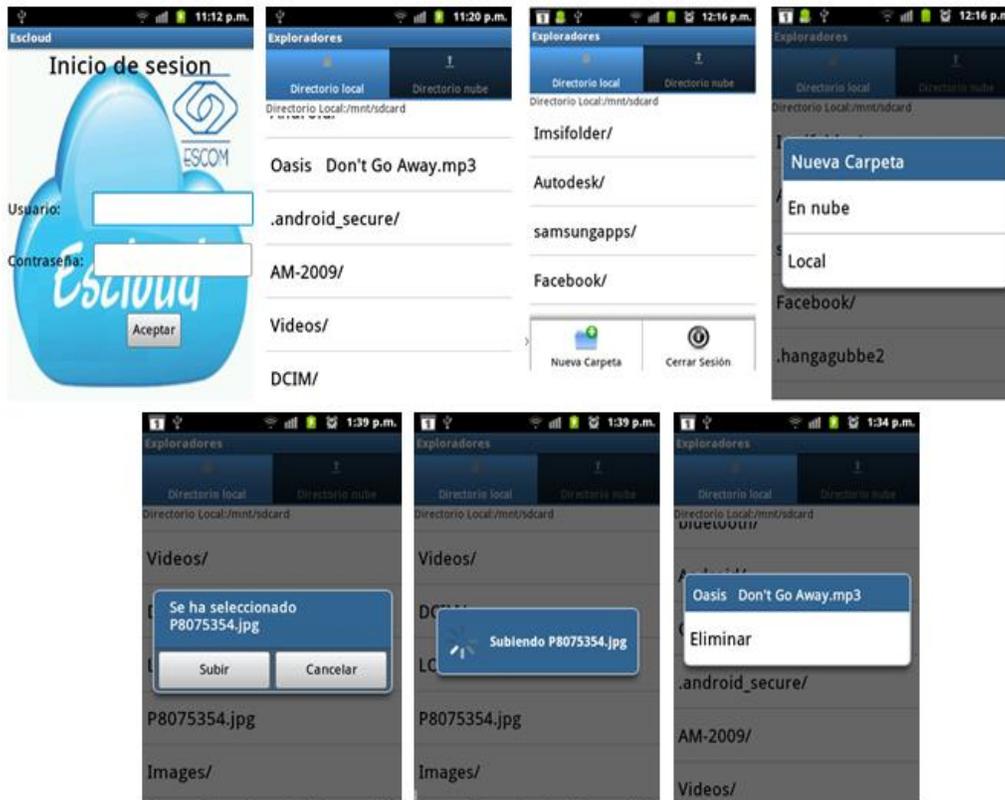


*Figura 5. Conexión con la nube mediante nautilus.*



*Figura 6. Sesión en la nube como unidad de red.*

En la Figura 7, se muestra la Interfaz Gráfica de una aplicación para equipos móviles con Sistema Operativo Android que se desarrolló; así como las pruebas de funcionamiento realizadas con la finalidad de brindar a los usuarios un gestor que permite el acceso a su información dentro de la Nube de una manera mucho más sencilla, flexible y dinámica.



*Figura 7. Pruebas de la aplicación para android.*

Finalmente para las mediciones referentes al Tráfico en la Nube se empleó el Analizador de Protocolos Wireshark, el cual también es un software libre que nos permite capturar los paquetes transmitidos y recibidos directamente desde la interfaz de la red inalámbrica de la Nube.

Usando la Herramienta Wireshark también se puede obtener información valiosa de la Infraestructura de Red (ver Figura 8) en donde se instaló la Nube e Implemento el MGID; de entrada nos muestra el Nombre del Host, el Dominio al que está asociado, la Dirección IP, MAC Address, el consumo de Ancho de

Banda, Nombre del Fabricante, Numero de saltos hasta el Dominio, el Tiempo de Actividad, etc.

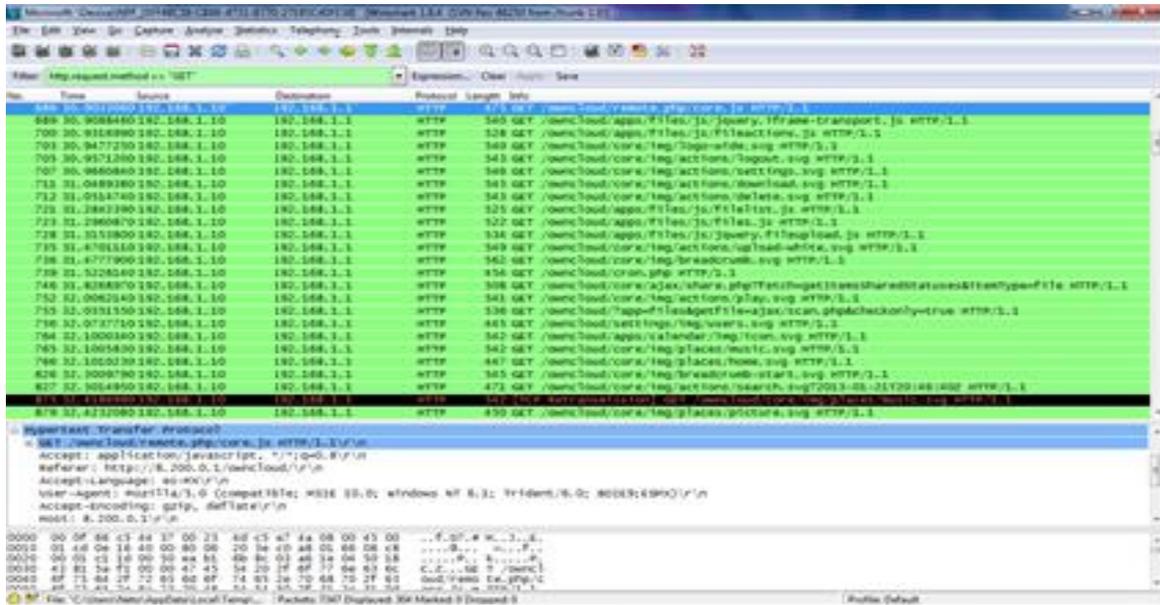


Figura 8. Reconocimiento de la red cloud con wireshark.

Ahora, en la Figura 9 se observan las Estadísticas del Tráfico de Paquetes en la Interfaz WLAN; mediante la implementación de este Software en el MGID también se ha podido realizar una clasificación en los Flujos de Paquetes que viajan sobre la Nube.

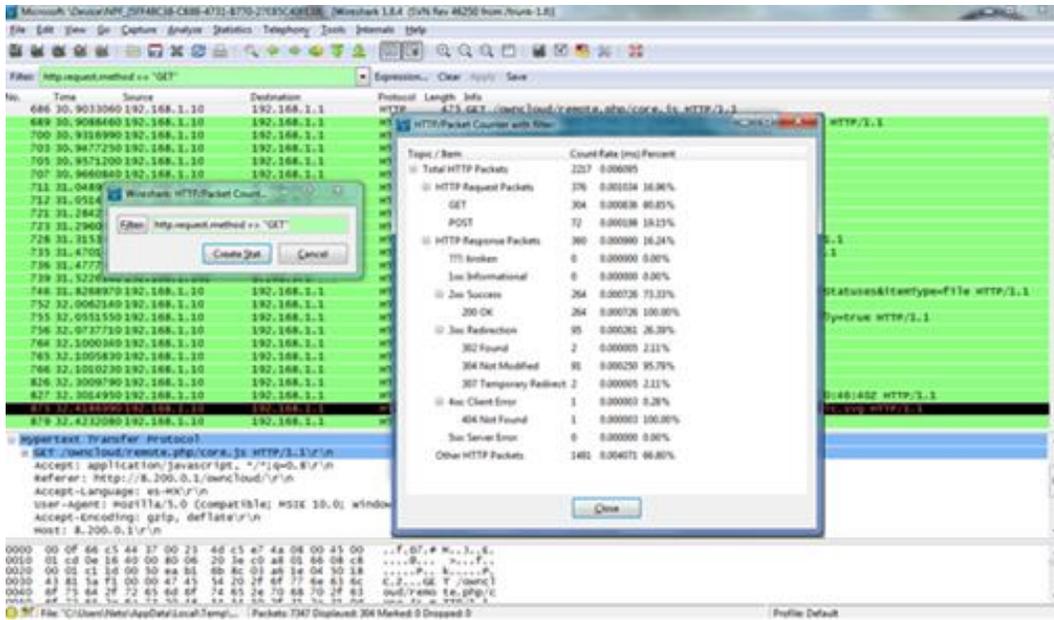


Figura 9. Reconocimiento del tráfico de paquetes en la nube.

En la Figura 10, se muestran que las Estadísticas del Trafico de Paquetes recolectado y estudiado a lo largo de todo un mes sobre el Entorno de Nube bajo estudio es mínima, la gráfica muestra un promedio de viaje de datos que varían entre los 10 y 15 Kbps el cual está dentro de un rango aceptable y con una mínima pérdida de paquetes.

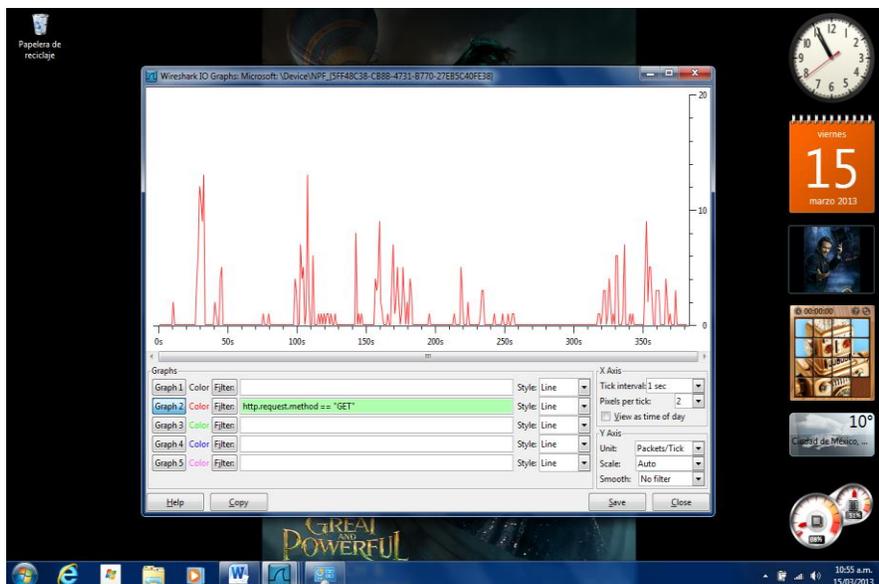
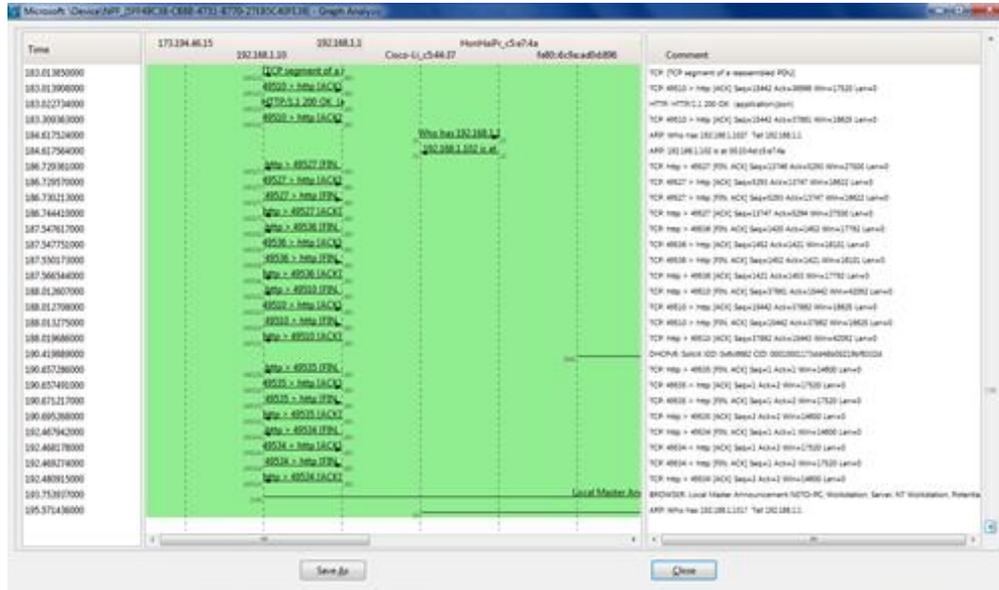


Figura 10. Monitoreo del tráfico en la nube con wireshark.

A continuación en la Figura 11 se presenta un desglose de las direcciones en que fluye el Tráfico ya sea de manera local – local, local – remoto y remoto – remoto.



*Figura 11. Desglose del flujo de tráfico en la nube.*

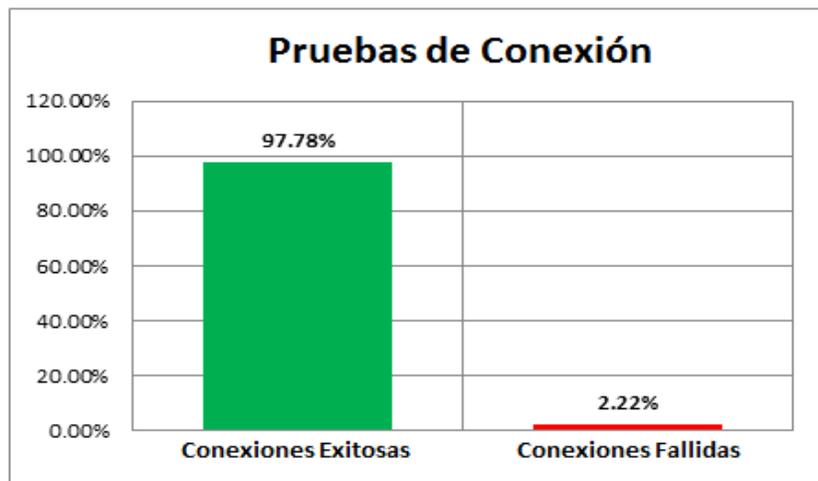
Otro tipo de resultado que se ha obtenido en el desarrollo de la investigación es el monitoreo del Ancho de Banda en la Nube, que es consumido por parte de los usuarios registrados para acceder al Servidor Cloud y hacer uso de los servicios que en este se ofrecen.



*Figura 12. Monitoreo del ancho de banda en la nube.*

Las pruebas que se realizaron para ver el consumo de Ancho de Banda por parte de la Nube con diferentes números de personas en el laboratorio se aprecian en la Figura. 12; se observa que con grupos de 5, 10 y 15 usuarios simultáneos se requirió un Ancho de Banda de 1.55 Mbps, 2.1 Mbps y 3.2 Mbps respectivamente. Sin embargo, estas necesidades están totalmente cubiertas por el punto de interconexión y el Estándar IEEE 802.11g con el que opera, ya que puede manejar un máximo Ancho de Banda de hasta 22Mbps. Los resultados del consumo del Ancho de Banda aunados con los de Tráfico nos “garantiza” que las comunicaciones han tenido un buen desempeño y que el Tráfico generado ha sido únicamente el indispensable, lo cual permite que se tenga una mayor ocupación de la Nube.

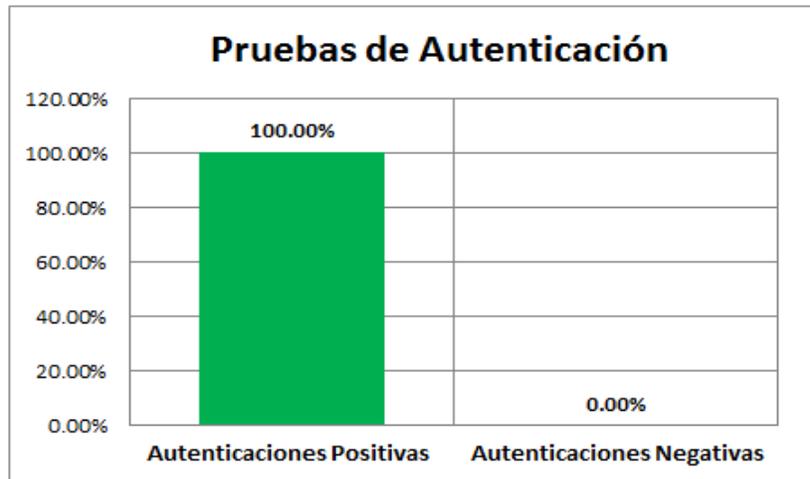
En la Figura. 13, se aprecia el porcentaje de Conexiones Exitosas, estas pruebas involucraban que los usuarios llegaran al laboratorio con su equipo, se conectaran a la Nube, se autenticaran y recibieran sus servicios correspondientes e hicieran uso de ellos; el resultado fue de un 97.78% lo cual se considera admisible para la funcionalidad del MGID.



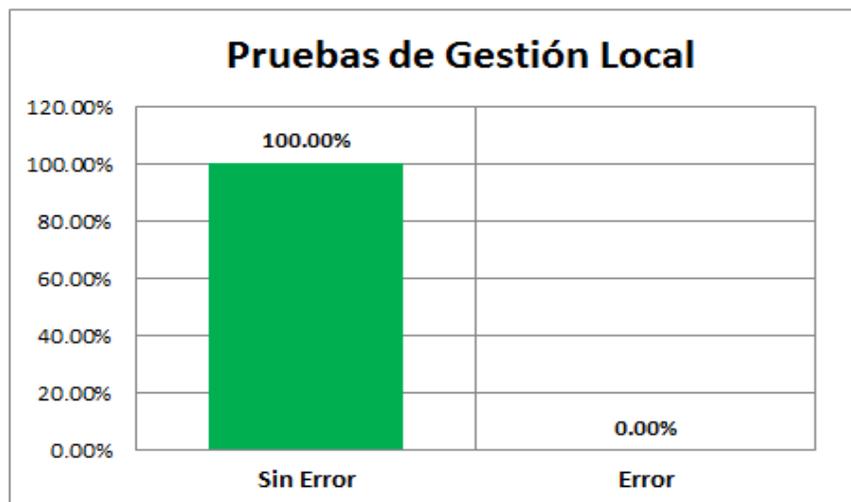
**Figura 13.** Pruebas de conexión a la nube.

En cuanto a las capas de validación e identificación y de administración de la información del MGID, el porcentaje de autenticaciones exitosas fue del 100% como se muestra en la Figura 14; mientras que los resultados de la gestión de

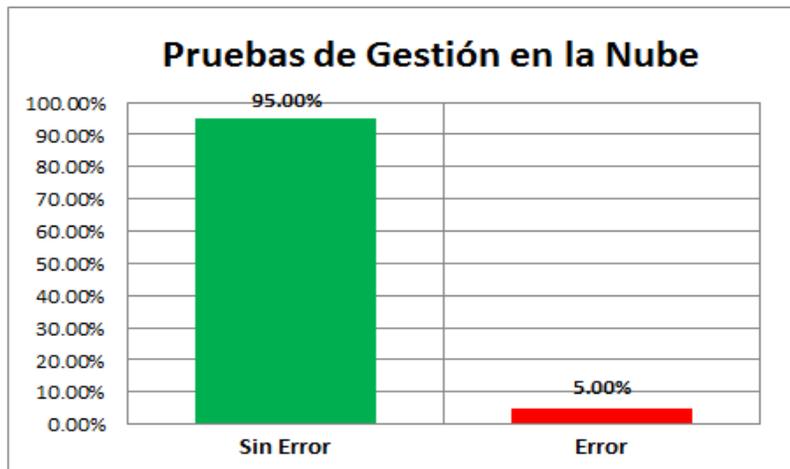
la información dentro del Servidor Cloud se pueden apreciar en la Figura 15 y la Figura 16.



*Figura 14. Pruebas de autenticación a la nube.*

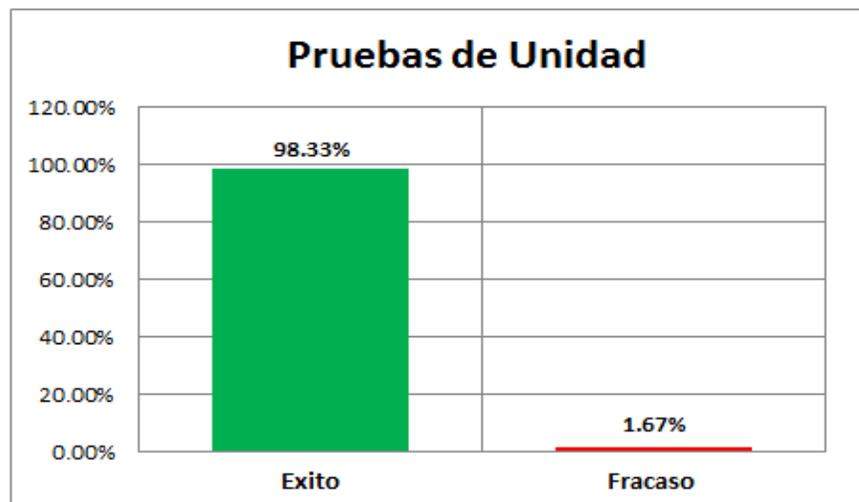


*Figura 15. Pruebas de gestión local.*



*Figura 16. Pruebas de gestión en la nube.*

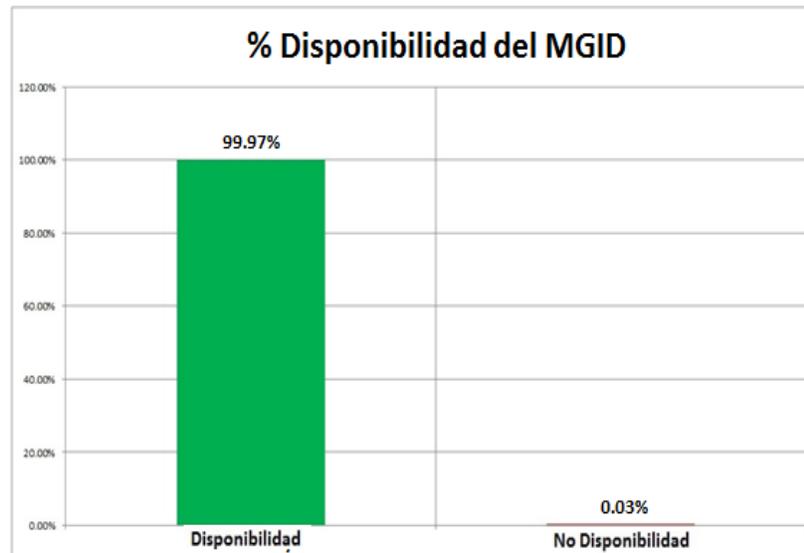
Por lo tanto, el promedio de las Pruebas de Unidad que consistieron en la autenticación y gestión de la información de los usuarios resultaron exitosas con un porcentaje del 98.33% como se muestra en la Figura 17, lo cual demuestra su confiabilidad, rapidez y eficacia.



*Figura 17. Resultado de las pruebas de unidad.*

Finalmente tras realizar los cálculos correspondientes se obtuvo que la Infraestructura de Red del Entorno de Nube Publica en donde se ofrecen los servicios presento una Disponibilidad del 99.97% como se muestra en la Figura 18, esto indica una operación eficiente de los elementos del MGID que

implementamos así como una excelente disponibilidad de los Servicios dentro de la Nube.



*Figura 18. Porcentaje de disponibilidad del MGID.*

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo han demostrado ser satisfactorios; ya que se logró desarrollar y evaluar un MGID en el Cómputo en la Nube para que los usuarios de un entorno de Nube Publica pudieran tener un acceso óptimo a los servicios y aplicaciones que esta les ofrece.

Se concluye diciendo que la metodología propuesta es eficaz para la medición de la Disponibilidad de las Aplicaciones de acuerdo a los resultados obtenidos, además de la inclusión del Análisis de Tráfico y el consumo del Ancho de Banda como una herramienta de apoyo durante el tiempo que el Servidor Cloud se encarga de atender las solicitudes, de procesarlas y proveer los servicios a los usuarios.

## **7. Trabajo A Futuro**

Actualmente se plantea la posibilidad de poder realizar algunas sugerencias integrales como mejoras de diseño de la Nube y del MGID, como podría ser el fortalecer la parte de interconexión del MGID para que cuando el equipo de un usuario este dentro del dominio, de manera automática se conecte a la Nube mediante la detección de la dirección física del adaptador inalámbrico del equipo del usuario, así como emplear otros métodos de autenticación mucho más robustos, para posteriormente poder implantar el MGID en un entorno de Nube más amplia en conjunto con una Tecnología Inalámbrica de una cobertura mucho más amplia como puede ser LTE o quizás WiMAX.

Para poder realizar esto se requeriría del uso de una mejor infraestructura capaz de brindar soporte a un mayor número de conexiones, una mayor capacidad de almacenamiento y un mejor procesamiento, y a la par desarrollar algunas aplicaciones y servicios que puedan contribuir a mejorar el entorno donde el MGID se utilice.

## **Agradecimientos**

Los autores del presente trabajo agradecen al IPN, al COMECyT y a la SIP, COFAA por su apoyo para el desarrollo de esta investigación, y de manera muy especial a los compañeros de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIME Zacatenco y de ESCOM, por todas y cada una de sus valiosas observaciones durante la realización de este documento.

# Referencias

Oracle Corporation. (2009) "Architectural Strategies for Cloud Computing". Oracle White Paper in Enterprise Architecture, California, EE.UU.

L.J. Aguilar, (2009) "The Cloud Computing: The New Paradigm Technological for Business", Quarterly Magazine of the Faculty of Law and Economics and Business., Pontifical University Comillas Madrid.

Oracle Corporation. (2010) "Architectural Strategies for Cloud Computing", Oracle White Paper in Enterprise Architecture., California EE.UU., [Online]. Available at <http://www.oracle.com>, J.E. Chávez, C. Carreto and S. Álvarez, (2012) "Implementation of a Management Model Interconnection and access Availability Cloud Computing", presented at the 1st. International Conference on Robotics and Computer, Los Cabos, BCS., Mexico.

J.E. Chávez, C. Carreto and S. Álvarez, (2013) "Management Model for Interconnection and Access Availability for Cloud Computing", presented at the World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing (WORLDCOMP'13), Las Vegas, Nevada, USA.

## Notas biográficas:



**Sandra Andrea Anízar González** estudiante de la Maestría en Sistemas de Cómputo Móvil, en la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, D.F. México. Desde 2011, Ingeniero en Sistemas Computacionales de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional. En el 2007 Técnico en computación en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos Narciso Bassols García del Instituto Politécnico Nacional. Línea de investigación: Desarrollo de sistemas para el cómputo móvil- Seguridad.



**Sandra Ivette Bautista Rosales** es estudiante de la Maestría en Ciencias en Sistemas Computacionales Móviles. Es ingeniero en Sistemas Computacionales por parte de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, sus líneas de

investigación son: Seguridad en Redes Inalámbricas y Sistemas Móviles, Protocolos móviles y desarrollo de Aplicaciones Móviles para Android.



**Chadwick Carreto** es candidato a Doctor en Ciencias Computacionales por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Maestro en Ciencias Computacionales por el por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Forma parte de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Departamento de Programación y Desarrollo de Sistemas y Academias de Ingeniería de Software, Sistemas Operativos y Redes en la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Las simulaciones, una alternativa para el estudio de los protocolos P2P

Armando de Jesús Ruiz Calderón

Departamento de Sistemas y Computación  
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla  
Av. Instituto Tecnológico s/n Col La comunidad  
Tlalnepantla de Baz Edo. de México  
CP. 54070  
armandoruizmex@gmail.com

Abel González Cañas

Departamento de Sistemas y Computación  
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla  
Av. Instituto Tecnológico s/n Col La comunidad  
Tlalnepantla de Baz Edo. de México  
CP. 54070  
goncabel@yahoo.com.mx

Sofía Barrón Pérez

Departamento de Sistemas y Computación  
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla  
Av. Instituto Tecnológico s/n Col La comunidad  
Tlalnepantla de Baz Edo. de México  
CP. 54070  
sofia\_barron@hotmail.com

**Resumen:** La arquitectura y funcionalidad de las redes P2P hacen que sean atractivas para ser utilizadas en ambientes distribuidos locales y aplicaciones de amplia distribución, el análisis de sus protocolos de ruteo bajo diferentes ataques como son los de negación de existencia y de servicio, así como su análisis estadístico, hacen que las simulaciones cobren gran importancia, y sean una alternativa adecuada para su estudio, pues existen varios protocolos

de esta categoría como Pastry o Chord, los cuales son de gran importancia dada su amplia utilización en diferentes aplicaciones para el envío y recuperación satisfactoria de información tanto en la nube como en aplicaciones distribuidas, razón por la cual su análisis es importante, este trabajo se centra en Pastry dado que es utilizado en la versión Azure de Microsoft Windows.

Palabras clave: Redes P2P, DoS, simulaciones, cómputo en la nube.

## The simulations, an alternative to the study of P2P protocols

**Abstract:** Abstract The architecture and functionality of P2P networks makes them attractive for use in a local distributed environments and widespread applications, the analysis of routing protocols under different attacks such as denial of existence and service, and their statistical analysis make the simulations very important charge, and are a suitable alternative for study, because there are several protocols of this category as Pastry or Chord, which are of great importance because of its wide use in different applications to sending and recovery information, both in the cloud and distributed applications, which is why his analysis is important, this work focuses on Pastry as it is used in the Microsoft Windows Azure version.

**Keywords:** P2P networks, DoS attacks, cloud computing, simulations

# 1. Introducción

En la actualidad, las aplicaciones para redes de arquitectura Peer to Peer (P2P) han retomado popularidad de manera importante por su capacidad de compartir archivos entre ellas, y se considera que el 60% del tráfico de Internet proviene de aplicaciones de redes descentralizadas (Ankur Gupta, 2008). Sin embargo, el interés general de las redes P2P se centra en los aspectos técnicos, tales como: el control descentralizado, la auto organización, su adaptación y

escalabilidad, además de reconocer que esta arquitectura tiene variantes como un control centralizado, control descentralizado estructurado y control descentralizado no estructurado, (Yunhao Liu, 2007). Una red P2P se puede considerar como un sistema distribuido, el cual provee una base para la construcción de aplicaciones descentralizadas de gran tamaño, tales como almacenamiento distribuido, grupos de comunicación, etc. (M. Castro P. Druschel, 2002). Estas características hacen que las redes de arquitectura P2P sean susceptibles a diferentes tipos de ataques y vulnerabilidades de seguridad (Marlin Engle, 2006), sin embargo, este tipo de redes tienen una alta capacidad de recuperación frente a un ataque ya que pueden enrutar mensajes de forma correcta aun cuando una fracción elevada de nodos fallen o la red esté particionada; pero esto no significa que sea segura, pues con una pequeña fracción de nodos maliciosos en falla, se genera una deficiencia en el envío y recuperación de mensajes al destino solicitado, esto también se conoce como “envío no correcto” (M. Castro P. Druschel, 2002); para este propósito, se requiere una topología que sea descentralizada, escalable, auto-organizable, y que se adapte a la llegada o salida de nodos así como a la existencia de fallas en los mismos. Su gran tolerancia a fallos durante el proceso de ruteo hace muy eficiente a este tipo de protocolos dentro de la nube; a lo largo de los años su utilización ha ido aumentando de manera considerable y este protocolo forma parte del conjunto de protocolos que se utilizan en “Windows Azure” (Y. Charlie Hu, 2002).

## **Descripción de “Pastry”**

“Pastry” se presenta como una base adecuada para aplicaciones en redes P2P conectadas a Internet las cuales pueden ser potencialmente muy grandes. En “Pastry” cada nodo tiene un identificador único llamado “nodeld” este identificador se asigna aleatoriamente a partir de un espacio de 128 bits; el identificador de nodo al cual en lo futuro se referirá como “nodeld” está formado de tres partes:

- El “Leaf Set”
  - La tabla de Ruteo
  - El Conjunto de vecindario
1. El “Leaf Set” contiene la información correspondiente a los nodos geográficamente más cercanos al nodo actual, éste contiene a los  $L/2$  nodos numéricamente más grandes y más cercanos al nodo actual, y además contiene a los  $L/2$  nodos numéricamente más pequeños y más cercanos al mismo; siendo  $L$  típicamente  $2b$ , ó  $(2 \times 2b)$ .
  2. La Tabla de Ruteo está organizada en  $\log_2^b(N)$  filas y  $2b$  columnas (Zhang Rongmei, 2003), (M. Castro P. Druschel, 2002). Las  $2b$  entradas en la fila  $n$  de la tabla de ruteo contienen las direcciones IP de los “nodeld” que se encuentran en el “Leaf Set” (Antony Rowstron, 2001) y comparten los primeros  $n$  dígitos del “nodeld” del nodo actual.
  3. El conjunto de vecindario  $M$  contiene a los “nodeld” y las direcciones IP de los  $M$  nodos más cercanos de acuerdo con la métrica de proximidad. El conjunto de vecindario normalmente no se utiliza durante el ruteo de mensajes, sin embargo es útil en el mantenimiento de las propiedades de la localidad sobre todo cuando hay movimientos en los nodos.

## Ruteo en Pastry

De manera sucinta se puede decir que el ruteo se da cuando un nodo envía un mensaje a otro nodo; el nodo origen, revisa el “nodeld” que trae el mensaje a enrutar y lo verifica en el “leaf set”, en caso de no encontrarse aquí, entonces verifica en su tabla de ruteo, y envía al mensaje hacia otro nodo el cual comparte al menos un dígito o  $d$  dígitos de largo en el prefijo del “nodeld” del nodo. Si no hubiera un “nodeld” conocido, el mensaje se envía a un nodo que comparta en

su prefijo al menos la misma cantidad de dígitos que el nodo actual, y que numéricamente sea más cercano al destino.

El siguiente pseudocódigo muestra el algoritmo de ruteo de "Pastry" (Antony Rowstron, Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems, 2001)

```
(1)  if (  $L_{\lfloor l/2 \rfloor} \leq D \leq L_{\lfloor l/2 \rfloor}$  ) {
(2)      // D está dentro del rango del "leaf set"
(3)      avanza a  $L_i$ , s.th.  $|D - L_i|$  es el mínimo;
(4)  } else {
(5)      // Utilizar la tabla de ruteo
(6)      Let  $l = \text{shl}(D, A)$ 
(7)      if ( $R_1^{D_l} \neq \text{null}$ ) {
(8)          avanza a  $R_1^{D_l}$ ;
(9)      }
(10)     else {
(11)         // caso raro
(12)         avanza a  $T \in L \cup R \cup M$ , s.th.
(13)              $\text{shl}(T, D) \geq l$ ,
(14)              $|T - D| < |A - D|$ 
(15)     }
(16) }
```

## Nodos en Falla

Para el caso de las fallas se considera la utilización de las fallas bizantinas, las cuales son muy frecuentes en la actualidad, estas fallas pueden ser producidas por un ataque o por una falla propia del nodo (M. Castro, 1999); dado que el algoritmo funciona en sistemas asíncronos como Internet, es adecuado para la simulación. Se consideran dos tipos de fallas, estos tipos son:

## 1. Nodos coalicionados

Los coalicionados funcionan de la siguiente manera:

- a) El primer nodo recibe un ataque y se altera la tabla de ruteo provocado por el atacante.
- b) El segundo nodo recibe la información de la tabla de ruteo del primer nodo y actualice su información y envía su información de la tabla de ruteo hacia el siguiente nodo en coalición y así sucesivamente hasta que todos los nodos coalicionados hayan compartido su información.
- c) Los nodos coalicionados, generan lo que se conoce como mal ruteo pero bajo el esquema de negación de existencia, esto es: Se enrutan los mensajes hacia un lugar distinto al que se pidió ir, diciendo que el sitio al que se pidió ir no existe.

## 2. Falla de un nodo aislado

- a) La falla de un nodo aislado, provoca la negación de servicio también conocido como "Denial of Service" (DoS).

### Objetivo

Analizar el comportamiento del Protocolo "Pastry" bajo ataques de negación de servicio (DoS), a través de una simulación.

### Contribución

El presente trabajo muestra la relación y la importancia que tienen las simulaciones para el análisis y desarrollo de los protocolos en redes P2P, estos protocolos se utilizan de manera segura en la nube siendo Microsoft Windows Azure, un producto comercial que será lanzado al mercado que utiliza Pastry como parte de su conjunto de protocolos, así mismo el desarrollo de las simulaciones permite analizar el comportamiento de los protocolos bajo diversos escenarios, como el ataque de negación de servicio.

# Metodología

Para el desarrollo de la simulación se consideran cuatro partes:

1. Generación de la red virtual
  - a. Generación de los nodos
  - b. Selección aleatoria de los nodos
  - c. Generación de los identificadores de nodo "nodeld"
  - d. Asignación aleatoria de los nodos
2. Ruteo normal
3. Generación de los ataques
4. Análisis de los resultados de la eficiencia del enrutamiento bajo diferentes niveles de ataques

Para la generación de la red virtual se proponen las siguientes variables y constantes:

1. Se considera a  $N$  como el número total de nodos en la red.
2. Se considera a  $ft$  como cantidad total de nodos en falla en la red y la cantidad se expresa en decimales.
3. Se considera a  $n_m$  como la cantidad de nodos maliciosos coalicionados que provocan mal ruteo.
4. Se considera a  $n_f$  como la cantidad de nodos en falla aislada.
5. Se considera a  $s$  como la probabilidad de ruteo exitoso, teniendo una cantidad  $n$  de nodos en falla.
6. Se considera a  $pf$  como la probabilidad que se tiene para que el ruteo de un mensaje falle cuando se tiene una cantidad  $ft$  de nodos en falla.
7. Se considera  $b = 2$ , siendo  $b$  un parámetro de configuración propio del protocolo el cual ayuda a determinar el tamaño de las tablas de ruteo.

## Generación de la red virtual

La generación de la red virtual, es el inicio del proceso de simulación y de los ataques, ya que sin el ambiente, simplemente no se puede realizar la simulación.

- Se generan los “nodeld” estos se expresaron en base  $2^b$ , y se guardan en una estructura de datos tipo celda (Antony Rowstron, 2001) de  $1 \times 1024$ . Utilizando hashes según la descripción de Cormen (Thomas H. Cormen, 1990)
- Generación de los nodos.
  - Se generan las filas y las columnas
  - Se crean las tablas de ruteo
  - Se llenan las tablas de ruteo
- Utilizando la aleatoriedad, se asignarán los “nodeld” a cada nodo, tomando los valores de la estructura celda.

## Ruteo

Una vez que se terminó de generar el ambiente, se realizó el enrutamiento correspondiente y se realizó de la siguiente manera:

1. De manera aleatoria se determina a que nodo se dirige el mensaje, considerando el siguiente procedimiento:
  1. Aleatoriamente se selecciona el nodo por donde se va a iniciar la búsqueda.
  2. Se revisan las tablas de ruteo para encontrar las coincidencias del prefijo del “nodeld” y saltar al siguiente nodo.
  3. En caso de haber un nodo vacío, se revisa el renglón  $i$  de la tabla de ruteo.

Una vez terminada la implementación del ruteo, se pone a funcionar la red realizando envíos y recepción de mensajes, considerando que en este punto el sistema funciona de manera satisfactoria.

## Ataques

Para realizar los ataques se considera que el ambiente descrito se encuentra funcionando de manera eficiente, esto es enviando y recibiendo mensajes sin pérdidas ni retrasos; en este momento se inicia con los ataques, los cuales se dan de la siguiente manera:

1. Se genera un número pseudo-aleatorio que se ubica entre  $[0, N]$  el cual se toma como  $ft$
2. Una vez obtenido  $ft$  se calcula el valor de  $s$
3. Ya calculado el valor de  $s$  se calcula  $pf$
4. Teniendo el valor de  $ft$  se calcula la cantidad de  $n_m$ .
5. Ya que se calculó el número de nodos maliciosos, entonces la diferencia entre  $ft$  y  $n_m$  será  $nf$  que corresponde a los nodos que generan DoS.

Se considera a  $s$  como la probabilidad de enrutar satisfactoriamente un mensaje entre dos nodos en funcionamiento cuando existe una cantidad  $ft$  de nodos en falla, donde:

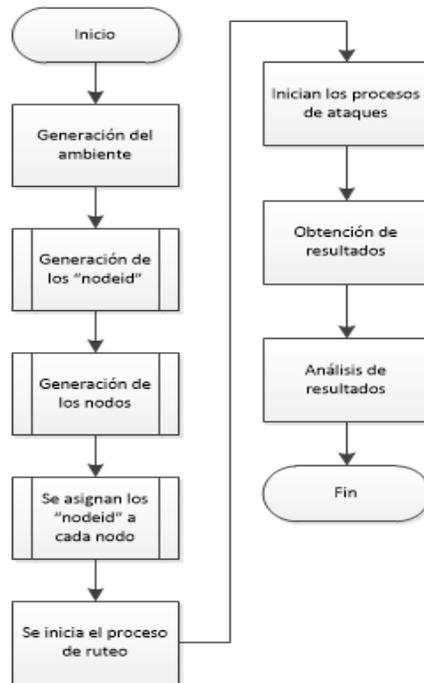
$$s = (1 - ft)^{h-1} \quad (1)$$

Se considera a  $h$  como:

$$h = \log_2^b(N) \quad (2)$$

Se considera a  $pf$  como la probabilidad que se tiene para que el ruteo de un mensaje falle cuando se tiene una cantidad  $ft$  de nodos en falla, donde:

$$pf = (1 - s) \quad (3) \text{ (M. Castro P. Druschel, 2002)}$$



*Figura 1. Esquema simplificado del ciclo de la simulación*

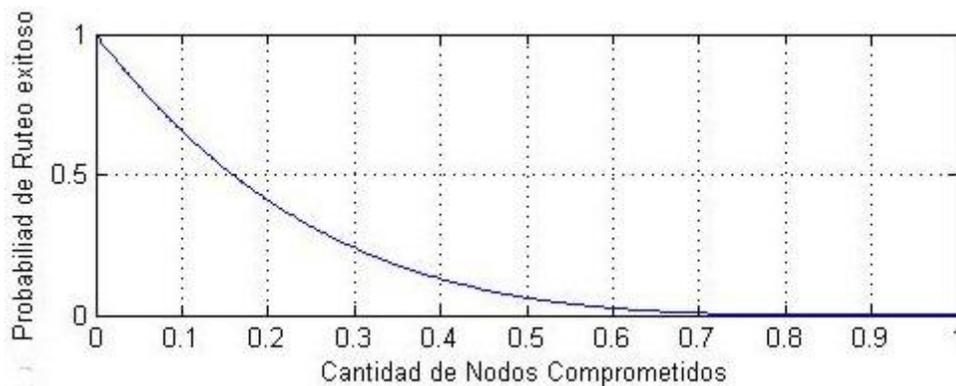
## Resultados

Para el desarrollo de este trabajo, se consideró una red de arquitectura tipo P2P con  $N = 1024$  nodos, de manera inicial todos los nodos funcionan correctamente, esto es se realiza el enrutamiento de los paquetes de forma adecuada, considerando que se envían y se reciben los paquetes sin pérdidas ni retrasos, posteriormente se recibe un ataque y como consecuencia se detecta un número  $ft$  como la cantidad total de nodos que fallan. Se utilizó  $b = 2$ , ya que los recursos eran limitados y teniendo  $b = 4$  provocaba desbordamiento de la memoria. Las fallas que se consideraron fueron de dos tipos:

1. Nodos coalicionados maliciosos que realizan mal ruteo
2. Nodos que fallan de forma aislada que provocan negación de servicio (DoS)

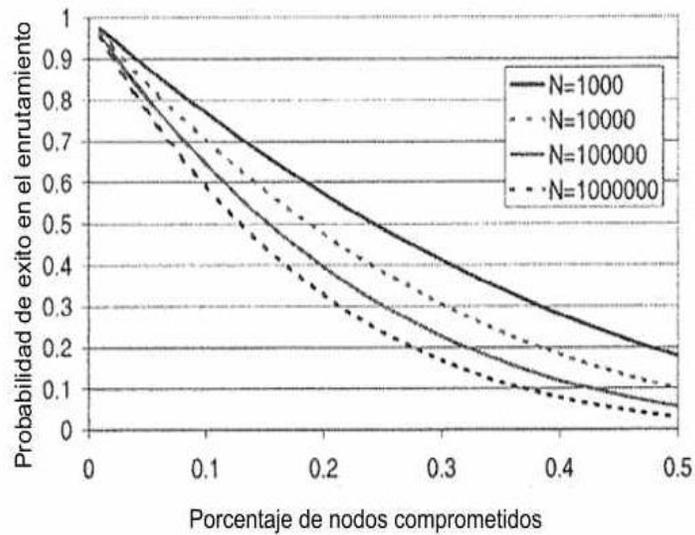
Durante los ataques se obtuvieron ambos valores, observados en las figuras 2 y 4 pero solo se utilizaron como datos estadísticos para el cálculo de las probabilidades de ruteo exitoso y probabilidad de falla en el ruteo.

La figura 2 muestra el comportamiento que tiene la probabilidad de que el ruteo de un mensaje sea exitoso teniendo una cantidad  $ft$  de nodos en falla, la prueba se ejecutó 1000 veces, y se puede observar que mientras más nodos se encuentren fallando es menor la probabilidad de enrutar exitosamente.



**Figura 2.** Gráfica obtenida después 1000 ataques en la que se muestra la probabilidad de ruteo exitoso

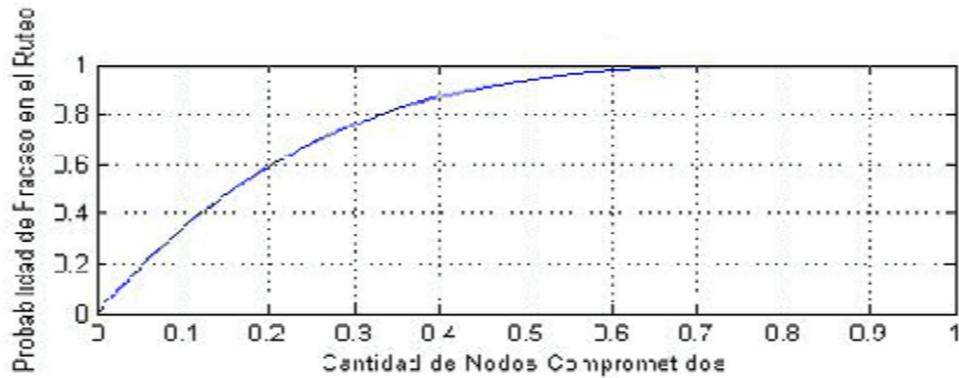
La figura 3 muestra la probabilidad de ruteo exitoso con una cantidad mayor de nodos que los que se utilizaron en esa simulación, observando el mismo comportamiento. Se puede observar una similitud en las gráficas, en donde se aprecia que la probabilidad de ruteo exitoso disminuye considerablemente, mientras aumenta la cantidad de nodos en falla.



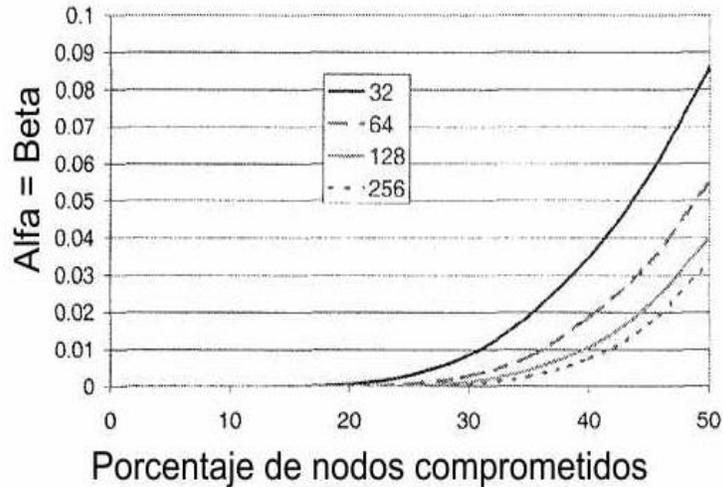
*Figura 3. Gráfica comparativa de probabilidad de ruteo exitoso tomada de (M. Castro P. Druschel, 2002)*

## Discusión

Para el ruteo se consideró que todos los nodos funcionaban correctamente, y solo se revisa la tabla de ruteo, para esta simulación no se hace referencia al “leaf set”. La figura 4 muestra la probabilidad de fracaso en el ruteo existiendo una cantidad  $x$  de nodos comprometidos, y se puede observar como la probabilidad de fracaso se eleva considerablemente. Se debe considerar, que en la simulación no existen falsos positivos, ni falsos negativos se puede observar que en estas dos figuras 4 y 5, la probabilidad de fracaso en el ruteo es similar cuando se tienen aproximadamente la mitad de los nodos comprometidos y aunque las gráficas no son muy parecidas, se puede observar que el comportamiento y los datos coinciden en ambas.



**Figura 4.** Gráfica que muestra la probabilidad de falla en el ruteo considerando diferentes muestras



**Figura 5.** Gráfica que muestra la probabilidad de falla en el ruteo con varias muestras tomada de (M. Castro P. Druschel, 2002)

## Conclusiones

- Las simulaciones desarrolladas para protocolos de redes P2P revisten gran importancia pues esta arquitectura al contrario de la arquitectura tradicional de redes es más robusta, mientras más nodos tenga mejor será su desempeño.
- De no existir las simulaciones, tratar de realizar un análisis de estos protocolos resultaría una tarea casi irrealizable.

- El análisis estadístico realizado, permite analizar el comportamiento que puede tener el protocolo, y por lo tanto, la red bajo una serie de diversas condiciones y escenarios.
- El protocolo “Pastry” es muy importante ya que fue desarrollado para ser utilizado como parte de la suite de protocolos que utilizará Microsoft en su versión de “Windows Azure” que trabajará en la nube, razón por la cual resulta importante su análisis.
- El protocolo presenta fallas en su diseño ya que no tiene fortaleza bajo ataques de negación de existencia, cuando existen varios nodos coalicionados.

## Referencias

Ankur Gupta, D. M. (1 de 08 de 2008). : A Trust-based Scheme for Countering Distributed Denial-of-Service Attacks in P2P Networks NeighborTrust. ICON.

Antony Rowstron, P. D. (2001). Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems. IFIP/ACM Middleware 2001, Heidelberg: ACM.

Antony Rowstron, P. D. (2001). Storage management and caching in PAST, a large scale, persistent peer to peer storage utility. Proc ACM SOS'P. Banff: ACM.

M. Castro P. Druschel, A. G. (2002). Secure Routing for Structured Peer-to-Peer Overlay Networks. Symposium on Operating Systems Design and Implementation. Boston: ACM.

M. Castro, B. L. (1999). Practical byzantine fault tolerance . Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'99). New Orleans,: ACM.

Marlin Engle, J. I. (2006). Vulnerabilities of P2P Systems and a Critical Look at their Solutions,. Technical Report, Kent State University, Internet and Media Communications Research Laboratories, Kent.

Thomas H. Cormen, C. E. (1990). Introduction to Algorithms. (M. E. Series., Ed.) MIT Press.

Y. Charlie Hu, A. R. (2002). Exploiting network proximity in peer to peer overlay networks. Microsoft Research.

Yunhao Liu, X. L. (2007). Defending P2Ps from Overlay Flooding-based DDoS. International Conference on Parallel Processing. Michigan: IEEE.

Zhang Rongmei, C. H. (2003). Borg: A Hybrid protocol for scalable application level multicast in peer to peer networks Monterey California. En ACM (Ed.), Nossdaw 03. Monterrey

.

## Notas biográficas:



**Armando de Jesús Ruiz Calderón** Realizó estudios de Licenciatura en Biología en la UNAM y se graduó en el año 1993. En el año 2007 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Monterrey, en el área de Ciencias en Tecnología Informática. Sus líneas de investigación están relacionadas con el análisis de ataques de negación de existencia y negación de servicio sobre el esquema de redes P2P, utilizando como base la arquitectura experimental de Pastry. De las investigaciones realizadas en este campo han resultado varios artículos publicados en diferentes eventos de carácter internacional, tales como: CIPITECH 2010, 2011; ANIEI 2010; Academia Journals 2013; Tekhne 2013. Trabajó en Becton Dickinson como administrador de redes y telecomunicaciones, en Ddemesis como administrador de sistemas, también ha colaborado en editoriales realizando la traducción y corrección de estilo en libros del área de medicina. Desde el año 1991 inició su trabajo docente en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, ha colaborado como docente en los tecnológicos de Aguascalientes y Nuevo León y actualmente es Secretario del Consejo de Posgrado de la Maestría en Tecnologías de la Información en el Tecnológico de Tlalnepantla, y profesor investigador en el departamento de Sistemas y Computación; obtuvo el reconocimiento de profesor con perfil deseable en el año 2011 por parte de PROMEP.



**Sofía Barrón Pérez** Nació en Tlalnepantla Estado de México, el 16 de Diciembre de 1975, graduada de la carrera de Licenciatura en Informática en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, ha ocupado cargos como Jefe de Sistemas en la empresa SKYDOM (Qro.) y como programadora en la misma empresa. actualmente docente en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, así mismo ha acreditado diplomados en el CIIDET de Querétaro, como son Modelo Educativo Siglo XXI, Modelo Educativo por Competencias y Docencia Centrada en el Aprendizaje, ha participado como Facilitadora y Supervisora en el ESAD; actualmente esta concluyendo la Especialidad en Tecnologías de Información en el Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica, ha dirigido Tesis a Nivel Licenciatura, y participado como ponente en diferentes congresos de las asociaciones ANIEI (2010), CIIM(2011) y CIIM(2012), Congreso en el IT de Morelia (2013) así como en la Academia Journals en el 2012 y 2013.



**Abel González Cañas** Nació en Orizaba Veracruz en el 29 de octubre de 1957, se graduó como Ingeniero Eléctricista, el 6 de noviembre de 1987 en el Instituto Tecnológico de Cd Madero ingresó como docente en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla en el año de 1986.

Ha trabajado en empresas como Fabricaciones Ingeniería y Montaje, Cerveceria Moctezuma, y Comisión Federal de Electricidad, ha trabajado en institutos de investigación desarrollando partes robóticas; ha dirigido Tesis a Nivel Licenciatura, y participado como ponente en diferentes congresos de las asociaciones ANIEI (2010), CIIM(2011) y CIIM(2012), Congreso en el IT de Morelia (2013) así como en la Academia Journals en el 2012 y 2013, ha sido líder de proyecto de investigación, en el departamento de sistemas y computación.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Implementación en tiempo real para el seguimiento en secuencias de vídeo

Jesús Eduardo Alcaraz Chávez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Facultad de Ingeniería Eléctrica División de Estudios de Posgrado  
likcos@gmail.com

Félix Calderón Solorio.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Facultad de Ingeniería Eléctrica División de Estudios de Posgrado  
calderon@umich.mx

**Resumen:** En el presente trabajo se implementa un seguidor en secuencias de vídeo. La implementación trabaja en tiempo real. El seguidor, ésta basado en el algoritmo de SURF (Speed Up Robust Feature), debido a la robustez que presenta a los cambios de luminosidad y a las posibles transformaciones geométricas de una imagen, como lo son: el escalamiento, cizallamiento, rotación, translación. El objetivo central de este trabajo es obtener un seguidor en tiempo real, que no necesite del objeto de interés un aprendizaje o estudio previo y por ende se pueda generalizar lo que se quiere seguir. Es decir, poder tomar cualquier objeto de una escena cualquiera. El proceso se inicia una vez se obtiene la muestra del objeto a seguir. Posteriormente se generan los puntos de interés mediante el algoritmo de SURF, tanto del objeto de muestras como de la secuencia de video. Así mismo mediante vecinos cercanos se busca la correspondencia entre los puntos generados de la muestra y de la secuencia de videos que mejor correspondan, finalmente mediante el algoritmo de RANSAC se toman un conjunto de puntos, para buscar la homografía de la figura que mejor se adapte al objeto de interés, finalmente se demarca el objeto de interés con los mejores parámetros homográficos encontrados, todo esto en tiempo real.

**Palabras clave:** Seguimiento, SURF, transformaciones geométricas, RANSAC, vecinos próximos, puntos claves.

## Implementation in real time tracking in video sequences

**Abstract:** In this paper a tracker is implemented in video sequences. The implementation works in real time. The tracker is based on the algorithm of SURF (Speed Up Robust Feature) due to the robustness Presenting the light changes and the possible geometric transformations of an image, such as : scaling , shearing , rotation, translation. The main objective of this work is to obtain a real-time tracker that does not need the object of interest prior learning or study and therefore can generalize what you want to follow. I mean, to take anything of any scene . The process begins once the sample is obtained subject to follow. Then the points of interest are generated by the SURF algorithm, both the object and the sample video sequence . Also by neighbors correspondence between sample points generated and the sequence of videos that best match finally by RANSAC algorithm seeks a set of points are taken to find the homography of the figure that best suits the object of interest, finally the object of interest is demarcated with the best parameters found homographs , all in real time.

**Keywords:** Tracking, SURF, geometric transformations, RANSAC, nearest neighbors, key point

## 1. Introducción

En el presente trabajo se implementa un seguidor en secuencias de vídeo. La implementación trabaja en tiempo real. El seguidor, ésta basado en el algoritmo de SURF (Speed Up Robust Feature), debido a la robustez que presenta a los cambios de luminosidad y a las posibles transformaciones geométricas de una imagen, como lo son: el escalamiento, cizallamiento, rotación, translación. El objetivo central de este trabajo es obtener un seguidor en tiempo real, que no necesite del objeto de interés un aprendizaje o estudio previo y por ende se pueda generalizar lo que se quiere seguir. Es decir, poder tomar cualquier objeto de una escena cualquiera. El proceso se inicia una vez se obtiene la muestra del objeto a seguir. Posteriormente se generan los puntos de interés mediante el algoritmo de SURF, tanto del objeto de muestras como de la secuencia de video. Así mismo mediante vecinos cercanos se busca la correspondencia entre los puntos generados de la muestra y de la secuencia de

videos que mejor correspondan, finalmente mediante el algoritmo de RANSAC se toman un conjunto de puntos, para buscar la homografía de la figura que mejor se adapte al objeto de interés, finalmente se demarca el objeto de interés con los mejores parámetros holográficos encontrados, todo esto en tiempo real.

## **2. Metodología**

Kalal propone en [Kalal et al., 2010] la adquisición de un objeto de interés mediante un solo click en un cuadro de la secuencia de vídeo, una vez adquirido el objeto de interés, se inicia el seguimiento generando la trayectoria del objeto. Puesto que el enfoque de Kalal, [Kalal et al., 2010] que es una aportación nueva e innovadora al aprendizaje automático y de tiempo real, el cual a partir de la generación de la trayectoria se va adaptando a las modificaciones del objeto. Debido a que obtiene las características a partir de los pequeños cambios del objeto, para posteriormente ser guardados en una memoria temporal, de esta forma, cuando el objeto se pierde, puede ser detectado nuevamente por esta memoria, clasificador, que se va generando en el transcurso del seguimiento. Por ende, es notable sin duda la idea, dado que de un solo ejemplo, se puede hacer el seguimiento y la detección por la memoria generada, es decir, mientras se hace el seguimiento, se sabe que es el objeto de interés, de esta forma, es posible discriminar objetos que aparezcan en la escena. Luego entonces, basándose en la idea de Kalal, donde se puede generalizar lo que se requiere seguir, surge la idea de implementar un seguidor con características similares. Basando el trabajo en algoritmos generadores de características, robustos a la invariancia de rotación, traslación, cambios en la iluminación. La idea se complementa al observar el aprendizaje del ser humano, que basa la discriminación de objetos y su clasificación en características para poder hacer una identificación adecuada de cualquier objeto de la vida cotidiana. Debido a ello, es que se implementó el algoritmo de SURF [Bay et al., 2008], dado que a partir de una sola muestra se pueden obtener puntos verdaderamente característicos, con los que es posible hacer la detección y el seguimiento con

una sola muestra del objeto de interés, por tal razón, se aborda en el siguiente apartado.

### 3. SURF (Speeded Up RobustFeatures)

El descriptor SURF, cuyo acrónimo hace referencia al título, Speed-Up Robust Feature, fue desarrollado por Herbert Bay[Bay et al., 2008] como un detector de puntos de interés y descriptor robusto. El descriptor SURF guarda cierto parecido con la filosofía del descriptor SIFT [Lowe, 2004] si bien presenta cambios notables, los autores afirman que este detector y descriptor presenta 2 mejoras resumidas en los siguientes conceptos:

- Velocidad de cálculo considerablemente superior sin ocasionar pérdida del rendimiento.
- Mayor robustez ante posibles transformaciones de la imagen.

El descriptor SURF hace uso de la matriz Hessiana, más concretamente, del valor del determinante de la matriz, para la localización y la escala de los puntos. El motivo para la utilización de la matriz Hessiana es que se generan puntos como gota y se hace uso de la curvatura principal, dando como resultado, la robustez que se menciona ante las diferentes transformaciones geométricas. Así mismo lo realmente novedoso del detector incluido en el descriptor SURF respecto de otros detectores es que no utiliza diferentes medidas para el cálculo de la posición y la escala de los puntos de interés individualmente, sino que utiliza el valor del determinante de la matriz Hessiana en ambos casos. Por lo tanto dado un punto  $p=[x,y]^T$  de la imagen  $I$ , la matriz Hessiana  $H(p,\sigma)$  del punto  $I$  perteneciente a la escala  $\sigma$  se define como:

$$H(p,\sigma) = \begin{bmatrix} D_{xx}(p,\sigma) & D_{xy}(p,\sigma) \\ D_{xy}(p,\sigma) & D_{yy}(p,\sigma) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

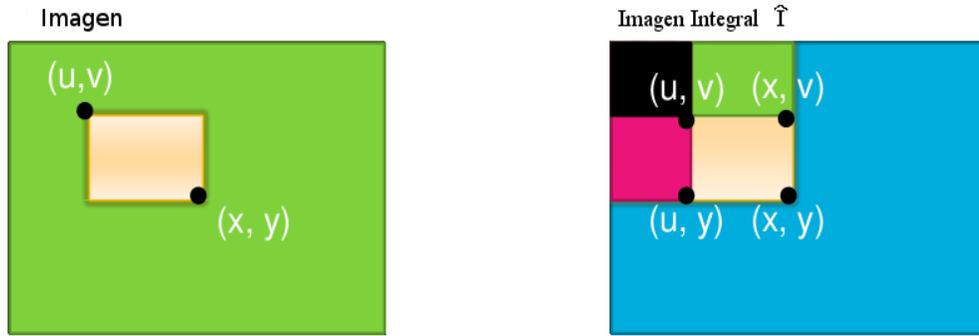
Donde  $D_{xx}(p, \sigma)$  representa la convolución de la derivada de segundo orden de la Gaussiana  $\partial^2 / \partial x^2 g(\sigma)$  con la imagen  $I$  en el punto  $p$ . De manera análoga ocurre con los términos  $D_{xy}(p, \sigma)$ ,  $D_{yy}(p, \sigma)$  de la matriz. A pesar de que los filtros gaussianos son óptimos para el análisis del espacio-escala [Lindeberg, 1990], se ha implementado una alternativa a los filtros gaussianos en el detector SURF debido a una serie de limitaciones de estos filtros como la necesidad de ser discretizados, la falta de prevención total del indeseado efecto aliasing. Por ende, se utilizan los filtros tipo caja (de sus siglas en inglés box-filters) [Simard et al., 1998]. Estos filtros aproximan las derivadas parciales de segundo orden de las Gaussianas y pueden ser evaluados de manera muy rápida usando imágenes integrales, cuya definición se encuentra ampliamente detallada en [Derpanis et al., 2007], [Viola y Jones, 2004].

## 4. Imágenes integrales

Considerando  $I'$  como una imagen, en tono de grises (tomando valores en el rango de 0 a 255), lo cual sería una forma de aplicar robustez al cambio de color (tales como una corrección de balance de blancos). La imagen integral se define de la siguiente manera.

$$I_{\Sigma}(x,y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I'(i,j). \quad (2)$$

En la Figura 1 se ilustra el valor de la imagen integral en el punto  $[x,y]^T$ , donde se muestra la suma de todas las intensidades. Una imagen integral puede ser creada de manera recursiva, comienza en la esquina superior izquierda y trabaja por una fila a la vez. La suma de las intensidades en el cuadro dorado es la siguiente donde  $u$  y  $v$  son coordenadas del otro punto que forma el rectángulo:



**Figura 1:** Ejemplo de Imagen Integral.

El cálculo de tal imagen integral  $I_c$  permite convolucionar la imagen  $I'$  con una caja en tres operaciones y cuatro accesos a memoria usando la siguiente formula.

$$c * I'(x,y) = I_c(x,y) - I_c(x,v) - I_c(u,y) + I_c(u,v). \quad (2)$$

Con esto se acelera el proceso de la generación de puntos característicos y da la posibilidad de hacer el seguimiento a tiempo real.

## 5. Muestreo del espacio-escala

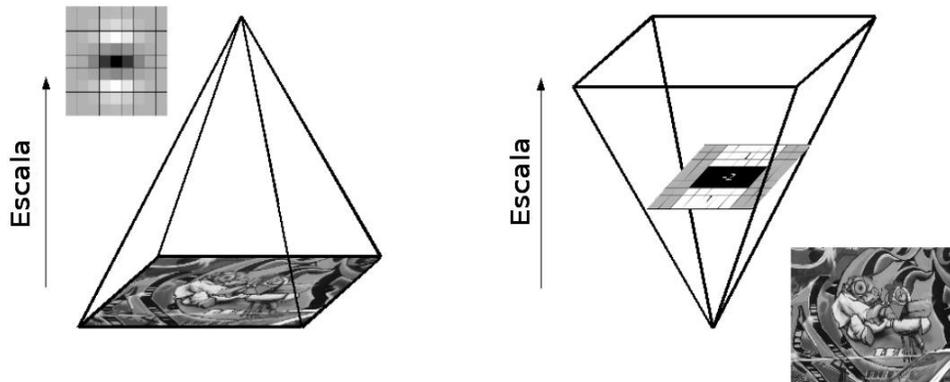
El espacio-escala en el enfoque en que SURF está basado en un muestreo regular de parámetros de escala  $L$ . La representación de escala es dividida en octavas: una nueva octava corresponde con el doble del tamaño del kernel (lo que significa que las escalas son una serie geométrica). Cada octava es dividida en diferentes niveles (o intervalos), cada una corresponde al incremento del tamaño del filtro implicado. En SURF, se defines como el índice de octava e  $i$  el índice del intervalo, el muestreo de escala se obtienes con la siguiente relación:

$$\sigma = \frac{1.2}{3} (2^s \times i + 1) = \frac{1.2}{3} \times L = 0.4L \quad (3)$$

donde  $0.4L$  es la escala que se utiliza para todos los cálculos de puntos clave y se corresponde con el parámetro de detección de escala, el análogo del parámetro de la longitud de la caja. Una fórmula más precisa debería haber sido utilizada, desde.

$$\sigma(B_L) \approx \frac{1}{\sqrt{12}} \approx 0.29L \quad (4)$$

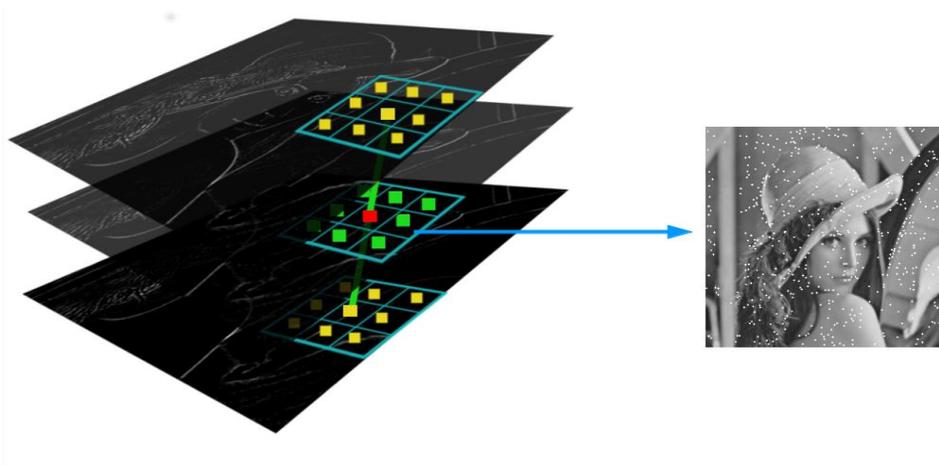
Debido a la utilización de filtros de caja e imágenes integrales no se tiene que aplicar iterativamente el mismo filtro a la salida de una capa previamente filtrada, en su lugar se aplican filtros de caja de tamaños previamente expuestos exactamente a la misma velocidad, directamente en la imagen original e incluso en paralelo. Por lo tanto, el espacio-escala se analiza incrementando el tamaño del filtro en lugar de reducir iterativamente el tamaño de la imagen como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2:** En lugar de reducir iterativamente el tamaño de la imagen (a la izquierda), el uso de imágenes integrales permite el aumento de escala del filtro con un costo constante.

## 6. Selección de características

Los puntos de interés son puntos en el espacio-escala que corresponden a un máximo local citado en el operador del determinante del Hessiano, aplicado a la representación del espacio-escala en la imagen. Estos puntos son seleccionados considerando un vecindario  $3 \times 3 \times 3$ , realizando así una comparación exhaustiva de todos los puntos del espacio-escala con sus 26 vecinos más cercanos. Con el fin de obtener una representación compacta de la imagen y también para hacer frente al ruido, el algoritmo selecciona la característica más sobre (i.e) de un conjunto de máximos locales, esto es logrado usando un umbral  $tH$  en la respuesta del operador del determinante del Hessiano para cada uno de los puntos de interés candidatos  $[x,y]^T$  en la escala  $L$ , como se puede ver en la Figura 3.



**Figura 3:** En rojo: Píxel en estudio. En verde: Vecinos en escala actual. En amarillo: Vecinos de escala anterior y posterior.

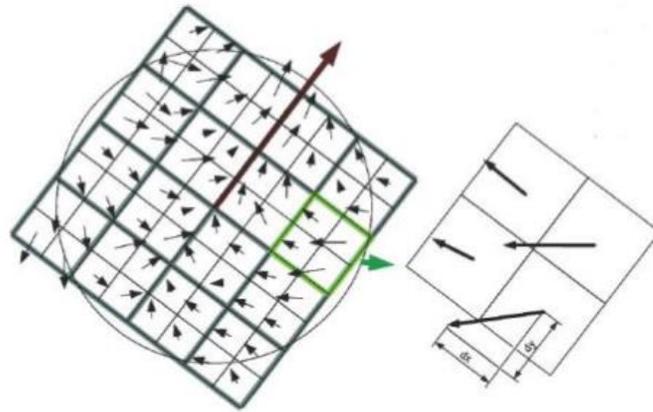
## 7. Descripción local

De la etapa anterior, se obtiene un conjunto de puntos de interés  $N$  en el espacio-escala  $M_i: (x_i, y_i, L_i), \dots, N$  lo cual permite codificar características invariantes a escala en la imagen. Sin embargo antes de construir el descriptor local, primero se tiene que definir para cada punto de interés una orientación dominante siguiendo el procedimiento que se detalla en los párrafos subsecuentes, a fin de lograr invariancia total a la rotación.

## 8. Creación del descriptor

Es en esta última etapa del proceso donde se concreta la creación del descriptor SURF. Se construye como primer paso una región cuadrada de tamaño  $20L_i$  alrededor del punto de interés y orientada en relación a la orientación calculada en la etapa anterior. Esta región es a su vez dividida en  $4 \times 4$  sub-regiones dentro de cada una de las cuales se calculan las respuestas de Haar de puntos con una separación de muestreo de  $5 \times 5$  en ambas direcciones. Por simplicidad, se consideran  $dx$  y  $dy$  las respuestas de Haar en las direcciones horizontal y vertical, respectivamente, relativas a la orientación del punto de interés. En la Figura 4 están representadas tanto las respuestas de Haar en cada una de las sub-regiones como las componentes  $dx$  y  $dy$  uno de los vectores. Para dotar a las respuestas  $dx$  y  $dy$  de una mayor robustez ante deformaciones geométricas y errores de posición, éstas son ponderadas por una Gaussiana de valor  $\sigma = 3,3\sigma_i$  centrada en el punto de interés. En cada una de las sub-regiones se suman las respuestas  $dx$  y  $dy$  obteniendo así un valor de  $dx$  y  $dy$  representativo por cada una de las sub-regiones. Al mismo tiempo se realiza la suma de los valores absolutos de las respuestas  $|dx|$  y  $|dy|$  en cada una de las sub-regiones, obteniendo de esta manera, información de la polaridad sobre los cambios de intensidad.

$$v = \left( \sum_{i=1}^{32} dx, \sum_{i=1}^{32} dy, \sum_{i=1}^{64} |dx|, \sum_{i=1}^{64} |dy| \right) \quad (5)$$



*Figura 4: Respuestas de Haar en las sub-regiones alrededor del punto de interés*

## 9. Correspondencias de características

De los pasos anteriores, dos imágenes correspondientes pueden ser representadas por dos conjuntos de puntos de interés con su correspondiente descriptor SURF. Recordando que el descriptor SURF es un vector con una dimensionalidad de 64 compartimientos, con norma unitaria Euclidiana. El paso de la correspondencia se realiza hasta este punto, comparando exhaustivamente los vectores, combinado con la distancia del radio del vecindario más próximo (NN-DR), La distancia Euclidiana entre el descriptor de la primera imagen y cualquier descriptor de la segunda imagen son calculados, solo los más cercanos y los segundos vecinos más cercanos son considerados. Si el radio de estas dos distancias es menor a 0.8 la correspondencia entre el descriptor consultado y su candidato es validado. Tal umbral permite descartar numerosas discordancias, un ejemplo de lo que se menciona en la

correspondencia de características puede ser visto en la Figura 5. Una vez que se ha calculado los descriptores



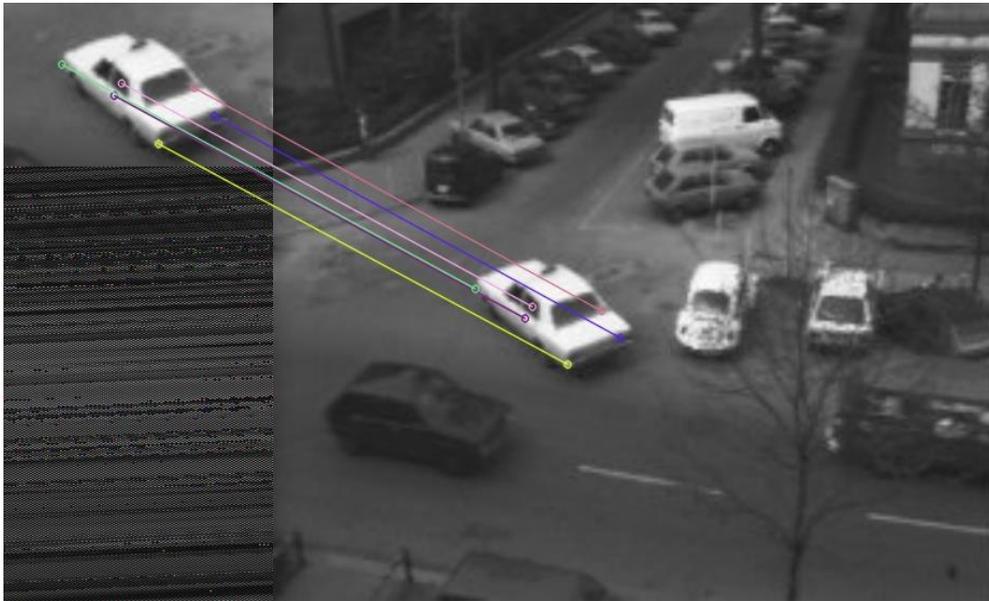
**Figura 5:** Correspondencia de Puntos de Interés

Sólo queda realizar la correspondencia entre los puntos de interés, ya sea de dos imágenes o de un conjunto de imágenes.(e.q.). Para ello Lowe [Lowe, 2004] propone el método de vecinos más próximos. Este método está basado en la distancia Euclidiana entre vectores. El algoritmo consiste en calcular los descriptores de una imagen A, en el cual se quiere encontrar un objeto que está definido en una imagen B. Cuando ya se tienen los vectores de los descriptores de todos los puntos de interés, por cada punto de interés de la imagen A se calcula una distancia que existe entre un vector descriptor y todos los demás vectores de los puntos característicos de la imagen B. Una vez que se tiene calculadas todas las distancias por cada punto de interés de la imagen A, se calcula la relación entre las dos distancias menores. Si esta relación es menor que el valor umbral, existe una correspondencia entre el punto de interés de A y el punto de interés de B más cercano. Para calcular el grado de similitud entre ellos existen varias alternativas, sin embargo como ya se ha hecho mención se utiliza la distancia Euclidiana.

$$D_{st} = \sqrt{\sum_{i=1}^{64} (a_i - b_i)^2}$$

(6)

Donde  $D_{st}$  es la distancia Euclidiana que hay entre los 64 elementos de ambos descriptores. Realizando una serie de operaciones entre cada descriptor de la imagen A con cada una de la imagen B, se podrá decidir cuáles son correspondientes con mayor probabilidad, eligiendo siempre el que tenga la distancia Euclidiana menor.

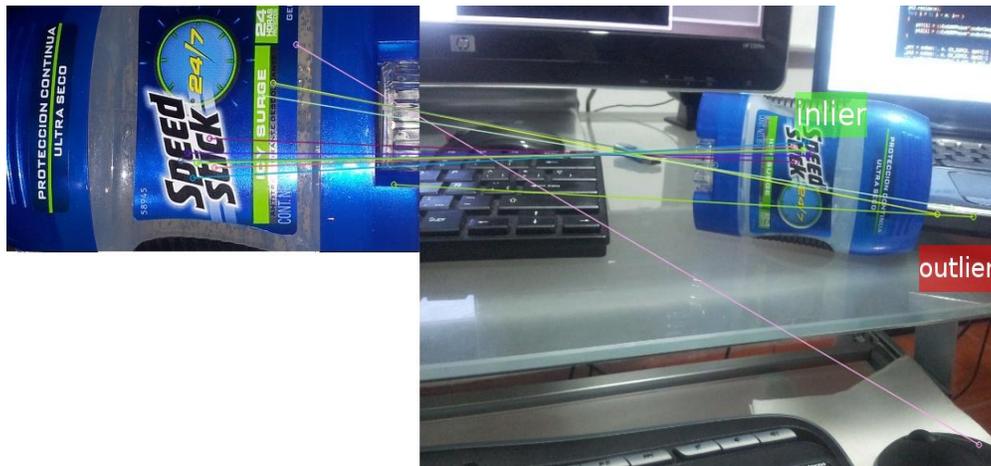


**Figura 6:** Correspondencia de características distancia euclidiana

El costo computacional total de las comparaciones es muy elevado si no se fijan restricciones. Por ejemplo, si se sabe con certeza que ciertos puntos de la imagen A no pueden aparecer de ningún modo en una zona determinada de la imagen B, se podrá descartar los descriptores de esa zona y así ahorrar el costo de las comparaciones. Por tanto, en función del tipo de aplicación que se quiera implementar y de la información que se tenga a priori, se podrá optimizar el código de una forma u otra.

## 10. RANSAC

Finalmente una vez que se tiene las correspondencias entre los puntos, tanto de la secuencia de video como del objeto de interés, se calcula la homografía utilizando el algoritmo de RANSAC. Sin embargo la cuestión de cómo adaptar una homografía o transformación afín a un conjunto de características coincidentes como es visible en la Figura 7.



*Figura 7: Valores atípicos en la correspondencia*

Tiene algunos problemas: hay algunas correspondencias incorrectas. Ahora considerando una transformación afín la cual mapea un punto en otro punto, dando entonces  $T$  como:

$$T = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(7)

Donde se tiene a su vez un conjunto de  $n$  correspondencias que son los puntos coincidentes en la Figura 7 como ejemplo. Ahora bien considerando entonces una correspondencia de un punto característico tenemos que:

$$[x_1, y_1] \rightarrow [x'_1, y'_1]$$

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$ax_1 + by_1 + c = x'_1$$

$$dx_1 + ey_1 + f = y'_1$$

(8)

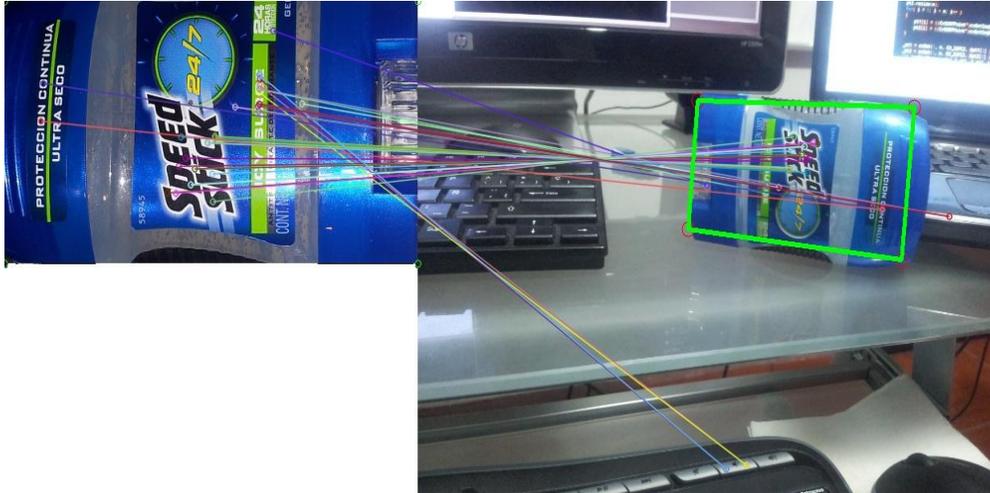
Entonces se tienen 2 ecuaciones, 6 incógnitas, de las cuales se necesitan al menos 3 correspondencias, las cuales pueden ajustar por mínimos cuadrados. Como se puede ver, es un sistema grande aunque es relativamente fácil de resolver. En otras palabras, encontrar una transformación afín T que se mapeen de la imagen uno lo más cerca posible de su correspondencia, una ejemplo es el que se muestra en la Figura 8.



**Figura 8:** Correspondencia de puntos característicos

Es entonces donde entra el algoritmo de RANSAC, para buscar la mejor hipótesis, que arroje parámetros que se apeguen a la transformación. Es decir

por medio de votación se descartan los puntos que no están dentro del conjunto de los puntos que son correspondientes a la imagen, es decir valores atípicos (outlier) que son visibles en la Figura 7. Resolviendo entonces el sistema de ecuaciones se resuelve la mejor  $T$ , la mejor transformación que adecue a los valores típicos (inlier) y a la deformación del objeto buscado, cuestión que se representa en la siguiente Figura 9.



*Figura 9: Correspondencia de un objeto mejores parámetros de  $T$*

## 11. Resultados

En la detección y seguimiento de objetos, el rendimiento y evaluación se reporta en base, a la verificación, identificación de un cierto conjunto de características, definidas por el objeto de interés, es decir, qué tan eficiente y acertada es la búsqueda del objeto deseado. No obstante la idea central de este proyecto es el seguimiento a partir de una sola muestra. Queda claro entonces que lo expuesto en los apartados anteriores, da como base el uso del algoritmo de SURF. Debido a los resultados arrojados en cuanto a su velocidad al generar los vectores de características y su robustez ante cambios de iluminación.

## 12. Correspondencia de muestra inicial

Con el fin de corroborar lo antes mencionado se hicieron pruebas con una sola muestra, obteniendo resultados notables, dado que la muestra inicial no correspondía a la forma que el objeto tenía en la imagen de búsqueda pero si los puntos característicos. Es decir, se podía detectar y seguir los puntos siempre y cuando siguieran siendo característicos. Por ende, los resultado son muy prometedores con una sola muestra, la siguiente Figura 10 muestra un ejemplo de lo antes mencionado.

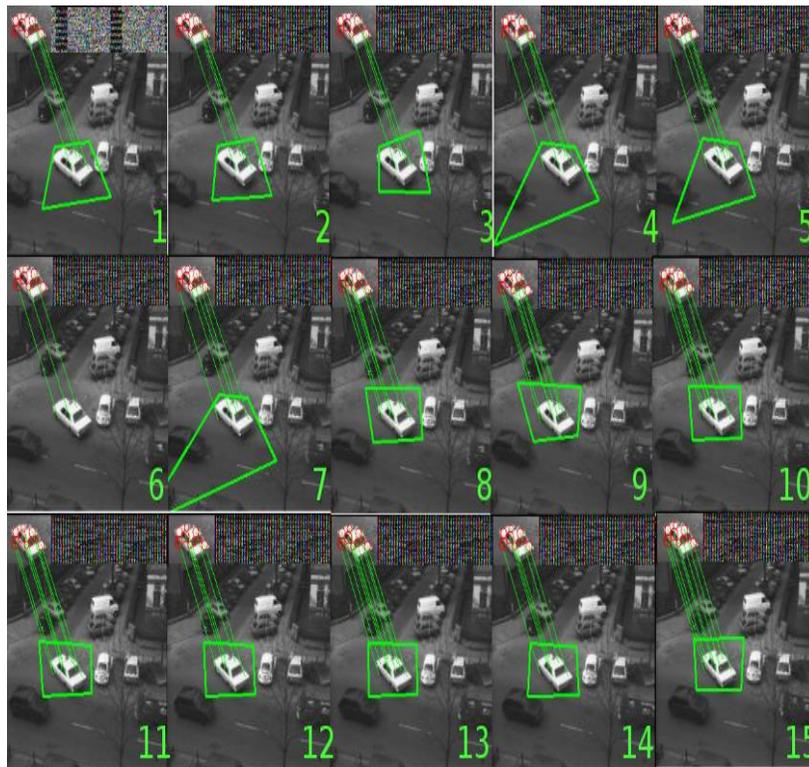


**Figura 10:** Detección de objetos, imagen A logo de Ubuntu, imagen B discos collage de Ubuntu.

Donde es visible que la muestra no corresponde dado que se encuentra en sentido inverso y rotado algunos grados lo cual a pesar de estos cambios, el objeto es detectado y marcado, tratándose de apegar lo más posible a la muestra, imagen A, con su correspondiente en la imagen B.

Ahora bien, el fin del proyecto consiste en hacer el seguimiento en una secuencia de video, es entonces aquí donde las coordenadas del segundo conjunto de puntos característicos varia, en este caso los puntos generados de los marcos

de la secuencia de video. Luego entonces, se puede decir que se trata del mismo punto el cual a lo largo del seguimiento no deja de ser característico. Por ende, se puede hacer un seguimiento a partir de una sola muestra, como se puede ver en la siguiente Figura 11.



**Figura 11:** Detección de objetos en la secuencia de video Taxi de Hamburgo.

Se incluyen las 15 imágenes que componen el video o secuencia del Taxi de Hamburgo de izquierda a derecha numeradas. Dado que el trabajo, esta implementado en video y en tiempo real, y con esto se trata de ejemplificar el funcionamiento de la implementación. Por ende cabria resaltar que la demostración como tal valdría probarla en tiempo real.

## 13. Discusión

La formulación general del problema de la detección y seguimiento de un objeto, se puede plantear de la siguiente manera: dado una secuencia de vídeo, de una escena en particular, se debe determinar la posición (en la imagen) del objeto de interés, así como la trayectoria que éste genere en los cuadros subsecuentes. De igual forma, retomar la posición del objeto si el seguidor pierde el objeto de interés, validando el objeto a detectar con un conjunto de características que describan al objeto seguido. En cuanto a la parte de la detección, también se suele clasificar en dos problemas bien diferenciados: identificación y verificación, como se menciona en [Yilmaz et al 2006]. En los problemas de identificación, la entrada del sistema es la imagen de un objeto desconocido, marcando la identidad del mismo determinada a partir de un conjunto de características extraídas del seguimiento. Por otro lado, los problemas de verificación, el sistema necesita confirmar o rechazar la identidad pretendida de la imagen del objeto de entrada al proceso. Aunque existen muchas técnicas de seguimiento y detección de objetos, los enfoques que existen, han demostrado eficacia prometedora, pero las tareas de seguimiento y detección de objetos todavía son difíciles de completar satisfactoriamente, debido a las variaciones de iluminación, los contrastes del entorno donde se hace el seguimiento y la posición de los objetos con respecto a la cámara, así como las oclusiones que hacen que el seguidor pierda el objetivo, por ende, estos suelen ser algunos de los principales problemas de la detección y del seguimiento de objetos [Kalal et al., 2010]. El grado de complejidad aumenta en la medida que el entorno donde se implementa el seguimiento no es un ambiente controlado, por ejemplo: los lugares abiertos, al aire libre. Luego entonces, el problema que se aborda en este trabajo, radica en la posibilidad de generalizar el objeto de muestra inicial, al poder seleccionar cualquier objeto de interés de una secuencia de video, y a partir de esa muestra única, iniciar la detección y el seguimiento del objeto indicado. A diferencia de lo que existe en el estado del arte, no se contempla un entrenamiento previo, no existe un clasificador de base para poder hacer lo antes

mencionado. Otro problema importante en el que se centra este trabajo es: dado una única muestra inicial, poder seguir el objeto, a pesar de las deformaciones rígidas que se generen y los posibles cambios de iluminación, así como la posible pérdida del objeto de interés, por inclusiones de objetos diversos contenidos en la escena del video.

## 14. Conclusiones

La visión por computadora es un campo muy estudiado, pero a su vez muy profundo, con un sin número de posibilidades, de mejoras constantes a los diferentes algoritmos expuestos, a los diferentes métodos de búsquedas de objetos de interés y al universo que conlleva darle visión a un objeto inanimado cómo lo es una computadora o un robot.

En este trabajo, se ha implementado un sistema de seguimiento de objetos a partir de un solo ejemplo, dado por un click de ratón utilizando el algoritmo de SURF. Queda claro que el trabajo expuesto tiene un sin número de posibilidades, de mejoras, de aplicaciones, de desarrollo, en donde a partir del objeto que es seguido, se pueda aprender, a pesar de las deformaciones rígidas que del objeto emanen. Queda entendido que el algoritmo presentado como base de un sistema de seguimiento a tiempo real, pueden ser la base para proyectos de investigación posteriores. De igual forma queda claro la velocidad de cálculo del algoritmo de SURF es mucho más provechosa cuando de tiempo real se habla, pues el cálculo de los vectores de características son de mucho menor tamaño y su tiempo de computo es mucho menor que el de algunos otro algoritmos como lo es el algoritmo de SIFT. Ahora bien, cuando de un seguimiento en un video se habla la implementación del algoritmo de SURF para hacer seguimiento y detección, a pesar de tener un solo ejemplo, es bastante buena debido a que se pueda seguir lo indicado y retomarlo si el objeto de interés es perdido, y aunque existan deformaciones visibles del objeto, es capaz de adecuarse siempre y cuando los vectores de características sigan siendo característicos. Por ende se puede retomar el trabajo profundizando u

optimizando la búsqueda de correspondencias del objeto buscado. Por consiguiente, queda claro de igual forma, que es posible, basar el seguidor, no en un objeto específico, sino, generalizar lo que se quiere seguir, es decir, de una secuencia de video cualquiera, poder seleccionar cualquier objeto de interés que en ella exista.

Video descriptivo: <https://www.youtube.com/watch?v=RWBZM2Ps98A>

## Referencias

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., y Gool, L. J. V. (2008). Speeded-up robust features (surf). *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3): páginas, 346–359.

Lindeberg, T. (1990). Scale-space for discrete signals. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12: páginas, 234–254.

Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. In *ICCV*, pages 1150–1157

Kalal, Z., Mikolajczyk, K., y Matas, J. (2010). Face-td: Tracking-learning-detection applied to faces. In *ICIP*, pages 3789–3792. IEEE.

Simard, P., Bottou, L., Haffner, P., y LeCun, Y. (1998). Boxlets: A fast convolutional algorithm for signal processing and neural networks. In Kearns, M. J., Solla, S. A., y Cohn, D. A., editors, *NIPS*, páginas, 571–577. The MIT Press.

Viola, P. A. y Jones, M. J. (2004). Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 57(2):137–154

Yilmaz, A., Javed, O., y Shah, M. (2006a). Object tracking: A survey. *ACM Comput. Surv.*, 38(4).

## Notas biográficas:

**M.C. Jesús Eduardo Alcaraz Chávez.** Actualmente se desempeña como profesor interino del Instituto Tecnológico de Morelia en el Departamento de Sistemas y Computación. Es Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica orientación Sistemas y Computación, egresado del posgrado de la facultad de la Ingeniería Eléctrica de la UMSNH. Sus áreas de Interés son el procesamiento digital de imágenes y el procesamiento en tiempo real.

**Dr. Félix Calderón Solorio.** Actualmente se desempeña como profesor e investigador Titular C en la división de estudios de Postgrado de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Es doctor en ciencias computacionales por el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) ubicado en la ciudad de Guanajuato. Sus áreas de Interés son el procesamiento digital de imágenes. Ha sido miembro del Sistema nacional de Investigadores (SNI) y Perfil PROMEP. Actualmente es miembro del núcleo académico básico de la división de estudios de Postgrado de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la UMSNH, cuyos programas de maestría y doctorado en Ingeniería Eléctrica, son reconocidos por el PNP del CONACyT.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Software interactivo para desarrollo de habilidades matemáticas a nivel primaria

Elizabeth Guerrero Sánchez

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos  
eli\_guessa@yahoo.com.mx

Mallory Erendira Rivas Tovar

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos  
mallory.astarte@gmail.com

Jairo Gerson Rivera Ruiz

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos  
falcon64@hotmail.com

**Resumen:** Por medio de ésta investigación se presenta una aplicación matemática con interfaz, amigable, interactiva, sencilla de instalar y de fácil manejo. Ha sido realizada mediante la metodología de prototipos para el desarrollo de software y la implementación de la técnica “Focus Group” para la retroalimentación durante el testeo correspondiente. La aplicación tiene como objetivo principal el fomentar el aprendizaje y desarrollo de las matemáticas mediante la implementación del software interactivo desarrollado a fin de reducir la deserción escolar y los altos índices de reprobación en la materia a nivel primaria, pues es en éste nivel escolar donde se tienen los primeros acercamientos con las matemáticas. A diferencia de otros software, los ejercicios están desarrollado en base a los programas de estudio que presenta la Secretaría de Educación Pública, a su vez cuenta con una base de dato en la cual llevará el control y registro de cada actividad realizada por el estudiante, en donde el maestro puede hacer consulta en cualquier momento, permitiendo identificar cuáles y cuántas veces el estudiante ha resuelto un problema, aportando una perspectiva más concreta de cuáles son los temas que más se le dificultan a cada alumno, cabe destacar que la aplicación es multiplataforma, por lo cual puede ser ejecutada en cualquier dispositivo móvil.

**Palabras clave:** Adobe Flash, Action Script, Diseño de interfaz, Diseño de Vectores, Adobe Photoshop, JavaScript, MySQL, PHP.

## **Software for interactive development of mathematical skills at the elementary level**

**Abstract:** Through this research a mathematical application interface, user friendly, interactive, easy to install and easy to use is presented. It has been carried out by prototyping methodology for software development and implementation of the technique " Focus Group" for feedback during the relevant testing. The application 's main objective is to encourage learning and the development of mathematics through the implementation of interactive software developed to reduce the dropout rate and high failure rates in the art at the elementary level it is at that level where school have the first approaches to mathematics.

Unlike other software, the exercises are developed based on the curriculum presented by Secretary of Education, in turn has a data base in which you take control and record each activity performed by the student, where the teacher can make inquiry at any time in order to identify which and how many times the student has solved a problem, providing a more concrete perspective of what issues will be more difficult for each student is worth noting that the application is cross-platform, so it can be run on any mobile device.

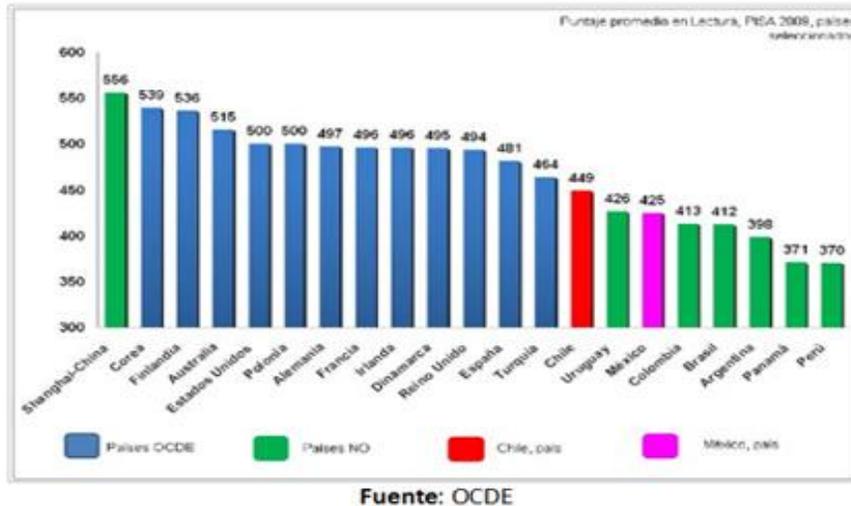
**Keywords:** Adobe Flash, Action Script, Interface Design, Vector Design, Adobe Photoshop, JavaScript, MySQL, PHP.

## **1. Introducción**

Hoy en día con el crecimiento acelerado de la tecnología, además de la creciente demanda de la educación hacia las nuevas generaciones, se encuentra en una encrucijada con respecto a lo que se implementa y a los requerimientos educativos. Actualmente, nos encontramos con que las tecnologías de información presentan un creciente desarrollo en varios ámbitos, sin embargo carecen en uno: La educación.

El actual modelo educativo tuvo lugar en los Estados Unidos y, eventualmente, en todo el mundo occidental. La idea era simple: crear un grupo homogéneo de estudiantes para que el maestro o la maestra, de manera más eficiente, pudiese enseñar el mismo contenido, con la misma metodología, a todos los estudiantes al mismo tiempo (Abbagnano & Visalberghi, 1994). Éste modelo fue introducido en México durante la presidencia de Benito Juárez, y desde entonces al modelo se le han hecho pocos cambios para mejorarlo. Vivimos en un mundo que se encuentra en constante evolución y cambio, las generaciones nuevas en comparación a las generaciones del siglo pasado, piensan de manera diferente y por lo consecuente aprenden de manera diferente esto nos obliga a cambiar la forma de enseñar. Nos encontramos en una era donde la tecnología está en todas partes y en constante evolución. Toda esta revolución tecnológica está haciendo que el modelo educativo actual quede obsoleto.

Los estudiantes latinoamericanos están por debajo de sus pares de los países más desarrollados, los resultados del Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA) muestran que los alumnos de América Latina están entre los de peor rendimiento (CNN México, 2010); los resultados obtenidos por México en ésta prueba no son buenos (Fig.2), además es el país de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) con la mayor proporción de estudiantes por debajo del nivel 2 en Matemáticas (no pueden realizar algoritmos básicos).



**Figura 1.** Resultado de la prueba PISA en México (magenta)

En el año 2011 en una entrevista la presidenta del Comité Organizador de la Olimpiada de Matemáticas de Centroamérica y del Caribe Radmila Bulajich Manfrino, menciona que hace cinco años, la Sociedad Matemática Mexicana realizó una encuesta entre los estudiantes, y la gran mayoría de los que cursaban primaria respondió que sí les gustaba esa materia, pero en secundaria el porcentaje disminuyó de forma sustancial. Indicó que esto quiere decir “que algo estamos haciendo mal para que los estudiantes pierdan el gusto por la materia” (Azteca noticias, 2011). Y quizá una de estas cosas sea que hay muy limitadas posibilidades para quienes tienen el gusto y talento por las matemáticas. En estos casos la educación básica juega un papel muy importante, ya que en este ciclo son los primeros contactos del alumno con las diferentes materias es aquí precisamente en donde se debe despertar la curiosidad y el interés de los alumnos con nuevos métodos de enseñanza – aprendizaje, evolucionando y haciendo uso de las nuevas tecnologías.

Países de primer nivel como es el caso del líder en tecnología Japón, han encontrado en las NTIC (Nuevas Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones) una herramienta eficiente en las aulas educativas. Una investigación, concretamente llevada a cabo por el Instituto Nacional de Educación Multimedia en Japón, demostró un aumento significativo en el

rendimiento de los alumnos en el aula en asignaturas como matemáticas, ciencias y estudios sociales (Universidad de Deusto, 2009).

Ha llegado el momento de iniciar una nueva era educativa, de evolucionar y moverse con la tecnología; el estudio presente tiene como finalidad integrar la tecnología en el aula educativa y explicar que esta acción va más allá del simple uso de la computadora y su software. Para que la integración con el currículo sea efectiva, se necesita una investigación que muestre profundizar y mejorar el proceso de aprendizaje además de apoyar cuatro conceptos claves de la enseñanza:

1. Participación activa por parte del estudiante.
2. Interacción de manera frecuente entre el maestro y el estudiante.
3. Participación y colaboración en grupo.
4. Conexión con el mundo real.

La integración de la tecnología de manera eficaz se logra si se tiene en cuenta estos pasos:

- Llega a formar parte del proceso rutinario de la clase.
- Los estudiantes se sienten cómodos usándola.
- Apoya los referentes educativos del currículo.

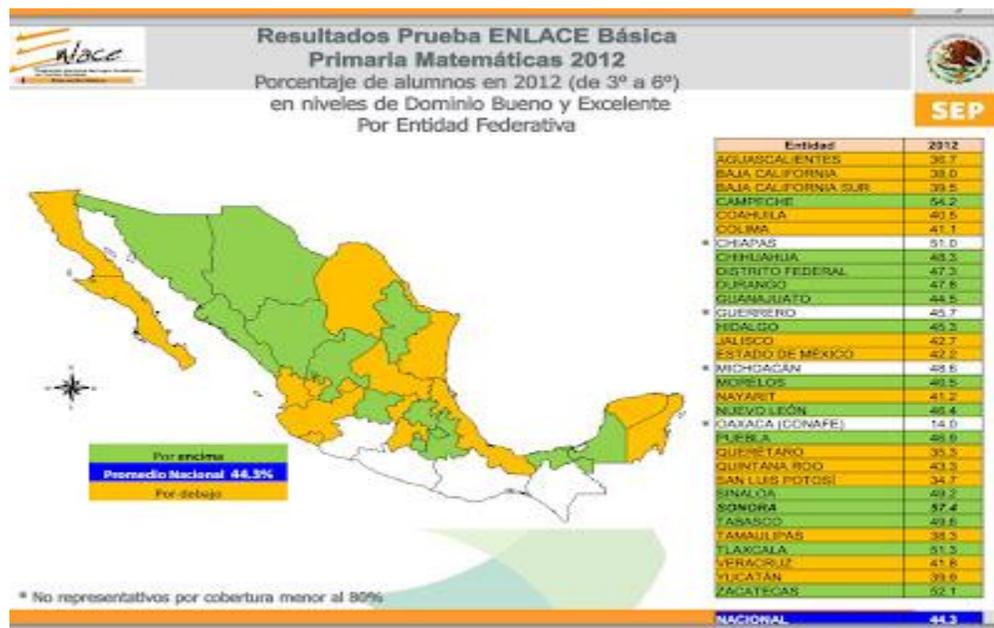
El aprender mediante proyectos que facilitan el uso de diversas formas de tecnología le permiten al estudiante desafiar su conocimiento intelectual (Shucksmith, 1999).

## **2. Metodología**

Siguiendo las metodologías del proceso y desarrollo de software, se ha utilizado la metodología de prototipo que consiste en crear inicialmente una versión del sistema que pueda operar y realizar las funciones que se espera resolver. Luego este sistema se presentará a los usuarios que lo han de utilizar y se le harán las pruebas para determinar el desempeño y funcionalidad, haciendo las

correcciones o adiciones para complementarlo y dejar una versión satisfactoria del sistema. Del resultado de las pruebas se podrá determinar si se vuelve a desarrollar el prototipo o si se continúa haciendo las mejoras hasta obtener una versión definitiva y llegar a su implantación.

Se realizó un estudio en las escuelas de la región, teniendo previamente una idea de la situación del país, pues México se encuentra en los últimos lugares, al lado de países tercermundistas en el nivel de desarrollo de las matemáticas.



**Figura 2. Resultados Matemáticas 2012 ENLACE**

La aplicación está desarrollada en Flash (Gauchat, 2008), considerada una herramienta multimedia utilizada para desarrollar aplicaciones interactivas, animaciones y programas independientes en web, utiliza el lenguaje Action Script para manejar el contenido. Se utilizan gráficos vectoriales y rasterizados, sonido, código de programa, flujo de vídeo y audio bidireccional.

## Creación de la interface y animaciones

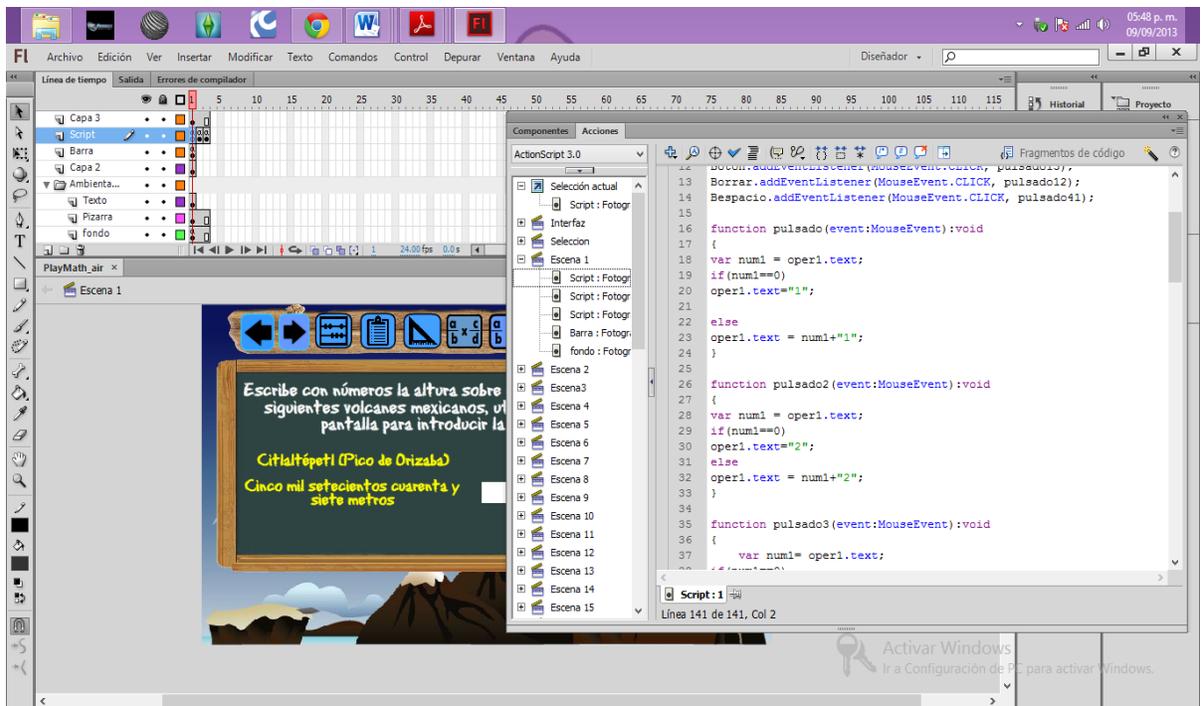
Para la creación de multimedia, diseño de interfaces, ambientación, animaciones, objetos, efectos visuales, botones, etc. Se utilizaron los programas Adobe Illustrator y Adobe Photoshop y posteriormente incorporar los vectores, imágenes y demás en Flash CS6.



*Figura 3. Interfaz de bienvenida de la aplicación*

## Programación de acciones

Para la programación de acciones de los objetos (menús desplegables, acciones de los botones, ejercicios que requieren validación y las distintas herramientas de ayuda que contiene el software como: calculadora suma y resta de fracciones etc.) fueron programadas en Actionscript 3.0 (Joey Lotto, 2007) lenguaje de programación de la plataforma Adobe Flash en su más reciente versión y JQuery.



*Figura 4. Programación de acciones en Adobe Flash*

## **Estudio, recopilación de datos**

Simplemente no se puede crear algo para un público objetivo y no buscar las opiniones de éste. Es por ello que se ha hecho uso del “Focus Group” en escuelas tanto públicas como privadas, pues se busca indagar en las actitudes y reacciones de estudiantes y maestros frente a la aplicación. Se ha trabajado de forma estrecha con maestros, pedagogos y psicólogos, a fin de no sólo realizar una aplicación “bonita” sino incorporar todos los aspectos de una educación integral con la tecnología.

## **Diseño y gestión de la base de datos**

La aplicación tiene la característica de estar conectada a una base de datos MySQL 5.0.19 (Carlos, 2003), ésta base de datos gestiona la información generada por la aplicación, de tal manera que nos permita almacenar la cantidad de aciertos de cada alumno, y poder realizar reportes semanales, mensuales,

etc, obteniendo información del avance de los alumnos. Dicha información es de gran utilidad para el docente, ya que sabe a ciencia cierta, qué alumnos necesitan más atención y en que materias están rezagados; pues la base de datos clasifica la información por Alumnos, materias, grado, grupo. Debido a que toda la información está en una base de datos, el maestro con una aplicación propia, podrá editar y agregar preguntas al sistema.

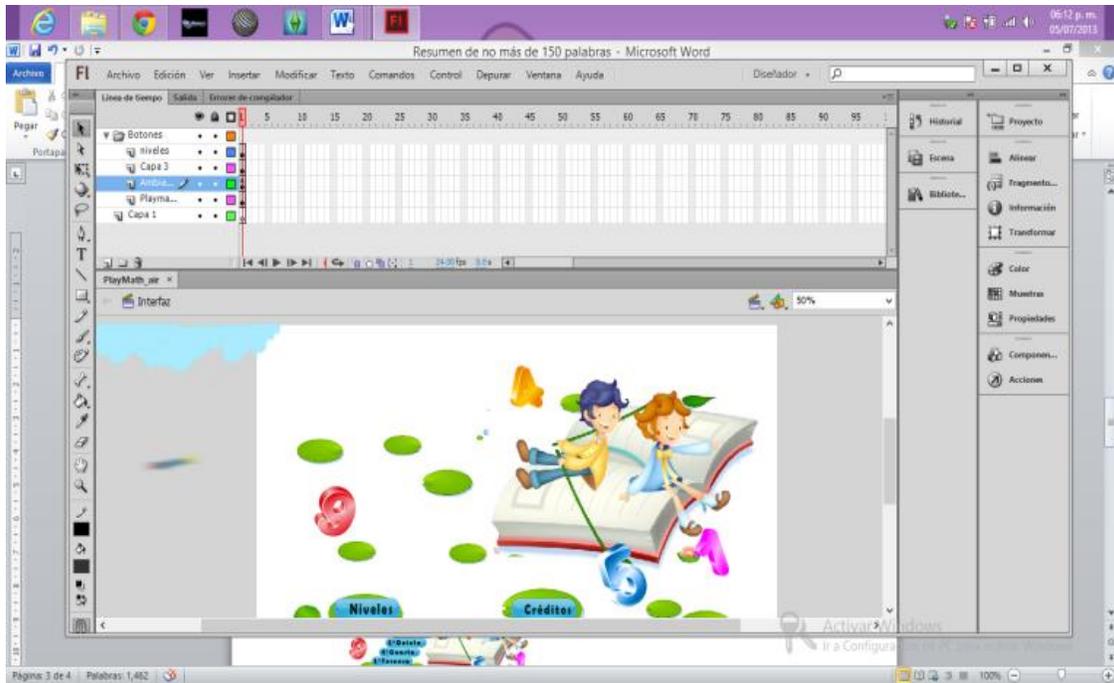
### **3. Resultados**

El maestro implementará el software durante clases con ayuda de los pizarrones electrónicos, cañones equipos de cómputo, algún dispositivo móvil (ipads, celulares, tabletas, etc.) o aprovechando el equipo previamente adquirido para la plataforma Enciclomedia.

El estudiante podrá repasar los temas del plan de estudios de determinada asignatura, realizar las actividades en clase de forma interactiva y en conjunto con sus compañeros; ha sido desarrollada conforme los programas educativos actuales de la SEP y cuenta con asistentes, una inmensa gama de ejercicios y todo lo necesario para fomentar un buen desempeño del alumno.

#### **Entorno de la aplicación**

Está desarrollado enteramente en Flash, que es una aplicación multimedia utilizada para desarrollar aplicaciones interactivas, animaciones y programas independientes en web, utiliza el lenguaje Action Script para manejar el contenido. En su desarrollo se utilizan gráficos vectoriales y rasterizados, sonido, código de programa, flujo de vídeo y audio bidireccional, trabaja sobre "fotogramas" y está destinado a la producción y entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias sin importar la plataforma.



*Figura 5. Desarrollo de interfaz en plataforma Flash*

En la interfaz de bienvenida podrán elegir el nivel correspondiente, éste los enviará a una pantalla de menú donde podrán elegir el bloque, unidad y ejercicio deseado conforme el programa de estudios.



*Figura 6. Interfaz del menú*

Existen, de momento 3 tipos de ejercicios: preguntas abiertas, arrastrar y soltar, opción múltiple; cada ejercicio indica con una cintilla a qué página y ejercicio corresponde, conforme a los libros de la SEP.



Figura 7. Ejemplo ejercicio: Preguntas abiertas



Figura 8. Ejemplo ejercicio: Arrastrar y soltar

Se incluyen también diversas ayudas un asistente o mascota que guiará y motivará al niño a través de los diversos ejercicios, así como una diversidad de herramientas tales como: formularios, calculadora, geoplano, etc.



Figura 9. Herramienta: Formulario

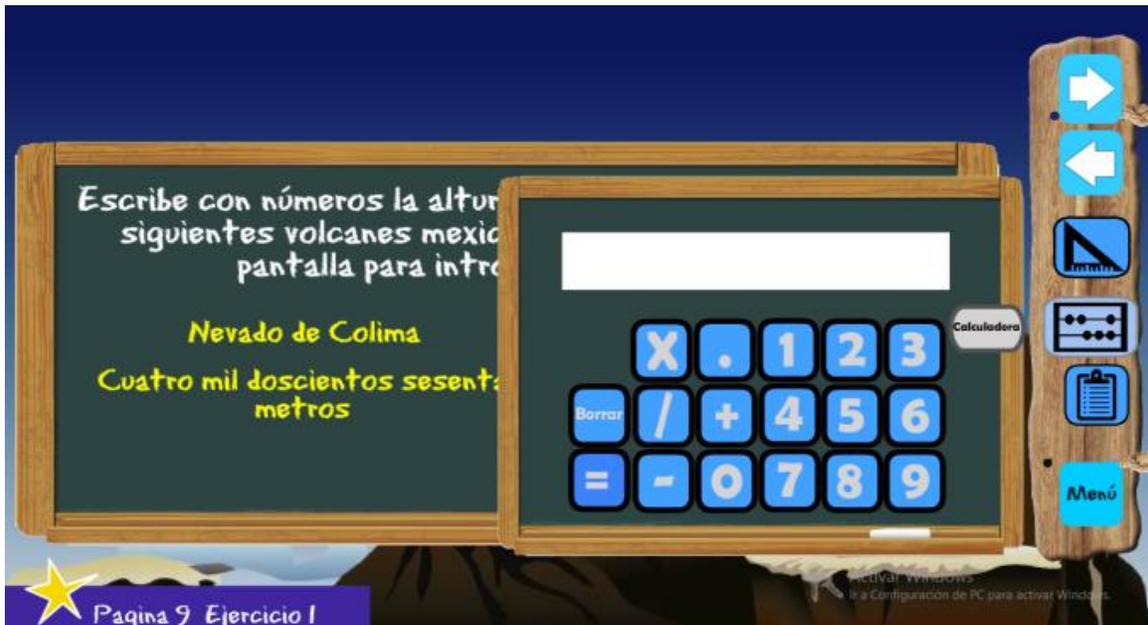


Figura 10. Herramienta: Calculadora

Requerimientos mínimos:

- Pentium 4 a 2.80GHz.
- Tarjeta gráfica SVGA, mínimo 800x600, 256 colores.
- Memoria RAM de al menos 512MB
- Compatible con cualquier sistema operativo

## 4. Discusión

Es verdad que existen diversos software y aplicaciones educativas, sin embargo no se apegan a los programas de estudios establecidos por la SEP, que los maestros deben seguir durante el ciclo escolar siendo muchas veces motivo por el cual los maestros las pasen por alto (Alonso García, 2005). Los costos de éstas aplicaciones es un factor decisivo, en ocasiones una desarrollada a medida puede tener precios demasiado altos, para que alguna institución pública pueda adquirirla o su manejo e instalación es complicado, por lo cual se debe contratar a personal especializado, que sólo ocasionará más gastos, entre estos casos se puede destacar los software ofrecidos por PIPO, la suite que contiene los temas de primero a sexto grado de primaria tiene un costo de dos mil quinientos pesos por licencia, esto sin contar el IVA, el envío que se podría generar y que cada grado escolar sólo cuenta con dieciocho actividades a realizar. Una solución mexicana y más acorde a nuestras costumbres, idioma y planes de estudio es la que ofrece la empresa Lesys, Acus LS, que tiene un costo por estudiante de mil novecientos noventa pesos. El software desarrollado y que dio origen a la investigación e estima un precio de trescientos pesos por grado escolar, sin contar que se han tomado medidas para ofrecer la aplicación por paquetes, reduciendo el precio por licencia. Otra de las problemáticas suele ser que, en ocasiones ni los mismo maestros entienden muy bien cómo funciona la aplicación, pues raramente se les suele ofrecer cursos de capacitación para aprovechar al máximo las características de

los software educativos, la aplicación desarrollada, cuenta con guías, asistentes y mensajes de ayuda, para hacerla funcionar, solo basta un simple click

Se han hecho esfuerzos por parte del gobierno para implementar tecnología en las aulas como en el caso del programa Enciclomedia, introducido al sistema educativo en el Sexenio del Presidente Vicente Fox, el cual fracasó por la poca capacitación a los docentes sobre el sistema, la complejidad del sistema y el costo de los recursos para su implementación (Franco, 2008). Es por ello que se busca obtener una aplicación ligera, de fácil instalación y uso, económica, que no necesite instalaciones o equipos extras, atractiva e interactiva con una interfaz gráfica vistosa e intuitiva que ayude a estimular el aprendizaje y desarrollar las habilidades y capacidades matemáticas del estudiante.

## **5. Conclusiones**

El aprovechamiento y el uso de las nuevas tecnologías ha avanzado día con día abarcando cada vez más aspectos de la vida cotidiana, si bien, en el sector educativo se han logrado ciertos acercamientos, aún no se ha establecido nada claro. El uso de internet o intranet ha sido parcial, pues el equipamiento y los costos son las principales barreras, la opción más viable para la implementación de TIC's en las aulas resulta ser mediante contenido multimedia en CD-ROM siendo uno de los principales los desarrollados por PipoClub o la reciente empresa Vermic que han demostrado su utilidad en las aulas mexicanas, sin embargo la falta de innovación y la escasez de contenido han provocado que poco a poco sean relegados. Una aplicación como el prototipo desarrollado, suele ser una alternativa viable para ayudar en el aprendizaje integral del alumno, las innovaciones en el área es ofrecer un software multiplataforma en que se podrán desarrollar las actividades desde un dispositivo de uso común como los celulares o tabletas electrónicas y que además no necesita de programas o equipos especiales para ser ejecutada.

# Referencias

Universidad de Deusto. (Mayo de 2009). Recuperado el Septiembre de 2013, de Las NTIC y educación en Japón: Nuevas tecnologías para la educación: <http://blog.catedratelefonica.deusto.es/las-ntic-y-educacion-en-japon>

CNN México. (12 de Julio de 2010). Recuperado el Julio de 2013, de Mexico ocupa el lugar 48 de 65 en la evaluacion de conocimiento de la OCDE: <http://mexico.cnn.com/nacional/2010/12/07/mexico-en-el-lugar-48-de-65-en-evaluacion-de-conocimientos-internacional>

Azteca noticias. (Octubre de 2011). Recuperado el Noviembre de 2012, de Advierten crisis en educación matemática en México: <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/cultura/56141/advierten-crisis-en-educacion-matematica-en-mexico>

Abbagnano, N., & Visalberghi, A. (1994). Historia de la Pedagogía. México: Fondo de Cultura Económica.

Alonso García, C. M. (2005). Aplicaciones educativas de las tecnologías de la información y la comunicación. Madrid: Ministerio de Educación.

Carlos, C. (2003). Sistemas de bases de datos. Mexico: Cengage Learning Editores.

Franco, J. (2008). Educación y tecnología, solución radical: Historia, teoría y evolución escolar en México y en Estados Unidos. Mexico: Siglo XXI.

Gauchat, J. D. (2012). El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript. Barcelona: Marcombo.

Joey Lotto, S. D. (2007). ActionScript 3.0 para desarrolladores Flash. Anaya Multimedia-Interactiva.

Raymond Nickerson, D. P. (1987). Enseñar a pensar: aspectos de la aptitud intelectual. Barcelona: Paidós.

Shucksmith, J. N. (1999). Estrategias de aprendizaje. Madrid: Santillana.

## Notas biográficas:



**Ing. M. Elizabeth Guerrero.** Nació en Cuichapa Mol., Ver, México, el 31 de marzo de 1981. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Minatitlán (2003). Actualmente profesora del Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos impartiendo materias en el área de Sistemas Computacionales.



**Mallory Eréndira Rivas Tovar.** Nació en Minatitlán Ver, México, el 21 de octubre de 1989. Actualmente estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos cursando el 7° semestre de Ing. en Sistemas Computacionales, labora para la empresa Soluciones Informáticas como diseñador web.



**Jairo Gerson Rivera Ruiz.** Nació en Coatzacoalcos, Ver, México, el 22 de Octubre de 1991. Actualmente trabaja en Ediciones Dixcine, una empresa de Edición, Video y Fotografía. Estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos cursando el 7° semestre de Ing. Informática.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Propuesta para el manejo de información clínica basada en la NOM-168 por medio de un dispositivo móvil y la tecnología NFC

Salvador Escorcía García.

Departamento de Ciencias Computacionales del CENIDET  
seo11c@cenidet.edu.mx

Máximo López Sánchez.

Departamento de Ciencias Computacionales del CENIDET  
maximo@cenidet.edu.mx

Juan G., González.

Departamento de Ciencias Computacionales del CENIDET  
gabriel@cenidet.edu.mx

**Resumen:** Si un expediente clínico no se encuentra completo un prestador de servicios médicos no contará con la información necesaria para ofrecer una mejor atención al paciente. Actualmente existen esfuerzos para contar con un expediente clínico completo y de acceso rápido, pero en situaciones de emergencia la principal fuente de información para brindar una mejor atención es el paciente, pero este no siempre se encuentra disponible para proporcionar información.

En el presente artículo se propone una metodología para el manejo de información clínica por medio de la tecnología inalámbrica NFC y los dispositivos móviles. Como producto final de dicha metodología se obtuvo una aplicación móvil Android. La información clínica que fue manejada en dicha metodología, se obtuvo a partir de la NOM-168 que establece los datos mínimos por los que se debe componer un expediente clínico. Dicha información clínica fue comparada con el estándar HL7 CDA Versión 2 para obtener un documento XML, el cual fue utilizado como una plantilla para crear documentos clínicos electrónicos.

La incorporación de la tecnología NFC en dicha metodología fue necesaria para almacenar y recuperar la información clínica en la memoria de tags NFC. La ventaja de lo anterior es que un tag NFC tiene distintas presentaciones como puede ser un calcomanía o una tarjeta de identificación, por lo que los pacientes pueden fácilmente transportar información clínica. Y además dicha información puede ser accedida por medio de un dispositivo móvil con NFC incluso si los pacientes se encuentran en un estado que no puedan facilitar información.

Palabras clave: NOM-168, Android, NFC, HL7.

## **A proposal for clinic data management based on NOM-168 through a mobile device and NFC technology**

**Abstract:** If a clinical record is not filled out correctly, the doctor might not be able to provide the best healthcare to the patient, aggravating the emergency situation in some cases. Nowadays, there are efforts to have a complete clinical record and fast access. The patient is the main source of information in an emergency situation, but in some cases this person is not able to provide the information.

This paper proposes a methodology for managing clinical information by means of a mobile device and NFC technology. The final product of the methodology is an application for android mobile devices. The clinical information that was managed for this methodology was taken from the NOM-168, because this establishes the minimum data for the correct clinical record. The clinical information was analyzed together with the standard HL7 CDA Version 2 to obtain an XML document. This XML document was used like as a template for creating electronic clinical documents.

The incorporation of the NFC technology was necessary for managing clinical information inside the NFC memory tags. The main advantage of this process is the different size of an NFC tag (i.e. sticker, bracelet, identification card, etc.); therefore a patient can carry clinical information easily. Furthermore, that clinical information can be recovered through a mobile device with NFC support, even if the patients can not provide any information.

Keywords: NOM-168, Android, NFC, HL7.

# 1. Introducción

Los expedientes clínicos en México deben apegarse a las normas oficiales NOM-168-SSA1-1998 (Gobierno Federal de México, 1999) y NOM-024-SSA1-2010 (Gobierno Federal de México, 2010), ya sea en papel o de forma electrónica respectivamente. Aunque dichas normas tienen el rigor de ser obligatorias los expedientes clínicos no siempre se apegan a las mismas. También es importante que si un expediente clínico no se encuentra completo el prestador de servicios médicos no contará con la información necesaria para ofrecer una atención adecuada, lo cual se agrava en ciertas urgencias médicas.

Actualmente existen esfuerzos para contar con un expediente clínico completo y se pueda acceder de forma rápida al mismo. Tanto es así que hoy en día se encuentran escenarios donde un paciente puede tener en su dispositivo móvil un sistema de monitoreo y también puede acceder a su expediente clínico desde cualquier parte del mundo a través de internet. Pero en situaciones de emergencia y sin acceso a internet, la principal fuente de información para brindar una mejor atención es el paciente.

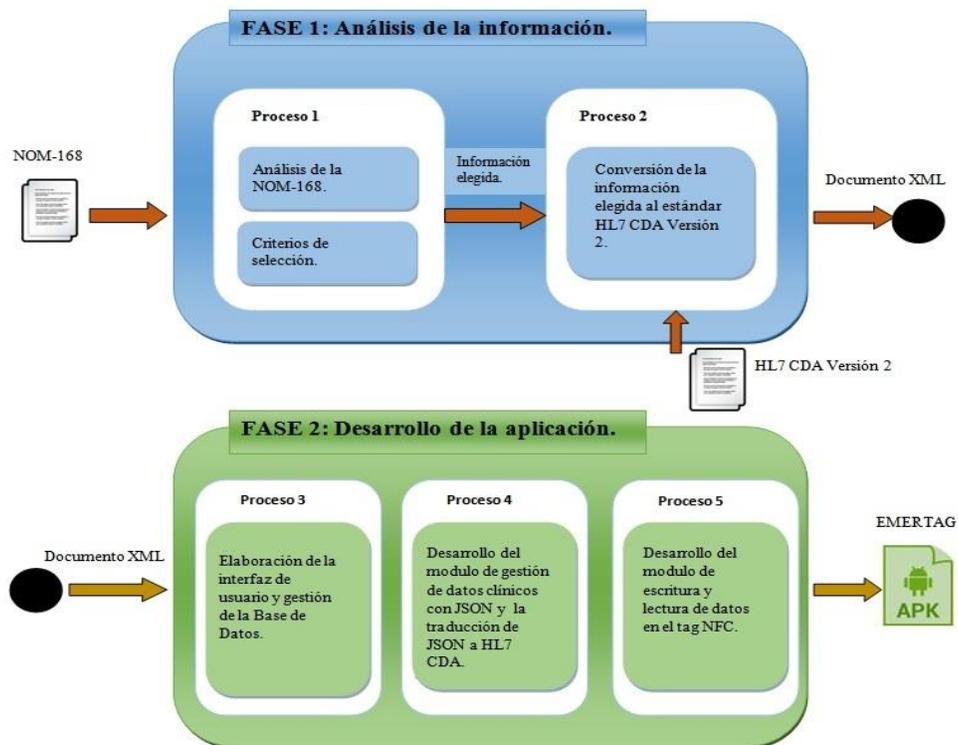
En este artículo se propone el manejo de información clínica por medio de la tecnología inalámbrica NFC y los dispositivos móviles. Dicha información clínica que fue manejada se obtuvo a partir de la NOM-168 que establece los datos mínimos por los que se debe componer un expediente clínico. Además la información clínica al ser analizada en conjunto con el estándar HL7 CDA V2 (HL7, 2004) se obtuvo una plantilla para crear documentos clínicos electrónicos.

La incorporación de la tecnología NFC en dicha metodología fue necesaria para almacenar y recuperar la información clínica en la memoria de tags NFC. La ventaja de lo anterior es que un tag NFC puede ser encontrado como una calcomanía o como una tarjeta del tamaño de una credencial de identificación, por lo que el paciente puede fácilmente transportar su información clínica. Además dicha información puede ser accedida por medio de un dispositivo móvil

con soporte para NFC incluso si el paciente se encuentra en un estado que no pueda facilitar información.

## 2. Metodología

La metodología de solución mostrada en la Figura 1 se compone de dos fases principalmente: análisis de la información y desarrollo de la aplicación. Cada una de éstas se compone de actividades que describen la secuencia que se siguió para alcanzar el objetivo de permitir el manejo de información clínica por medio de un dispositivo móvil y la tecnología NFC. Las actividades comienzan desde la delimitación de la cantidad de información clínica que es manipulada hasta la forma en que ésta información debe ser manejada en el tag NFC.



*Figura 1. Metodología de solución.*

En la primera etapa llamada análisis de información se obtiene un conjunto de información referente al paciente, la cual se obtuvo a partir un análisis de la NOM-168 (Gobierno Federal de México, 1999). Para obtener dicha información

clínica de la NOM-168 se realizó una depuración a partir de criterios de selección y después se comparó con el estándar HL7 CDA V2 (HL7, 2004). Como resultado de esta fase se obtuvo una plantilla (un documento XML) para crear documentos clínicos electrónicos. En la segunda etapa denominada “Desarrollo de la aplicación”, se realizó el desarrollo de la aplicación en base a la información contenida en el documento XML, por mencionar algunas partes desarrolladas son: la interfaz de usuario, la traducción de la información a JSON, el manejo de los datos clínicos en el tag NFC y demás aspectos de la aplicación.

Como resultado de las fases descritas anteriormente, se obtuvo una aplicación móvil para el sistema operativo Android 4.2, la cual permite el manejo de los datos clínicos de un paciente con la tecnología NFC. A continuación se describe con más detalle cada uno de los procesos de las fases mencionadas.

## **Fase 1.- Proceso 1**

En este proceso se realizó un análisis de la NOM-168 y en base a criterios de selección se obtuvo un conjunto acotado de información clínica. Los criterios de selección son los siguientes:

1. Se descartaron las notas circunstanciales y específicas de algún procedimiento (ej.: nota de ingreso, nota de egreso, nota de referencia, etc.).
2. Se tomo en cuenta la limitada y reducida cantidad memoria de un tag NFC, por lo que fue un factor importante para la elección de la información.
3. La información relacionada a la identificación del paciente y sus padecimientos tuvieron más relevancia.

En base a los puntos anteriores y analizando la NOM-168 se eligió la Historia Clínica (descrita en la sección 6.1 de dicha norma) como la sección adecuada para obtener la información clínica para la presente propuesta. La Historia Clínica se divide en 5 elementos (ver sección 6.1 de la NOM-168) de los cuales se eligieron los cuatro primeros elementos del interrogatorio que son los siguientes:

- Ficha de identificación:
  - Nombre del paciente:
    - Apellido paterno.
    - Apellido materno.
    - Nombre(s).
  - Genero.
  - Fecha de nacimiento (día, mes y año).
  - Ocupación del paciente.
  - Domicilio:
    - Calle.
    - Número exterior.
    - Número interior.
    - Colonia.
    - Municipio.
    - Entidad federativa.
- Antecedentes heredo familiares.
- Antecedentes personales patológicos.
- Antecedentes personales no patológicos.
- Adicionalmente a la información clínica indicada anteriormente se incluyeron los siguientes puntos por su relevancia:
  - Fecha, nombre completo y título de quien captura la información. La NOM-168 indica que es necesario incluir estos datos en el punto 5.9.
  - El numero de seguridad social (NSS) del paciente.
  - El nombre de la institución prestadora de servicios médicos al que está afiliado el paciente.
- Teléfono de contacto.

## Fase 1.- Proceso 2

En la presente sección se describirá el proceso que se siguió para crear una plantilla para crear documentos clínicos electrónicos en base a la información obtenida del Proceso 1. Para obtener dicha plantilla fue necesario realizar un análisis del estándar HL7 CDA V2 (HL7, 2004) y compararlo en conjunto con la información obtenida del Proceso 1.

Un documento CDA está compuesto por dos partes que son el encabezado y cuerpo del documento, las cuales se ubican dentro de la etiqueta **<ClinicalDocument>**. Entonces en base a la información descrita en (HL7, 2004) y (IMSS, 2013) acerca del estándar HL7 CDA V2, se realizó un estudio de los elementos y etiquetas contenidos en este estándar y se comparó con el conjunto de información obtenida del Proceso 1. En la Tabla 1 se muestra las etiquetas correspondientes a algunos elementos seleccionados de la NOM-168, las etiquetas “padres” de los mismos y la sección del documento CDA a la que pertenece.

HL7 CDA V2 NOM-168	Elemento CDA	Se ubica dentro de	Sección del documento CDA
Nombre completo del paciente	<name>	<patient>	Encabezado
Nombre	<given>	<patient>	Encabezado
Apellido paterno	<family>	<patient>	Encabezado
Apellido materno	<family>	<patient>	Encabezado
Genero	<administrativeGenderCode>	<patient> <recordTarget>	Encabezado
Fecha de nacimiento	<birthTime>	<patient>	Encabezado
Ocupación del paciente	<employment>	<patient>	Encabezado
Domicilio del paciente	<addr>	<patientRole>	Encabezado
Calle	<streetName>	<addr>	Encabezado
Número externo	<buildingNumber>	<addr>	Encabezado
Número interno	<houseNumber>	<addr>	Encabezado
Colonia	<additionalLocality>	<addr>	Encabezado
Municipio	<county>	<addr>	Encabezado
Estado	<state>	<addr>	Encabezado
Teléfono del paciente	<telecom>	<patientRole>	Encabezado
NSS	<id>	<patientRole>	Encabezado
Nombre de la institución prestadora de servicios médicos	<name>	<representedCustodianOrganization>	Encabezado

**Tabla 1.** Primer tabla de la correspondencia entre la información obtenida del Proceso 1 y el estándar HL7 CDA V2.

Con respecto a los antecedentes heredo familiares, antecedentes personales patológicos y antecedentes personales no patológicos según se puede leer en el documento de referencia del HL7 CDA V2 (HL7, 2004), se pueden describir como bloques de narrativa. Un bloque de narrativa es un elemento donde un prestador de servicios médico puede escribir libremente y se encuentra determinado por la etiqueta **<text>** que se encuentra anidada dentro de la sección **<section>**. Pero para diferenciar una sección de otra fue necesario consultar el LOINC que es un sistema universal de códigos para identificar las observaciones clínicas y de laboratorio (LOINC, 2013). A continuación se resume en la Tabla 2 el análisis y comparación entre el LOINC, HL7 CDA V2 y los elementos de la información clínica.

Elemento de la NOM-168	Etiquetas HL7 CDA V2	Código LOINC	Código resultante
Antecedentes heredo familiares	<section> <text> ... </text> </section>	"10157-6"	<section> <code code="10157-6" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1 " codeSystemName="LOINC"/><text> ... </text></section>
Antecedentes personales patológicos	<section> <text> ... </text> </section>	"52230-0"	<section> <code code="52230-0" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1 " codeSystemName="LOINC"/><text> ... </text></section>
Antecedentes personales no patológicos	<section> <text> ... </text> </section>	"29762-2"	<section> <code code="29762-2" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1 " codeSystemName="LOINC"/><text> ... </text></section>

**Tabla 2.** Segunda tabla de la correspondencia entre la información obtenida del Proceso 1 y el estándar HL7 CDA V2.

Los últimos elementos por definir su correspondencia con el HL7 CDA V2 son: Fecha, nombre completo y título de quien captura la información. A continuación se muestra en la Tabla 3 la correspondencia entre el HL7 CDA y dichos elementos.

HL7 CDA V2 NOM-168	Elemento CDA	Se ubica dentro de	Sección del documento CDA
Fecha	<time>	<legalAuthenticator>	Encabezado
Nombre	<given>	<assignedPerson>	Encabezado
Apellido paterno	<family>	<assignedPerson>	Encabezado
Apellido materno	<family>	<assignedPerson>	Encabezado
Título	<suffix>	<assignedPerson>	Encabezado

**Tabla 3.** Correspondencia entre elementos de la NOM-168 y el estándar HL7 CDA V2.

Una vez que se obtuvieron todas las correspondencias entre la información del Proceso 1 y el estándar HL7 CDA V2, se integraron según dicho estándar y se creó una plantilla para crear documentos clínicos electrónicos.

## Fase 2.- Proceso 3

A continuación se describirá el Proceso 3 en donde se desarrolló tanto la interfaz de usuario como la base de datos para la gestión de usuarios de la aplicación que lleva por nombre Emertag. Para ello se tomaron en cuenta algunas restricciones para el desarrollo de la interfaz de la aplicación, las cuales se describen a continuación:

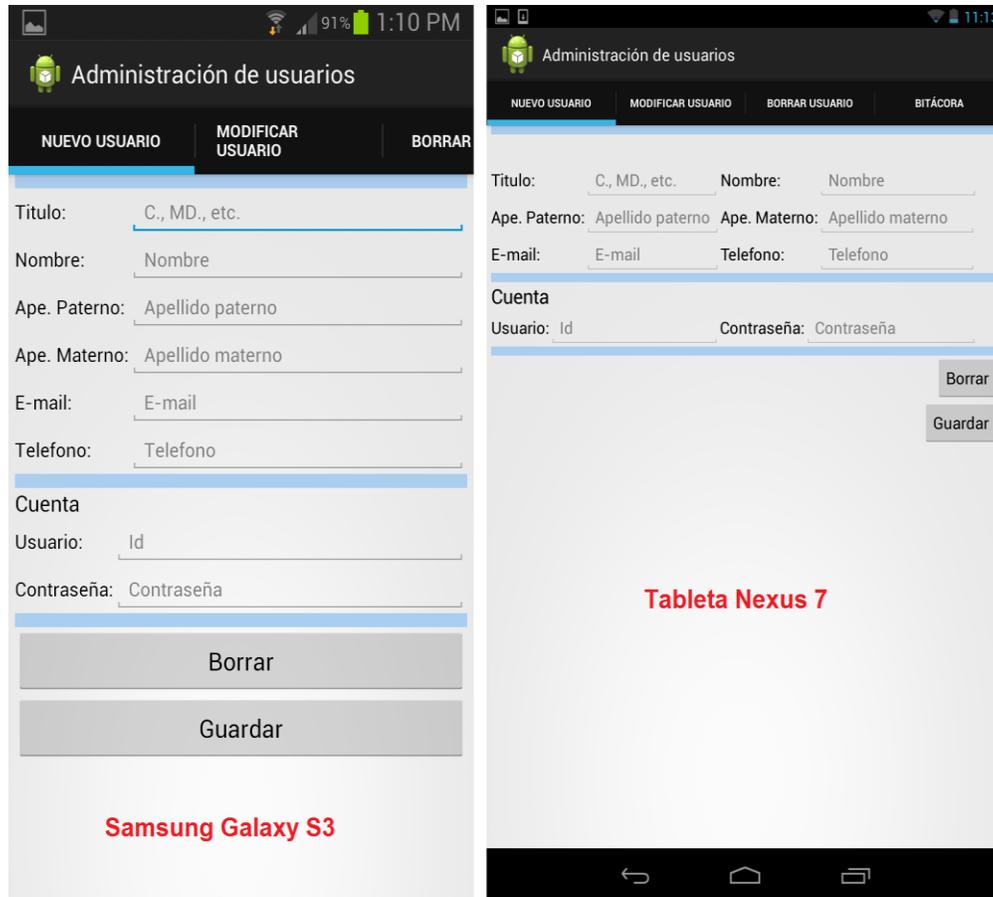
- **Dispositivos móviles:** se contaba con la Tablet Nexus 7 y el Smartphone Samsung Galaxy S3 con soporte para NFC. La elección de estos dispositivos implicó el desarrollo de dos tipos de interfaz por el tamaño de pantalla de cada dispositivo, siendo de 4.8 pulgadas para el Smartphone (Samsung Electronics Co.,LTD., 2013) y 7 pulgadas para la Tablet (Google, 2013).
- **Sistema operativo:** Se utilizó el sistema operativo Android a partir de la versión 4.0, esto porque los dispositivos móviles elegidos trabajan con estas versiones y además porque es uno de los sistemas operativos para dispositivos móviles más populares actualmente (Google, 2013).
- **Tag NFC:** el tag NFC elegido fue el Mifare Classic de 1Kb debido a que fue el tipo de tag disponible al momento de comenzar con el desarrollo de la aplicación.
- **Usuarios:** Para el desarrollo de la interfaz se estableció la definición de dos tipos de usuarios:
  - **Administrador:** que tiene la funcionalidad de crear, modificar y borrar usuarios, además de consultar la historial de cambios a través de búsquedas.
  - **Usuario:** que tiene definidas las funciones de capturar, modificar, escanear y formatear los datos clínicos del paciente en el tag NFC.

En base a los puntos anteriores y a la plantilla obtenida del Proceso 2 se desarrolló la interfaz de la aplicación móvil. En la Figura 2 se muestra el inicio de sesión de la aplicación Emertag.



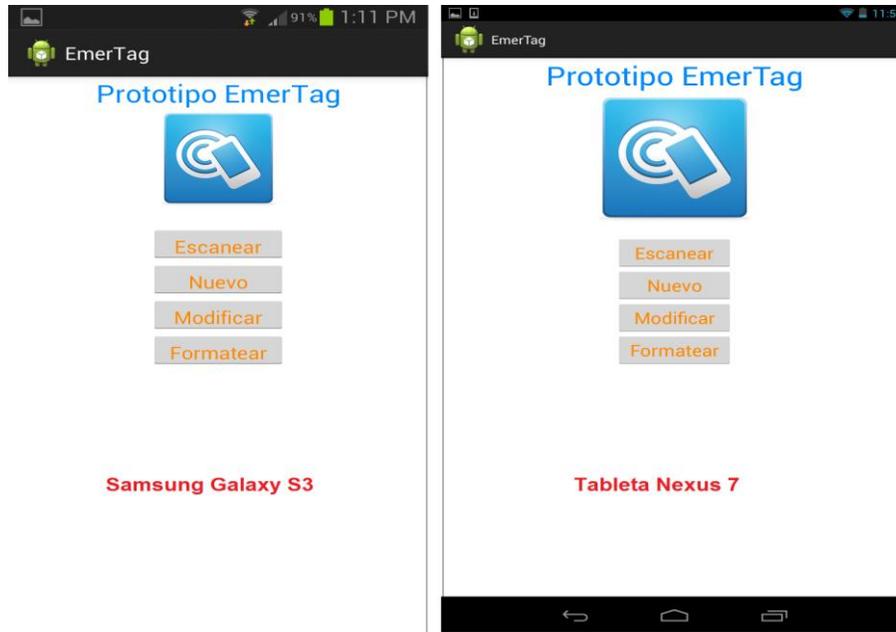
**Figura 2.** Inicio de sesión de la aplicación Emertag.

En la Figura 3 se muestra la sección del Administrado. El lector puede observar la diferencia en la disposición de los elementos por la diferencia de tamaño de los dispositivos móviles.



**Figura 3.** Interfaz del administrador para la tableta y el Smartphone.

Así mismo en la Figura 4 se puede observar la sección de Usuario. Para acceder a dicha sección es necesario que el administrador primero agregue la cuenta de los usuarios.



**Figura 4.** Interfaz del usuario para la tableta y el Smartphone.

Por último en la Figura 5 se muestra una de las cuatro funciones de un usuario (o un prestador de servicios médicos) que es la de capturar la información del paciente para después ser almacenada en un tag NFC.

**Ficha de Identificación**

NSS:  Institución:

Ape. Paterno:  Ape. Materno:

Ape. Materno:

Nombre:

Genero:  M  F

Fecha Nac.:

Teléfono:

Ocupación:

Calle:

No. Exterior:

No. Interior:

Colonia:

Estado:

**Antecedentes heredo familiares**

Escriba aquí

**Antecedentes personales patológicos**

Escriba aquí

**Antecedentes personales no patológicos**

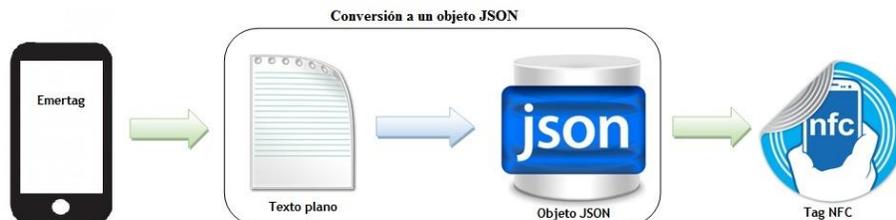
Escriba aquí

**Figura 5.** Sección de captura de la información del paciente para ambos dispositivos móviles.

## Fase 2.- Proceso 4

En esta sección se describirá la forma en que son gestionados los datos del paciente en la aplicación Emertag. Para una mejor descripción este proceso se explicará en dos partes. La primera parte consiste a partir de que se obtienen los datos hasta el momento en que son guardados en el tag NFC. La segunda parte abarca a partir del momento en que un tag es escaneado hasta que se muestra la información en el dispositivo móvil.

La primer parte se puede observar de manera gráfica en la figura 6, donde se puede apreciar que el proceso comienza con la captura de los datos de paciente. Después, se realiza la validación de la información para que a continuación se pueda realizar la conversión al formato de estructuración de datos ligeros JSON (JSON, 2012). Esto último por medio de la API ORG.JSON (JSON, 2013). Entonces al obtener un objeto JSON este se encuentra listo para ser almacenado dentro de la memoria del tag NFC.



**Figura 6.** Conversión de la información clínica a un objeto JSON.

La segunda parte consiste cuando un tag NFC es detectado y escaneado. Debido a que previamente se almaceno un objeto JSON, al leer el tag NFC se espera este tipo de objeto, el cual después de ser validado es traducido a un documento XML equivalente. Después de obtener dicho documento XML se obtiene la información clínica del paciente la cual es combinada con la plantilla obtenida del Proceso 1. Al final de los pasos mencionados anteriormente se obtiene un documento clínico electrónico el cual se encuentra listo para ser desplegado en el dispositivo móvil. Lo anterior se puede observar de manera gráfica en la Figura 7.



**Figura 7.** Conversión del objeto JSON a un documento clínico HL7 CDA V2.

## Fase 2.- Proceso 5

El Proceso 5 básicamente está relacionado a la forma en que son escritos y recuperados los datos clínicos. Como ya se mencionó anteriormente la aplicación Emertag aloja en la memoria del tag NFC un objeto JSON. Debido a la naturaleza de la información almacenada en el tag NFC fue necesario agregar un nivel de seguridad para asegurar la integridad de la misma. Para agregar ese nivel de seguridad requerido se aprovecharon las características de los tags Mifare Classic. Estos tags incluyen mecanismos de seguridad como lo es la autenticación y la protección contra escritura.

El tag utilizado para desarrollar la aplicación Emertag fue el tag Mifare Classic de 1Kb. Por lo tanto, la memoria de este tag está dividida en 16 sectores y cada uno de ellos se divide a su vez en 4 registros de 16 bits cada uno (NXP, 2013). El primer registro de cada sector está reservado para la configuración de acceso de cada registro del sector y para almacenar las dos llaves de acceso que pueden ser usadas para la autenticación. En la Figura 8 se puede observar el banco de memoria del tag Mifare Classic de 1Kb.

Estructura de la memoria del tag Mifare Classic 1Kb																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Bloque	Sector
Llave A					Bits de acceso					Llave B					3	15	
Datos																	
Datos																	
Datos																	
Llave A					Bits de acceso					Llave B					3	14	
Datos																	
Datos																	
Datos																	
.					.					.					.	.	
.					.					.					.	.	
.					.					.					.	.	
.					.					.					.	.	
Llave A					Bits de acceso					Llave B					3	0	
Datos																	
Datos																	
Datos de fabrica (Bloque protegido contra escritura)																	

**Figura 8.** Banco de memoria del tag Mifare Classic de 1Kb (NXP, 2013).

Para poder realizar cualquier acción (leer o escribir datos principalmente) es necesario primero realizar la autenticación en el sector deseado. Para ello el dispositivo móvil o lector debe conocer el valor de cualquiera de las dos llaves (A o B). Los tag Mifare Classic desde su fabricación son configurados con el valor de ambas llaves con el valor por defecto (FFFFFF) y con todos los permisos.

Entonces la aplicación móvil Emertag cambia los permisos estableciendo que solo se permita la autenticación por medio de una llave y el valor de dicha llave es cambiado por la aplicación. De esta forma se garantiza que los datos contenidos en el tag NFC solo puedan ser accedidos por la aplicación Emertag.

### 3. Resultados

La metodología presentada en este artículo tiene como resultado final una aplicación móvil que permite el manejo de información clínica con apego a la NOM-168 y con ayuda de la tecnología NFC. Es por ello que se optó por evaluar la funcionalidad de la aplicación Emertag y para ello la evaluación se realizó en base al estándar IEEE-829-1998 (IEEE, 1998).

La evaluación de la funcionalidad de la aplicación se realizó en tres etapas:

- **Desarrollo de un plan de pruebas:** el cual define entre otras cosas: las características a evaluar, los requisitos mínimos para realizar los casos de estudio (pruebas), los criterios de éxito y fracaso, el formato de los casos de estudio, etc.
- **Ejecución del plan de pruebas:** con lo que se obtuvieron observaciones y correcciones con respecto a la funcionalidad de la aplicación móvil.
- **Depuración de errores:** en esta etapa se realizó la depuración de los errores encontrados y se tomaron en cuenta las observaciones para mejorar la aplicación Emertag.

Las características de funcionalidad evaluadas de la aplicación Emertag se dividieron en tres categorías: administrador, usuario y características adicionales. A continuación se describen cada una de las categorías

Administrador:

1. **Inicio de sesión:** el administrador debe ser capaz de iniciar sesión con el usuario y contraseña por defecto.
2. **Alta de usuarios:** se probó la agregación de nuevos usuarios (datos personales y de cuenta) por parte del administrador.
3. **Modificación de usuarios:** la aplicación debe permitir modificar los datos personales y de cuenta de usuarios existentes.
4. **Baja de usuarios:** el administrador debe ser capaz de dar de baja las cuentas de los usuarios inactivos.
5. **Consulta de la bitácora:** consiste en permitir consultar la bitácora de cambios de los usuarios por NSS o por nombre del paciente.

Usuario:

1. **Inicio de sesión:** los usuarios debidamente registrados deben poder iniciar sesión en la aplicación Emertag.
2. **Aplicación del formato personalizado:** debe aplicar el formato personalizado a un tag Mifare Classic 1Kb.
3. **Captura de la información clínica:** los usuarios deben poder capturar la información clínica de algún paciente.

4. **Modificación de la información clínica:** debe permitir la modificación de los datos de un paciente contenidos en un tag.
5. **Despliegue de la información clínica:** debe mostrar la información almacenada en un tag Mifare Classic 1Kb.

Características adicionales:

1. **Seguridad de los datos de los pacientes:** los datos almacenados por la aplicación no deben ser accedidos por alguna otra aplicación.

Debido que son once las características evaluadas, se realizaron once casos de prueba durante la implementación del plan de pruebas. Sólo dos casos de prueba no fueron aprobados los cuales fueron corregidos durante la depuración de errores.

## 4. Discusión

La importancia de que las personas puedan llevar consigo información clínica y que esta pueda ser accedida por medio de un dispositivo móvil tiene sus ventajas. Por mencionar algo, en circunstancias de urgencias médicas es necesario que los prestadores de servicios médicos cuenten con los datos clínicos de las personas para proporcionar una mejor atención médica, pero esto no siempre es posible debido que en ocasiones la única fuente de información es la persona la cual puede estar en una situación en la que no pueda proporcionar información.

En la sección de resultados se explicó la forma en que fue evaluada la funcionalidad de la aplicación Emertag en base al estándar IEEE-829-1992. Otra forma de evaluación de dicha aplicación sería la implementación de la misma en un entorno clínico para validar su utilidad y uso por los prestadores de servicios médicos. Esto último es una opción de desarrollo como trabajo futuro.

La información clínica contemplada en la presente propuesta está delimitada por la reducida cantidad de memoria con la que cuenta el tag NFC utilizado (solo 1Kb). El uso de dichos tags se debió a la disponibilidad de los mismos, pero cabe

mencionar que la información clínica puede ser ampliada con el uso de tags NFC de mayor capacidad de almacenamiento.

La propuesta planteada en este artículo permite el manejo de información clínica con apego a la NOM-168 utilizando un dispositivo móvil con la ayuda de la tecnología NFC. Además es una propuesta que en caso de implementarse en un entorno clínico podría mejorar la manera en que proporciona la atención médica en situaciones de urgencias médicas.

## **5. Conclusiones**

La propuesta presentada en la sección llamada Metodología cumple con el objetivo de obtener una aplicación móvil que permita el manejo de la información clínica de un paciente con apego a la NOM-168 (Gobierno Federal de México, 1999) y utilizando la tecnología NFC. Dicha propuesta se compone por dos fases: Análisis de la información y Desarrollo de la aplicación. Cada una de estas fases se encuentra dividida en procesos los cuales son secuenciales y se complementan para definir el conjunto de técnicas, métodos y procesos realizados en la misma.

En la fase de análisis de la información se tomaron como entradas la NOM-168, el estándar HL7 CDA V2 (HL7, 2004) y criterios de selección para obtener el documento clínico. Lo anterior se realizó en dos procesos secuenciales. El Proceso 1 consistió en llevar a cabo una depuración de la NOM-168 de la cual se obtuvo como resultado un conjunto acotado de información clínica. Dicha depuración de la NOM-168 consistió en el análisis y selección de las secciones de la NOM-168 que serían incluidos como parte de la información clínica de un paciente.

El Proceso 2 de la primera fase utilizó los datos seleccionados de la NOM-168 para compararlos y analizarlos en conjunto con el estándar HL7 CDA V2 para obtener un documento clínico con apego a dicho estándar. Este documento se

utilizó como una plantilla para poder presentar los datos clínicos de los pacientes en la aplicación móvil que fue nombrada como Emertag.

En la fase de desarrollo de la aplicación se mostraron los procesos y métodos que se realizaron para desarrollar la aplicación móvil Emertag. Dichos procesos comenzaron a partir del Proceso 3 (primer proceso de la fase de desarrollo) donde a partir de la plantilla obtenida de la primera fase, se utilizó como base para el desarrollo de la interfaz de usuario. Esto último debido a que la plantilla indica los campos que debieron ser incluidos tanto en la captura de la información clínica como cuando se muestra en la aplicación móvil.

En el Proceso 4 (el segundo de la fase de desarrollo) se describió el método para transformar la información capturada del paciente en formato JSON para su posterior almacenamiento en un tag NFC. Así mismo se mostró el proceso de transformación de la información del formato JSON a un documento clínico HL7 CDA V2, el cual puede ser mostrado en la aplicación móvil.

El último proceso de la fase de desarrollo (Proceso 5) consistió en aprovechar las ventajas de seguridad de los tags Mifare Classic. Esto debido a que era necesario que la información clínica de los pacientes contara con un método de seguridad para evitar el acceso no autorizado.

Como resultado de las dos fases mencionadas se obtuvo una aplicación móvil capaz de manejar la información clínica de los pacientes con apego a la NOM-168 y utilizando la tecnología NFC. Para probar la funcionalidad de la aplicación móvil se realizaron pruebas utilizando el estándar IEEE-829-1998 (IEEE, 1998).

Las pruebas realizadas fueron diseñadas para comprobar la funcionalidad de la aplicación móvil. Para las pruebas que resultaron no aprobadas se realizó una depuración de errores para corregir dichas pruebas. Adicionalmente se tomaron en cuenta las observaciones anotadas en las pruebas para mejorar el funcionamiento de la aplicación.

## Referencias bibliográficas

Gobierno Federal de México. (8 de Septiembre de 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA3-2010. Diario Oficial de la Federación.

Gobierno Federal de México. (30 de Septiembre de 1999). Norma Oficial Mexicana NOM-168-SSA1-1998, del Expediente Clínico. Diario Oficial de la Federación.

HL7. (30 de Agosto de 2004). Clinical Document Architecture Release 2.0. Recuperado el 02 de Febrero de 2013, de <http://xml.coverpages.org/CDA-20040830v3.pdf>

IEEE. (1998). IEEE Standard for Software Test . New York, NY, USA: IEEE.

IMSS. (2013). Acercando el IMSS al ciudadano. Recuperado el 03 de Junio de 2013, de [www.imss.gob.mx/SiteCollectionDocuments/migracion/instituto/normatividad/Normateca/DIDT/Normas/Apendice e4.pdf](http://www.imss.gob.mx/SiteCollectionDocuments/migracion/instituto/normatividad/Normateca/DIDT/Normas/Apendice e4.pdf)

NXP. (2013). NXP. Recuperado el 04 de Junio de 2013, de [www.nxp.com/documents/data\\_sheet/MF1S50YYX.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MF1S50YYX.pdf)

## Referencias informáticas

Google. (2013). Android. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de <http://www.android.com/>

Google. (2013). Nexus 7. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de <http://www.google.com/nexus/7/>

JSON. (2013). API ORG.JSON. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de <http://www.json.org/java/index.html>

JSON. (2012). Introducción a JSON. Recuperado el 04 de Diciembre de 2012, de <http://www.json.org/json-es.html>

LOINC. (2013). Logical Observation Identifiers Names and Codes. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de <http://loinc.org/>

Samsung Electronics Co.,LTD. (2013). Samsung GALAXY S3. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de <http://www.samsung.com/global/galaxys3/>

## Notas biográficas:



**Salvador Escorcía García.** Licenciado en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el 2010 por el Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos. Maestro en Ciencias de la Computación en 2013 por el Centro Nacional De Investigación y Desarrollo Tecnológico. Áreas de interés: Android, NFC, Web Services y Tecnologías de Auto-identificación.



**Máximo López Sánchez.** Ingeniero Industrial en 1975 por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Maestro en Ciencias, en Ciencias computacionales en 1994 por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico y Doctor en Computación en el 2004 por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Profesor Investigador del Departamento de Ciencias Computacionales del CENIDET en el área de Ingeniería de Software. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias Computacionales. Miembro del comité técnico del Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Computacionales. Áreas de interés: Modelado de Sistemas de Software, Sistemas de Tiempo Real.



**Juan G., González.** Ingeniero en Sistemas Computacionales en 1992 por el Instituto Tecnológico de Acapulco, México. Maestro en Ciencias Computacionales en 1994 por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Doctor en Ciencias Computacionales. Centro de Investigación en Computación por el Instituto Politécnico Nacional en el año 2006. Profesor Investigador del Departamento de Ciencias Computacionales del CENIDET en el área de Sistemas Distribuidos. Investigador Nacional Nivel I (SNI I) Miembro del Sistema Estatal de Investigador Morelos (SEI). Líder del cuerpo académico de tecnologías Web. Áreas de Interés Servicios Basados en Localización (LBS), Sistemas de recomendación contextual semánticos sensibles al contexto (CARS), Realidad Aumentada. Tecnologías WiFi, Bluetooth, RFID, NFC y QRcodes.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Los Triángulos de Delaunay como Procesamiento Previo para Extractores Difusos

Manuel Ramírez Flores

Instituto Politécnico Nacional  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Unidad Culhuacán  
[manuel300688@gmail.com](mailto:manuel300688@gmail.com)

Gina Gallegos Garcia

Instituto Politécnico Nacional  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Unidad Culhuacán  
[ggallegosg@ipn.mx](mailto:ggallegosg@ipn.mx)

Gualberto Aguilar Torres

Instituto Politécnico Nacional  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Unidad Culhuacán  
[gaguilar@ipn.mx](mailto:gaguilar@ipn.mx)

Miguel Angel Garcia Licona

Instituto Politécnico Nacional  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Unidad Culhuacán  
[ma52gl@yahoo.com.mx](mailto:ma52gl@yahoo.com.mx)

**Resumen:** La información biométrica que se extrae de las huellas dactilares tiende a ser diferente en cada adquisición, dada la incertidumbre existente en las mediciones y la presencia de ruido en las muestras, lo cual puede ocasionar que las palabras código generadas dentro de un extractor difuso posean un número de errores tal que rebase la capacidad de corrección de la codificación. Como consecuencia se tiene que lo anterior puede ocasionar que las huellas dactilares de una misma persona sean catalogadas como no coincidentes en su verificación o bien, que huellas de individuos diferentes parezcan demasiado similares.

Para mitigar los efectos antes mencionados y sobrepasar las dificultades del pre-alineamiento de huellas dactilares, se propuso el uso de triángulos de Delaunay, lo cual permite proveer de estabilidad estructural local a la representación espacial de la información biométrica. En esa propuesta, las minucias de la huella son utilizadas como vértices de las triangulaciones y la red formada por éstas es tolerante a distorsiones, rotaciones y traslaciones. Sin embargo, en dicha propuesta se considera a la dispersión de minucias de huellas dactilares como no degenerativa y por tanto no se mencionan los umbrales o criterios necesarios para la formación de dichas triangulaciones, lo cual repercute en el desempeño de los extractores difusos. Con base en ello, este artículo presenta los resultados obtenidos al probar la formación de triangulaciones de Delaunay en imágenes de huella dactilar, en donde se aplican umbrales y criterios geométricos para luego contabilizar los triángulos coincidentes entre las estructuras formadas y definir los umbrales que maximicen dichas coincidencias.

**Palabras clave:** Extractores Difusos, Huella Dactilar, Triángulos de Delaunay.

## **Delaunay Triangles as preprocessing for Fuzzy Extractors**

**Abstract:** The biometric extracted data from fingerprints tends to be different in each acquisition due to uncertainty in measurements and the noise in samples, which can cause that codewords, generated by fuzzy extractors, may have a number of errors that surpasses codification error-correcting capacity. As a consequence, the foregoing could cause that the fingerprints from same person would be classified as “mismatched”, while fingerprints from different people would be classified as “mismatched”.

To mitigate the effects mentioned before and surpass the difficulties of fingerprint's pre-alignment, the Delaunay Triangles were proposed to provide local structural stability to spacial representation of biometric data. In that approach, the fingerprint's minutiae are used as the triangles's vertexes, and the

formed net is tolerant to distortions, rotations and translations. However, in that approach, the fingerprint's minutiae dispersion is considered as non degenerative and because of that, neither thresholds nor specific criteria for triangulations are established. This has repercussions in the fuzzy extractors' performance and because of that, in this article it is shown the obtained results after testing Delaunay triangulation's formations with fingerprints using geometric thresholds and criteria, Finally, the matched triangles are counted and the final thresholds are set to guarantee maximum matching.

**Keywords:** Fuzzy Extractors, Fingerprint, Delaunay Triangles.

# 1. Introducción

Los extractores difusos propuestos por Dodis, Reyzin, y Smith (2004), con la finalidad de derivar llaves criptográficas a partir de datos biométricos de forma segura. Para ello se utilizan 2 primitivas: extractor difuso y bosquejo seguro. El primero, parte de una entrada biométrica, para extraer una variable  $R$ , probabilísticamente casi uniforme, siendo esta extracción tolerante a errores. Por su parte, el bosquejo seguro produce información pública a partir de una entrada biométrica, sin revelar información de la misma. A la vez permite recuperar los valores de ésta, utilizando una segunda muestra biométrica.

Las huellas dactilares como ejemplo de entradas biométricas, tienden ser diferentes en cada captura cuando son de una misma persona, y las huellas de diferentes personas, pueden ser en cierto punto similares. Estas situaciones se presentan debido a la incertidumbre y variabilidad en las adquisiciones de datos biométricos, aunado al ruido inherente presente en estos procesos.

Para mitigar estos efectos y sobrepasar las dificultades del pre-alineamiento de huellas dactilares, se propuso el uso de triángulos de Delaunay, con lo que se logró proveer de estabilidad estructural local a los datos biométricos extraídos de huellas dactilares. (Wencheng, Jiankun, Song, 2012). En esa propuesta, las minucias de la huella son utilizadas como vértices de las triangulaciones y la red formada por éstas es tolerante a distorsiones, rotaciones y traslaciones. Sin

embargo, en ese esquema no se consideran umbrales ni criterios para la formación de triangulaciones por lo que las discrepancias entre palabras código generadas dentro de las operaciones de un extractor difuso son mayores y pudieran no eliminarse por los códigos correctores de errores que estos contienen.

Con base en ello, en este artículo se presentan los umbrales y criterios adecuados que impacten positivamente en la tarea de reconocimiento de patrones entre huellas dactilares al utilizar Triángulos de Delaunay para caracterizar las minucias.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: En la Sección Biometría de Huella Dactilar, se enlistan las ventajas y desventajas del uso de datos biométricos de huella dactilar en procesos de autenticación. En la Sección Procesamiento de Huellas Dactilares, se habla sobre algunos algoritmos para procesar los datos biométricos extraídos y caracterizar las huellas dactilares. Posteriormente, en la Sección de Esquemas para el Tratamiento de Información sobre Huellas dactilares, se describen algunas propuestas hechas hasta el momento para organizar y utilizar información de huellas dactilares en procesos de autenticación.

En la Sección Triángulos de Delaunay, se establecen los principios teóricos y los algoritmos de implementación con los cuales es posible manipular información biométrica de huellas dactilares para mejorar el desempeño de las tareas de autenticación. Posteriormente, en la Sección Uso de triángulos de Delaunay en Extractores Difusos, se presenta un caso de práctico del esquema propuesto. Después, se presentan y discuten los resultados de las pruebas realizadas. Finalmente, se puntualizan las conclusiones del trabajo realizado.

## 2. Biometría de huella dactilar

Un sistema biométrico utilizado para autenticar, se puede definir como un sistema de reconocimiento de patrones que verifica la validez de una característica psicológica, fisiológica o de comportamiento de una persona. El sistema biométrico puede utilizar un algoritmo de verificación o identificación en su implementación, de ahí que un algoritmo de verificación busca autenticar la identidad de una persona, comparando la característica biométrica con la plantilla, de su biométrico, previamente almacenada (Maltoni, Maio, Jain, Prabhakar, 2005).

Las propiedades que debe tener cualquier característica psicológica, de comportamiento o física, para utilizarse como identificador biométrico son:

**Universalidad:** Todo individuo debe poseer una o más características biométricas.

**Distintiva:** Cualesquiera dos personas deben ser suficientemente diferentes en términos de un identificador biométrico.

**Permanencia:** El identificador biométrico debe ser suficientemente invariante con respecto al criterio de comparación, sobre un período de tiempo.

**Cobrabilidad:** La característica biométrica debe poder medirse cuantitativamente.

**Aceptabilidad:** Límite hasta el cual los individuos están dispuestos a aceptar la medición del identificador biométrico (Maltoni, et al, 2005).

La huella dactilar es un identificador biométrico que todos los humanos poseen con excepción de aquellos que presentan mutilaciones en sus manos o dedos. Además son distinguibles, sus detalles son permanentes aún y cuando pueden presentar variaciones y ligeros cambios con el tiempo debido a cortadas o golpes en la piel por las condiciones ambientales.

Los sensores utilizados para la toma de muestras de huellas dactilares eliminan el problema de segmentación entre el fondo y la huella y capturan imágenes con

altas resoluciones. Adicionalmente, las nuevas tecnologías han permitido la miniaturización de estos dispositivos.

Sin embargo, a pesar de todas las bondades que ofrece un identificador biométrico como la huella dactilar, siguen estando presentes una serie de problemas inherentes a las mediciones biométricas, entre los que destacan:

- El ruido en las mediciones biométricas.
- El hecho de que si los datos biométricos de alguien son comprometidos, no pueden ser reemplazados fácilmente, lo cual implica la pérdida de identidad de un usuario ante los sistemas de información.
- La dificultad de construir un registro de huellas dactilares debido a las rotaciones, desplazamientos y variaciones de presión u otro tipo de distorsiones que pueden tenerse en las muestras utilizadas como plantillas biométricas.
- Otro grave problema es el hecho de que los datos biométricos proveen singularidad pero no secrecía, por lo que deben ser resguardados y protegidos de posibles ataques de robo de información.

Debido a lo anterior, se han estudiado y propuesto nuevos esquemas, que buscan minimizar las variaciones en las mediciones.

### **3. Procesamiento de huellas dactilares**

Una huella dactilar se compone de dos elementos denominados crestas y valles que conforman su relieve. Una cresta tiene una anchura promedio de 100 a 300  $\mu\text{m}$ . A nivel global, una huella dactilar posee alrededor de 150 crestas diferentes y no están uniformemente distribuidas. Las diferentes formas o estructuras que se forman por la unión de crestas, se denominan minucias (Maltoni, et al, 2005).

Las minucias más comunes son: las terminaciones de crestas y las bifurcaciones de crestas. Una bifurcación de cresta es donde hay una separación o divergencia en ramificaciones de crestas. Ejemplos de otros tipos de minucias son: ciclos, deltas, espirales e islas, por mencionar algunas.

Algunos de estos tipos de minucias son utilizadas para alinear las imágenes de huella dactilar y encontrar el centro de la misma (Maltoni, et al, 2005).

## 4. Esquemas para el tratamiento de información sobre huellas dactilares

Algunos de los pre-procesamientos que se han realizado a datos biométricos como una etapa previa en el uso de extractores difusos y bóveda difusa son: transformaciones seguras para cancelabilidad en bóvedas difusas, caracterización de minucias para una bóveda difusa cifrada y Extractores difusos en la práctica, propuesta con base en FingerCodes.

En la primera propuesta, se utiliza un filtro de Gabor para la extracción de características, se genera un vector de 384 posiciones con la información obtenida. Los valores son normalizados en un rango de 0 a 255 para su uso en la bóveda difusa. Posteriormente, dicho vector convierte en una matriz de  $15 \times 17$  y se convoluciona con una señal aleatoria de tamaño  $10 \times 10$  para evitar que los datos biométricos sean comprometidos fácilmente (Nagar, Chaudhury, 2006).

Una segunda propuesta se basa en la representación de minucias mediante 3 datos: coordenadas espaciales  $x$  y  $y$ , así como la orientación de la minucia  $\theta$ . En este caso, la tripleta con estos datos forma parte de la bóveda segura que posteriormente se cifra para proteger los datos biométricos (Feng, Fei, Anni, 2009).

En trabajos similares a la propuesta anterior, esta tripleta, que se extrae por medio de un análisis de frecuencias y orientación de crestas, se combina con un secreto personal del usuario (contraseña) para posteriormente aplicarle una función hash, de esta manera se obtienen los valores de entrada para la bóveda difusa (Je-Gyeong, Jong-Won, Hyung-Woo, 2007)

En una tercera propuesta, los criptosistemas generadores de claves que utilizan el esquema de compromiso difuso o *fuzzy commitment*, y procesan la

información biométrica mediante las siguientes operaciones: mejoramiento de huella, detección de centro, recortado, extracción de características de textura incluyendo FingerCodes, patrones locales binarios, y patrones locales de dirección. Posteriormente se procede a una discretización biométrica y fusión de bits confiables.

La generación de los FingerCodes requiere un punto de referencia en la huella (centro). Después de esta localización del centro, una región circular de interés es definida y se divide en bandas concéntricas cada una de las cuales está conformada por sectores. Dependiendo de la resolución de la imagen el número de bandas, su anchura, número de sectores que contiene y radio interior variarán.

La información extraída y analizada en estas regiones de la huella dactilar, mediante filtros de Gabor, es referente a orientaciones locales y frecuencias en la textura de la imagen. Para ello, se requieren 8 diferentes orientaciones sobre las cuales hacer el análisis. También es necesario calcular la desviación absoluta de los grises en los sectores de las imágenes filtradas (Imamverdiyev, Jin Teoh, Kim, 2012).

Adicionalmente se extraen patrones locales binarios que resultan invariantes ante niveles monótonos de grises. Estos patrones permiten la detección de orillas, finales de línea, esquinas, puntos y áreas planas. Finalmente, se calculan patrones locales de dirección que a diferencia de los anteriores si son tolerantes a ruido aleatorio e iluminaciones no monótonas (Imamverdiyev, et al, 2012).

En una cuarta y última propuesta, se utilizan FingerCodes, un extractor difuso, una función de bosquejo seguro y un polinomio cuyos coeficientes funcionan como secreto para formar un esquema de compromiso difuso modificado (Tong, Sibert, Lecœur, Girault, 2007).

Un FingerCode es un vector de 640 componentes, el cual para ser formado, requiere de la localización del centro morfológico de la huella dactilar. Para

calcular el centro de la huella dactilar, se hace una estimación de la orientación de campo de los bloques de la imagen. Posteriormente se extrae una región circular de interés alrededor del centro de la huella y se definen 5 bandas concéntricas y 16 porciones angulares, lo que genera 80 sectores (Tong, et al, 2007).

Con la propuesta anterior, se eliminan los problemas de rotación y traslación en la huella, mientras que los problemas de cambios de presión se solventan con una normalización de la imagen en términos de promedio y varianza. Finalmente las crestas y valles de la huella se caracterizan por su frecuencia local y orientación, la cual es obtenida utilizando filtros de Gabor y analizando los datos sector a sector (Tong, et al, 2007).

En todas las propuestas antes mencionadas si bien existe un tratamiento de la información biométrica de huella como procesamiento previo al uso de extractores difusos, ninguna propuesta resulta del todo robusta. En general, o se confía en la precisión de las adquisiciones biométricas o en la precisión de algoritmos para ubicar características como el centro de una huella dactilar, lo cual requiere cierto procesamiento computacional y no siempre es exacto.

Ante tal situación, en este artículo se retoma la propuesta hecha por Wencheng, et al. (2012), donde se utiliza la geometría computacional para caracterizar las huellas dactilares mediante triangulaciones y eliminar así problemas de distorsiones, rotaciones o traslaciones en las huellas dactilares.

## **5. Triángulos de Delaunay**

Dentro de la geometría computacional, se lleva a cabo el estudio de la formación de triangulaciones sobre un conjunto de puntos  $P$  en un plano, el cual se define como una subdivisión plana máxima cuyos vértices son  $P$ .

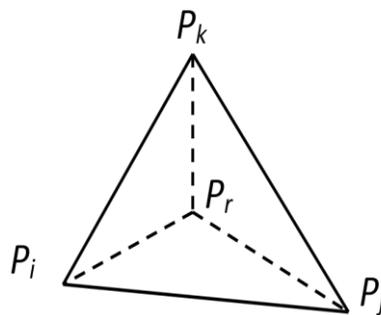
Bajo las condiciones antes establecidas, si se tiene un conjunto de puntos  $P$  en un plano y estos forman una triangulación  $T$ ,  $T$  será una triangulación de

Delaunay de  $P$  si y sólo si la circunferencia circunscrita de cualquier triángulo de  $T$  no contiene un punto de  $P$  en su interior. Por otro lado, cualquier triangulación de Delaunay maximiza el ángulo mínimo sobre todas las triangulaciones de  $P$ .

El procedimiento para calcular un diagrama de Delaunay, es el siguiente: Se selecciona el punto lexicográficamente más elevado  $p_0$  en el conjunto  $P$ , esto es aquél con la coordenada  $x$  y  $y$  más grandes. Después se definen dos puntos  $p_{-1}$  y  $p_{-2}$  en el plano cartesiano lo suficientemente alejados tal que el conjunto  $P$  esté contenido en el triángulo formado por  $p_0 p_{-1} p_{-2}$

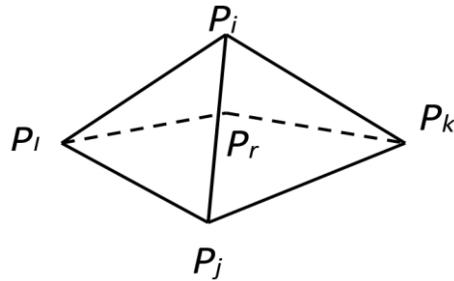
Para cada uno de los puntos en el conjunto  $P$ , se ejecutan las siguientes operaciones:

- Se encuentra el triángulo  $p_i p_j p_k$  que contiene al punto a insertar  $p_r$ .
- Si  $p_r$ , cae en el interior del triángulo  $p_i p_j p_k$ , se agregan las aristas desde  $p_r$  a los vértices de este triángulo, generando 3 triángulos nuevos como se puede ver en la Figura 1.
- Luego, se corrigen las aristas que generaron triangulaciones que no cumplen con las características de un triángulo de Delaunay.



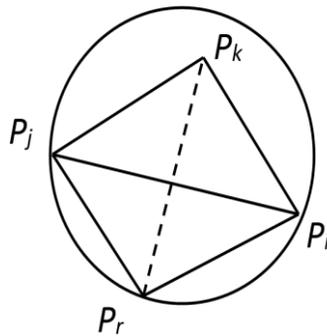
**Figura 1.** Inserción de punto al interior de un triángulo.

- Si el punto  $p_r$  cae sobre una arista del triángulo  $p_i p_j p_k$ , se agregan aristas hacia los vértices no unidos y se dividen los 2 triángulos existentes en 4 nuevos, tal y como se aprecia en la Figura 2.



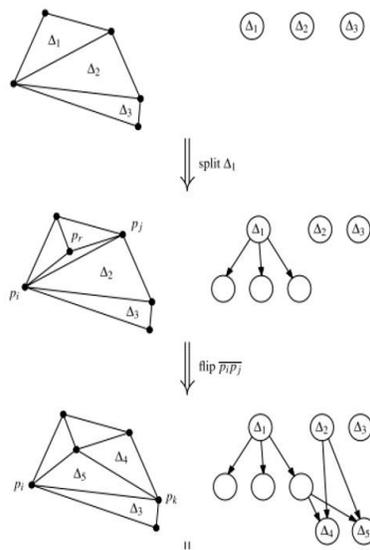
**Figura 2.** Inserción de punto sobre arista de un triángulo.

- Posteriormente, se corrigen las aristas de las triangulaciones generadas.
- Al final se descartan los puntos  $p_{-1}$  y  $p_{-2}$  con todas las aristas incidentes de la red de triángulos.
- El procedimiento para corregir las aristas que no cumplen con las características de los triángulos de Delaunay, es el siguiente:
- Una vez insertado el punto  $p_r$ , si una arista  $p_i p_j$  resulta ilegal, entonces para el triángulo  $p_i p_j p_k$  y su triángulo adyacente  $p_r p_i p_j$  a lo largo de  $p_i p_j$ , se reemplaza la arista  $p_i p_j$  por la arista  $p_r p_k$  tal y como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Corrección de aristas ilegales.

- Posteriormente, se ejecuta el mismo procedimiento anterior para las aristas del nuevo triángulo formado. Es decir, para los segmentos  $p_i p_k$  y  $p_k p_j$ .



**Figura 4.** Grafo acíclico dirigido para inserción de puntos.

Todos los procedimientos antes descritos se realizan, asumiendo que se conoce el triángulo que contiene el punto  $p_r$  a insertar. El procedimiento para conocer dicha triangulación es el siguiente:

- Se requiere construir una estructura de localización de puntos, la cual es un grafo dirigido acíclico.
- Los nodos de la estructura corresponden a los triángulos dentro de la triangulación  $T$ , y se deben mantener apuntadores cruzados entre esas hojas y la triangulación. Los nodos internos en la estructura corresponden a triángulos que estuvieron presentes en la estructura en etapas tempranas del diagrama pero que ya fueron eliminados.
- La inicialización de la estructura comienza con el grafo dirigido acíclico con un simple nodo que corresponde al triángulo  $p_0 p_{-1} p_{-2}$ . Algunos ejemplos de operaciones sobre esta estructura se observan en la Figura 4.

Una vez definidos los algoritmos y estructuras necesarios para la creación de los Triángulos de Delaunay, se presenta un caso de estudio en donde se emplean

estas triangulaciones para caracterizar imágenes de huellas dactilares con presencia de ruido y variaciones por traslación y rotación de minucias.

## 6. Uso de triángulos de Delaunay con extractores difusos

En el trabajo realizado por Wencheng, et al. (2012), se propuso utilizar un extractor difuso libre de registro, además del uso de triángulos de Delaunay, que pudieran mitigar la incertidumbre biométrica, lo que permitió eliminar el proceso de pre-alineamiento en la autenticación de huellas dactilares, lo cual se consigue dado que a partir de un conjunto de minucias  $M$ , los triángulos de Delaunay particionan en pequeñas áreas, toda la región de una huella dactilar y presentan las estructuras vecinas de minucias más cercanas de una manera precisa.

Algunas de las características especiales que ofrecen los triángulos de Delaunay son:

- Presentan buena estabilidad local ante distorsiones elásticas de las imágenes.
- La inserción de puntos nuevos solo afecta a los triángulos que contienen esos nuevos puntos en todo el diagrama, por lo que se conserva estabilidad estructural bajo perturbaciones aleatorias de posiciones.
- Las triangulaciones de Delaunay son únicas si la dispersión de puntos es única (minucias).

Para caracterizar cada vértice de los triángulos de Delaunay, se toma la información biométrica de huella dactilar referente a coordenadas espaciales de las minucias, orientación de las crestas asociadas a la minucia y el tipo de minucia de la que se trata.

Con la información antes mencionada se procede a caracterizar cada arista de los triángulos de Delaunay, calculando la siguiente información de los vértices que la conforman: Distancia euclidiana  $d_{12}$  en la Ecuación (1), diferencia de

ángulo entre las orientación de cresta de una minucia y la arista calculada  $a_{12}$  en la Ecuación (2), la diferencia de orientaciones de cresta de los vértices que componen la arista  $\beta_{12}$ , expresado en la Ecuación (3), y la concatenación de los tipos de minucia que conforman la arista  $t_{12}$  definida en la Ecuación (4) (Wencheng, et al., 2012).

Las ecuaciones que definen los cálculos antes detallados son:

$$d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

$$a_{12} = \tan^{-1} \left( \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) - \theta_1 \quad (2)$$

$$\beta_{12} = \min (|\theta_1 - \theta_2|, 2\pi - |\theta_1 - \theta_2|) \quad (3)$$

$$t_{12} = t_1 \oplus t_2 \quad (4)$$

Con esta información, se puede conformar el vector  $V_{12}$ , como se aprecia en la Ecuación (5), que junto a otros dos, puede caracterizar los 3 vértices de un triángulo en la gráfica de Delaunay lo cual es denotado mediante un nuevo vector  $LF$  expresado en la Ecuación (6).

$$V_{12} = (d_{12}, a_{12}, \beta_{12}, t_{12}) \quad (5)$$

$$LF = (V_{ij}, V_{jk}, V_{ik}) \quad (6)$$

Una vez que se obtienen los vectores característicos de la huella dactilar mediante el uso de Triángulos de Delaunay, se procede a introducir la

información a una etapa de codificación en el extractor difuso, específicamente, a la función de bosquejo seguro  $SS$ , que trabaja sobre una métrica de Diferencia establecida con el algoritmo de Pinsketch (Dodis, et al. 2004). El valor obtenido  $SS(LF_i^n)$ , junto con el valor hash  $H(LF_i^n)$  que se obtiene al generar el valor hash de los vectores característicos, se almacenan para una decodificación futura.

En la etapa de decodificación, con una segunda muestra biométrica se calculan un segundo conjunto de vectores  $LF_i^m = (V'_{ij}, V'_{jk}, V'_{ik})$ . Estos vectores son comparados con su versión asegurada  $SS(LF_i)$ , utilizando el procedimiento de recuperación  $REC$  del algoritmo de Pinsketch.

Si la diferencia es menor a un umbral  $t$ ,  $dis(LF'_i, LF_i) \leq t$ , se realiza una corrección de errores en los vectores. Después se aplica la misma función hash al vector corregido y se comparan los valores de  $H(LF_i^n)$  y  $H(LF_i^m)$ . En caso de ser los mismos, para un cierto número de vectores  $LF$ , según un umbral previamente establecido, se verifica la identidad del usuario (Wencheng, et al. 2012).

La propuesta anterior considera que para el uso de los Triángulos de Delaunay se debe contar con una dispersión de puntos no degenerativa. Es decir, que el conjunto de minucias de una huella dactilar no cambia entre una muestra y otra, por lo que puede construirse la misma red de triangulaciones en cada adquisición.

Esta última condición difícilmente se cumple en su totalidad en un escenario con adquisiciones en vivo, por lo que es necesario evaluar la viabilidad del esquema y plantear bajo qué condiciones o umbrales se puede considerar que la dispersión de minucias es constante. Dicha evaluación se presenta a continuación.

## 7. Pruebas y Resultados

Las pruebas que se realizaron para evaluar la viabilidad del uso de Triángulos de Delaunay como procesamiento previo de la información biométrica de huella dactilar para extractores difusos, fueron la construcción de triangulaciones sobre imágenes de huella dactilar de alta calidad e imágenes extraídas en vivo. En cada una se utilizó una de las imágenes para extraer las triangulaciones que conformarían la plantilla biométrica de un conjunto de 5 muestras por huella dactilar.

Posteriormente se hizo un análisis comparativo entre pares de muestras biométricas, en donde se determinó si las minucias de una muestra eran coincidentes con las de la segunda, de acuerdo a un conjunto de umbrales definidos desde teclado.

Dichos umbrales se definieron con base en las siguientes mediciones: radio de probabilidad de aparición espacial de minucias, orientación o ángulo de minucias y distancia euclidiana entre las minucias que forman un triángulo de Delaunay.

La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas realizadas con imágenes obtenidas de mediciones en vivo sobre una misma huella dactilar. Se toma la imagen “vivo1” como plantilla de registro y 4 imágenes adicionales para una comparación entre el número de triangulaciones de cada muestra.

Las columnas 3 a 5 describen los umbrales configurados para las mediciones de las minucias, tomando en cuenta una imagen de dimensiones 352 x 288 pixeles. Las columnas 6 y 7 indican el número de triangulaciones de Delaunay por imagen y la última columna, el porcentaje de triángulos coincidentes

img 1	img 2	dis	$\theta$	x,y	# tri1	#tri2	$\Delta$ 's =	% $\Delta$ 's iguales
vivo1	vivo2	4	3	15	26	26	2	7.692307692
vivo1	vivo3	4	3	15	26	27	8	30.18867925
vivo1	vivo4	4	3	15	26	32	0	0
vivo1	vivo5	4	3	15	26	30	10	35.71428571
vivo3	vivo4	4	3	15	27	32	10	33.89830508
vivo3	vivo5	4	3	15	27	30	10	35.0877193

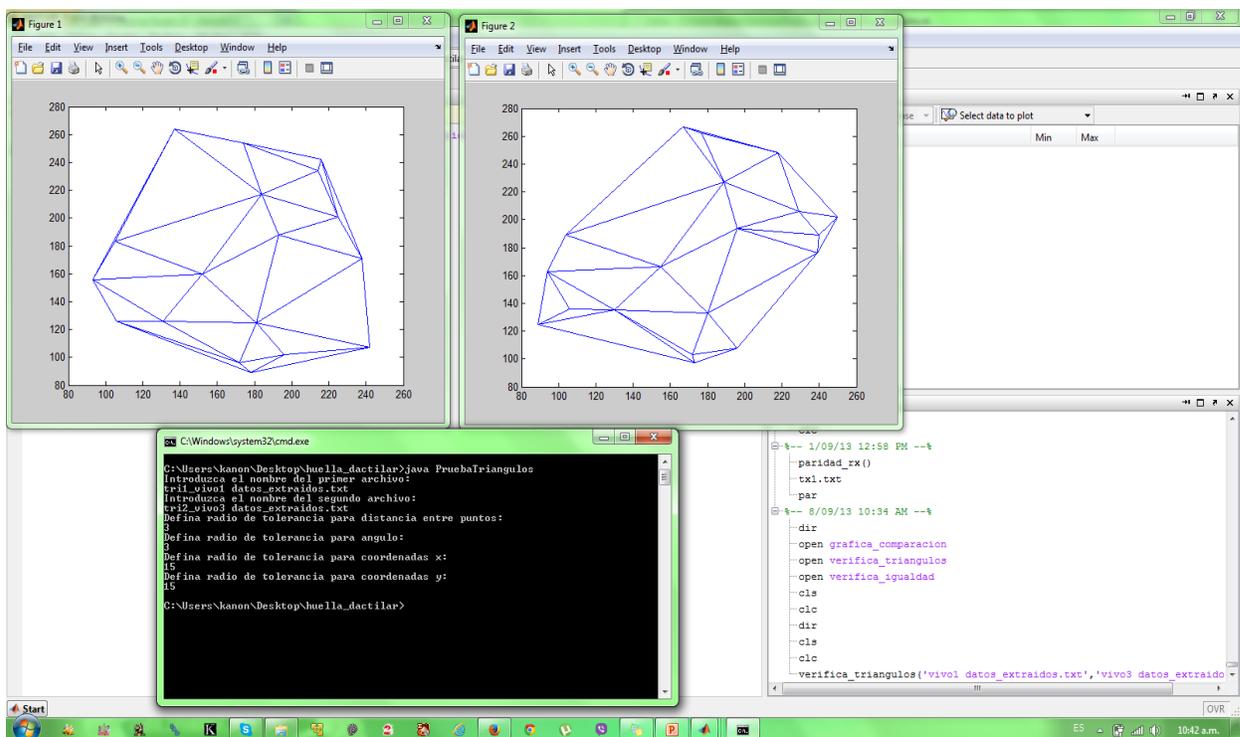
**Tabla 1.** Análisis comparativo sobre triangulaciones de Delaunay

img 1	img 2	dis	$\theta$	x,y	# tri1	#tri2	$\Delta$ 's =	% $\Delta$ 's iguales
012_3_4.JPG	012_3_5.JPG	4	3	15	72	66	13	18.84057971
012_3_4.JPG	012_3_6.JPG	4	3	15	72	67	21	30.21582734
012_3_4.JPG	012_3_7.JPG	4	3	15	72	90	5	6.172839506
012_3_4.JPG	012_3_8.JPG	4	3	15	72	94	0	0

**Tabla 2.** Análisis comparativo sobre triangulaciones para imágenes de alta calidad

img 1	img 2	dis	$\theta$	x,y	# tri1	#tri2	$\Delta$ 's =	% $\Delta$ 's iguales
vivo1	012_3_4.JPG	4	5	15	26	72	0	0

**Tabla 3.** Análisis comparativo sobre triangulaciones para huellas dactilares diferentes



**Figura 5.** Programa discriminador de triangulaciones

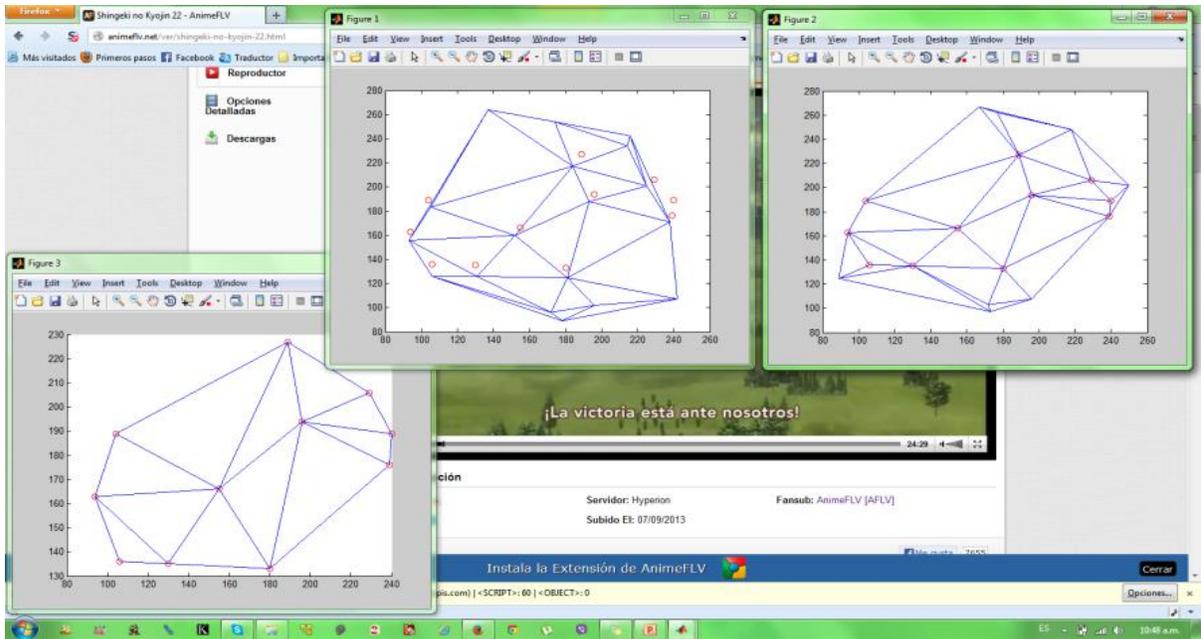


Figura 6. Comparativa visual de triangulaciones de Delaunay

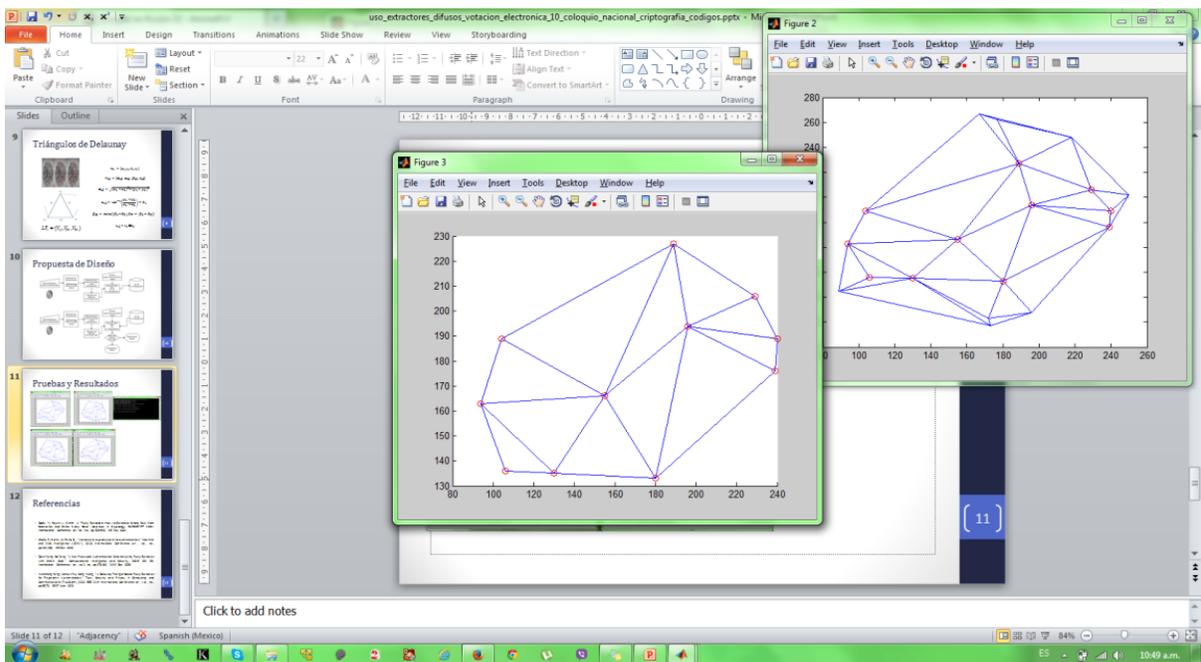


Figura 7. Sub-diagrama de triangulaciones de Delaunay coincidentes

## 8. Discusión

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los porcentajes de triangulaciones coincidentes son muy variados dependiendo de la huella utilizada y su comparación con la plantilla. Los porcentajes de coincidencia oscilan entre un 30-35% para los mejores casos e incluso llegan a un 0% para los peores.

Esto indica que las variaciones entre una muestra biométrica y otra pueden generar triangulaciones muy diferentes en cada caso, por lo que se descarta la idea de que la dispersión de minucias sea no degenerativa. Sin embargo, algunos resultados obtenidos también indican que con una corrección de errores mediante códigos lineales, se pueden mejorar estas coincidencias.

En las últimas 2 filas de la Tabla 1, se observa una comparación entre la muestra biométrica 3 con las muestras 4 y 5, esto se debe a que estas tres muestras fueron adquiridas con una diferencia de 1 día.

Por lo tanto, las condiciones de las adquisiciones con respecto a las 3 primeras muestras fueron diferentes, mientras que las condiciones de medición entre las 3 últimas mediciones fueron muy similares, de ahí que el número de triangulaciones coincidentes es mayor.

La Tabla 2 muestra los resultados de las pruebas realizadas con imágenes de huella dactilar categorizadas con calidad 1 según las recomendaciones del NIST (Tabassi, Wilson, Watson, 2004). En este caso se toma la imagen "012\_3\_4" de huella dactilar como plantilla biométrica, se extraen sus triangulaciones de Delaunay y se hace un comparativo con otras 4 muestras de la misma huella.

En la Tabla 3 se muestran los últimos resultados, de un comparativo entre 2 huellas dactilares diferentes y se observa que no hay ninguna triangulación coincidente entre las mismas, por lo que la caracterización de las minucias a través de triángulos de Delaunay, respeta la singularidad de las mismas.

En la Figura 5 se muestra una captura del programa que realiza la discriminación de las triangulaciones con base en los umbrales establecidos desde consola.

La Figura 6 muestra diagramas de Delaunay correspondientes a dos muestras de una misma huella dactilar. En cada uno de ellos se señalan las minucias coincidentes y en la Figura 7 se muestra una tercera imagen, donde se generó un sub-diagrama de triangulaciones coincidentes a partir de los dos anteriores.

## 9. Conclusiones

En este artículo, se presentaron un conjunto de criterios y consideraciones geométricas para la formación de Triángulos de Delaunay utilizados en la tarea de reconocimiento de patrones para huellas dactilares. Dichos criterios y consideraciones fueron obtenidos de un conjunto de pruebas entre huellas dactilares de una misma persona y un mismo dedo y pruebas entre huellas dactilares del mismo dedo pero que pertenecían a diferentes personas. Con ello se logró comprobar que el uso de criterios y umbrales geométricos para la formación de Triángulos de Delaunay permite caracterizar de una manera más robusta las huellas dactilares de individuos cuando la dispersión de minucias en las huellas dactilares es degenerativa.

Los criterios y umbrales para compensar la degeneración de la distribución de minucias se establecen en términos de:

- Coordenadas espaciales de las minucias que conforman los vértices de las triangulaciones.
- Orientación o ángulo de los vértices en las triangulaciones.
- Distancia euclidiana entre los vértices de las triangulaciones.

Para las coordenadas espaciales, se considera un radio de aparición de 15 píxeles a la redonda, cantidad que representa un porcentaje del 10% de las dimensiones totales de la imagen. Esta es una proporción adecuada de las distorsiones que pudieran presentarse en la imagen.

La orientación o ángulo de las minucias que conforman los vértices de un triángulo en el diagrama de Delaunay, tienen un umbral no mayor a 5 píxeles, ya que el pre procesamiento de una imagen biométrica mediante binarización, adelgazamiento de líneas, filtrado de ruido, entre otros algoritmos, presenta mínimas variaciones de ángulo en sus minucias.

Finalmente el umbral para la distancia euclidiana entre los vértices de un triángulo de Delaunay puede tener una variación de hasta 5 píxeles, debido a que si la ubicación de las coordenadas espaciales de un vértice entre 2 triangulaciones en diferentes muestras biométricas coincide, la variación es mínima y cambia con base en las coordenadas espaciales  $x$  y  $y$  que define el cálculo de distancia euclidiana.

Por último es importante señalar que la ausencia de umbrales y criterios geométricos en la formación de Triángulos de Delaunay de muestras biométricas de huella dactilar, puede derivar en la construcción de diagramas de Delaunay poco semejantes entre muestras de un mismo origen. Esta situación puede impactar negativamente en el desempeño de otros esquemas como son los extractores difusos, así como en su capacidad para extraer una cadena binaria uniformemente distribuida a partir de una entrada biométrica probabilísticamente no uniforme.

## Referencias

Dodis, Y., Reyzin, L. Smith, A. (2004). Fuzzy Extractors: How to generate Strong Keys from Biometrics and Other Noisy Data. Advances in Cryptology EUROCRYPT 2004. International Conference on Vol. No., pp. 523-540.

Feng, Q., Fei, S., Anni, C. (2009). Encrypted Fuzzy Vault Based on Fingerprint. IAS2009. Fifth International Conference on Information Assurance and Security. Vol. no. 1 pp. 137-140.

Imamverdiyev, Y., Jin Teoh, A., Kim, J. (2012). Biometric Cryptosystem Based on Discretized Fingerprint Texture Descriptors. Expert Systems with Applications. Vol. 40 no. pp. 1888-1901.

Je-Gyeong, J. Jong-Won, S., Hyung-Woo, L. (2007). Biometric Digital Signature Key Generation and Cryptography Communication Based on Fingerprint. FAW. Frontiers in Algorithmics. Vol. no. pp. 38-49.

Maltoni. D., Maio, D., Jain, A. Prabhakar, S. (2005). Handbook of Fingerprint Recognition. United States: Springer.

Nagar, A., Chaudhury, S. (2006). Biometrics based Asymmetric Cryptosystem Design Using Modified Fuzzy Vault Scheme. ICPR06, The International Conference on Pattern Recognition. Vol. 04, no. pp. 537-540.

Tabassi, E., Wilson, C., Watson, C. (2004). Fingerprint Image Quality. NISTIR 7151. pp.12.

Tong, V., Sibert, H., Lecqueur, J., Girault, M. [2007] Biometric Fuzzy Extractors Made Practical: A Proposal Based on FingerCodes. Advances in Biometrics. Lecture Notes in Computer Science. Vol. No. pp. 604-613.

Wencheng Y., Jiankun, H. Song, W. (2012). A Delaunay Triangle-Based Fuzzy Extractor for Fingerprint Authentication. Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom) IEEE 11th International Conference on. Vol. no. pp. 66-70. doi: 10.1109/TrustCom.2012.23

## Notas biográficas:

**Manuel Ramírez Flores** Recibió el título de Ingeniería en Telecomunicaciones y Sistemas Electrónicos con mención honorífica por parte del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México en el año 2010. En el 2012 cursó la especialidad en Seguridad Informática y Tecnologías de la Información en la ESIME Culhuacan. Actualmente se encuentra estudiando la maestría en Informática y Seguridad de la Información en la dicha institución. Sus áreas de interés son la Votación Electrónica, el diseño de Aplicaciones Criptográficas Seguras y la biometría.

**Gina Gallegos García** Recibió el título de Ingeniería en Computación, el Grado de Maestría y de Doctorado en Ciencias por parte de la ESIME Culhuacan en

los años 2002, 2005 y 2011 respectivamente. Durante el verano del 2011 realizó una estancia Posdoctoral de investigación en la Universidad de Yale de los Estados Unidos de América. Actualmente es Profesora de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Culhuacan y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de interés son La Votación Electrónica, el Diseño de Aplicaciones Criptográficas Seguras, los Sistemas de Información y la Criptografía.

**Gualberto Aguilar Torres** Recibió el grado de Maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica y de Doctor en Comunicaciones y Electrónica en 2004 y 2008 respectivamente, en el Instituto Politécnico Nacional. En 2005 recibió el premio a la mejor tesis de maestría por parte del IPN. Actualmente es Profesor de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Culhuacan y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Sus principales áreas de interés son procesamiento de señales, reconocimiento de patrones, redes neuronales y biometría.

**Miguel Angel Garcia Licon** Obtuvo título de Ingeniero Mecánico por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en 1973, Realizó diplomado en Didáctica de las Matemáticas en INSA Lyon Francia (2007), posteriormente alcanzó el grado de la Maestría en Administración y Desarrollo de la Educación en la Universidad Tecnológica de México (2008) y más adelante cursó el doctorado en educación por la Universidad de Alcalá alcanzando el 100% de los créditos (2010). Área de interés: desarrollo e investigación en didáctica de las matemáticas con aplicaciones a la seguridad informática.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Desarrollo de aplicaciones móviles para la enseñanza de las ciencias

Rogelio Ferreira Escutia

Departamento de sistemas y computación  
Instituto Tecnológico de Morelia  
rogelio@itmorelia.edu.mx

Misael Madrigal Torres

Departamento de sistemas y computación  
Instituto Tecnológico de Morelia  
Misaelmt@itmorelia.edu.mx

**Resumen:** El presente trabajo muestra un proyecto de desarrollo tecnológico aplicado a la enseñanza de las ciencias en los niveles superior y medio superior, mediante la implementación de aplicaciones móviles. Esto con tres objetivos claros: interesar a los alumnos por el aprendizaje; crear objetos de aprendizaje completamente diferentes a los tradicionales e integrar el conocimiento a las actividades cotidianas.

**Palabras clave:** aplicación móvil, enseñanza, aprendizaje basado en geolocalización.

## Mobile application development to teach science

**Abstract:** This paper presents a project of technological development applied to teaching science in high school and college, through the implementation of mobile applications. This project has three clear objectives: engage students in their own learning, create learning objects completely different to the regular ones and integrate knowledge to everyday activities.

**Keywords:** Mobile application, teaching, geolocalization-based learning.

# 1. Introducción

El presente trabajo muestra un proyecto de desarrollo tecnológico aplicado a la enseñanza de las ciencias en los niveles superior y medio superior, mediante la implementación de aplicaciones móviles. Esto con tres objetivos claros: interesar a los alumnos por el aprendizaje; crear objetos de aprendizaje completamente diferentes a los tradicionales e integrar el conocimiento a las actividades cotidianas.

Los cambios sociales y económicos obligan a las instituciones de educación a buscar nuevas formas de aprendizaje (Academic Conferences International, 2004). Sin lugar a dudas, los estudiantes también han cambiado en su forma de interactuar con el mundo, ahora es más fácil tener la información a la mano de lo que lo era hace apenas unos años. Los cambios más significativos son el uso de Internet, las redes sociales y los dispositivos móviles. Estos tres elementos son usados de forma cotidiana por los estudiantes, por lo que llevar la educación a estos lugares u objetos es una prioridad. Existen esfuerzos para lograrlo, pero estos están aislados y únicamente se han hecho de forma piloto (Ally, 2009).

Para lograr los objetivos se plantea la creación de una aplicación para dispositivos móviles, que utiliza el GPS del dispositivo para ubicar su posición actual, y de esta manera, buscar sitios históricos que se encuentren cerca del usuario, para desplegar en pantalla información relevante del lugar y los eventos históricos que sucedieron en ese sitio.

## 2. Base técnica

### 2.1 Internet

Internet ha sido el medio de comunicación masiva de más rápido crecimiento, superando al radio y la televisión. En el caso específico de México, hasta finales de 2012 existían 45.1 millones de usuarios conectados a la red, con un

crecimiento constante de 10% por año (AMIPCI, 2013). Esto nos indica el gran crecimiento de usuarios que día a día se agregan a la red.

## **2.2 Dispositivos móviles**

El 29 de junio de 2007, la compañía Apple lanzó en Estados Unidos la primera generación de teléfonos iPhone. A este tipo de dispositivos posteriormente se les llamaría "teléfonos inteligentes" (o más conocidos como "smartphones" en inglés), los cuales tienen una alta conectividad a Internet y tienen funciones muy similares a un minicomputador.

El surgimiento de los smartphones y su creciente reducción de precios ha llevado a su venta masiva, lo cual ha incrementado el número de usuarios móviles en la red. Según AMIPCI (Asociación Mexicana de Internet) en su estudio del año 2012, los usuarios con acceso a Internet en México que se conectan a través de teléfonos inteligentes llegó a 58% (AMIPCI, 2013), lo cual indica una clara tendencia en el uso de estos dispositivos.

## **2.3 Educación en la red**

iTunes, la tienda de aplicaciones en línea para dispositivos móviles de Apple ha tenido un gran crecimiento en los últimos años. Dentro de lo que ofrece la tienda, hay una sección educativa denominada "iTunes U". Según (Apple, 2013) *"iTunes U ofrece el mayor catálogo online de contenido didáctico gratuito del mundo, creado por importantes centros educativos, prestigiosas bibliotecas, museos y organizaciones"*. Más de 1200 universidades y colegios de todo el mundo ofrecen materiales y aplicaciones educativas con más de mil millones de descargas (Apple, 2013). Este dato nos muestra la importancia y el uso de las aplicaciones educativas en dispositivos móviles.

### 3. Aplicación propuesta

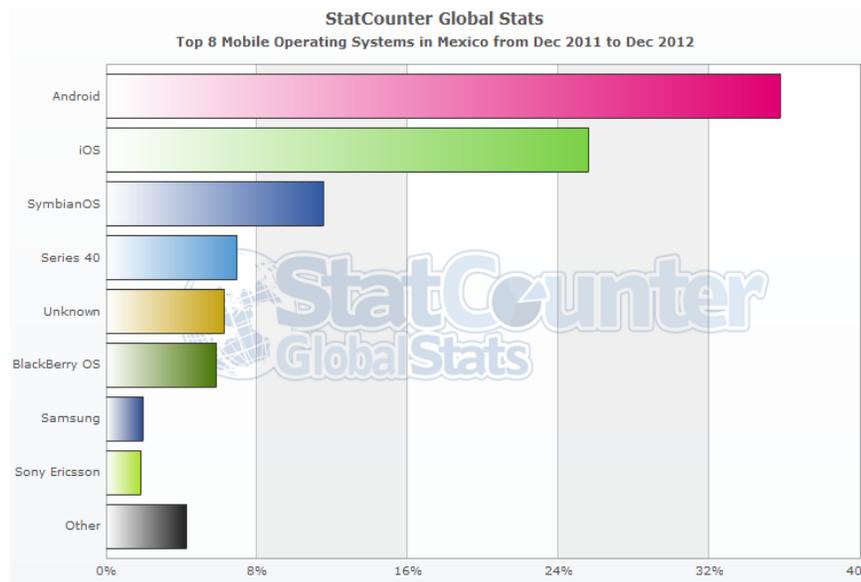
Debido a la necesidad de contar con aplicaciones educativas que estén adecuadas al entorno de México, además de lograr interesar a los alumnos, utilizar nuevas formas de interactuar y que puedan correr en múltiples dispositivos móviles, se plantea la construcción de una aplicación multiplataforma para dispositivos con sistema operativo iOS de Apple y Android de Google.

La aplicación consiste en obtener la posición física del usuario por medio del GPS (Global Positioning System), por lo que el dispositivo deberá contar con esta tecnología. Una vez obtenida, el dispositivo ubicará en su base de datos el punto histórico más cercano. Una vez encontrado, imprimirá en la pantalla la información acerca del sitio histórico, una imagen representativa y una pequeña reseña acerca de los eventos ocurridos en éste, esto se muestra la figura 1.



*Figura 1. Reseña histórica de una geolocalización.*

Actualmente existen diferentes plataformas para dispositivos móviles. Según datos de (StatCounter, 2013), las plataformas más usadas en México son Android 72.4%, iOS 13.9%, BlackBerry OS 5.3%, Symbian OS 2.6% y Windows Phone 2.4%. Ante la gran cantidad de plataformas, se optó por desarrollar la aplicación para las dos más utilizadas, lo cual conlleva una cobertura de un poco más del 85% del mercado de teléfonos inteligentes. El uso de cada sistema operativo móvil en México se resume en la figura 2.



**Figura 2.** *Uso de los sistemas operativos móviles en México.*

De acuerdo con (Real Academia Española, 2002) una efeméride es "un acontecimiento notable que se recuerda en cualquier aniversario de él", mientras que un suceso es "cosa que sucede, especialmente cuando es de alguna importancia", debido a esto, se considera que la aplicación muestra sucesos históricos por no importar la fecha en la que se celebran para su despliegue.

## 4. Desarrollo

Primero se procedió a codificar la parte que obtiene la posición actual por medio del GPS. Una vez obtenida la posición, se procedió a codificar algunos ejemplos de sitios históricos y unas locaciones del Instituto Tecnológico de Morelia para la experimentación. Se procedió a insertar en la base de datos del programa las coordenadas de los lugares, así como una pequeña descripción.

### 4.1 Algoritmo del semiverseno

Para encontrar la posición del usuario y determinar su cercanía con un sitio histórico se utilizó el algoritmo del semiverseno en cual se lista a continuación:

La resta de la latitud del usuario y la latitud del sitio convertirla a radianes, el resultado será la latitud LAT.

La resta de la longitud del usuario y la longitud del sitio convertirla a radianes, el resultado será la longitud LON. Multiplicar los cosenos de cada una de las latitudes en radianes, el resultado multiplicarlo por el seno al cuadrado de la longitud LON entre 2, este resultado sumarlo con el seno cuadrado de la latitud LAT entre 2. El resultado de esta operación será A. Multiplicar 2 por el arco tangente en coordenadas cartesianas de la raíz cuadrada de A y la raíz cuadrada de 1 menos A. este resultado será B.

B multiplicarlo por el radio de la Tierra en metros. El resultado es la distancia en metros entre las dos coordenadas GPS.

Este algoritmo se puede resumir en la fórmula mostrada en la figura 3.

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right\}$$

**Figura 3.** Fórmula del semiverseno para distancias pequeñas.

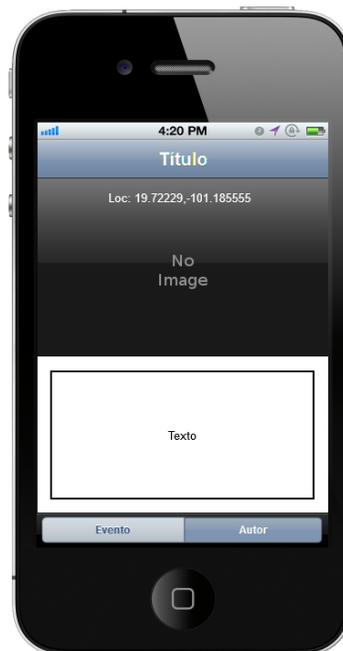
Es importante hacer notar que la fórmula anterior es adecuada para distancias pequeñas (MobileReference, 2009), el cual es nuestro caso. Para distancias más grandes se debe utilizar la versión más compleja mostrada en la figura 4.

$$\Delta\sigma = \arctan \left\{ \frac{\sqrt{[\cos \phi_2 \sin \Delta\lambda]^2 + [\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \sin \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda]^2}}{\sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda} \right\}$$

**Figura 4.** Fórmula del semiverseno para cualquier distancia.

La aplicación efectúa la búsqueda del punto más cercano a nuestra posición física actual (la que se obtiene del GPS). Si estamos localizados cerca de algún sitio registrado, la aplicación imprimirá en pantalla la información acerca de dicho lugar y una imagen que ilustre el lugar o suceso ocurrido.

La aplicación contará con un módulo de autor, en el cual los usuarios pueden agregar contenido a la base de datos. De esta forma, el usuario se puede involucrar no solo con su propio aprendizaje, sino también con el de otras personas. La interfaz para crear nuevos artículos se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Interfaz para crear eventos.

## **5. Resultados**

El sistema se encuentra en fase experimental y cuenta con el modulo de entrega de objetos de conocimiento basados en geolocalización usando GPS y fechas para desplegar efemérides y asuntos históricos de relevancia, seleccionados en base al lugar donde se encuentre el usuario.

Ya se probó de manera real con un teléfono con sistema operativo Android y se pudo comprobar su correcto funcionamiento.

En breve dispondrá de una mayor cantidad de lugares y eventos históricos, empezando por algunos sitios relevantes de la ciudad de Morelia (en donde se realizó esta aplicación).

## **6. Discusión**

El proyecto presenta varios puntos innovadores y en ocasiones opuestos a la educación tradicional, por ejemplo posé sistematización ocasional, estrategias inducidas e inductivas, aprendizaje basado en situaciones, aprendizaje asíncrono; todas estas características ausentes en las metodologías de aprendizaje tradicional. Por lo que solamente con más experimentación y contenido se puede determinar el alcance e impacto real que puede tener en los alumnos.

En la actualidad se han desarrollado plataformas de nueva generación para la puesta en marcha de cursos en línea abiertos de manera masiva, conocidos como MOOC por sus siglas en inglés. Es común que en estos cursos se involucren varios miles de estudiantes, unidos únicamente por el gusto de aprender un tópico en específico. Una mezcla de MOOC y aprendizaje móvil podrá ser una tendencia que nos acompañe en el futuro.

Una extensión de la aplicación con objetos de conocimiento que no dependan de la geolocalización, matemáticas u ortografía por ejemplo, se abarcará en un trabajo futuro.

## 7. Conclusiones

El sistema propuesto contiene el aprendizaje organizado y articulado, pero con múltiples ordenamientos y puntos de inicio, a diferencia del tradicional con un solo punto de inicio y un solo orden. Además, crea asociaciones entre lugares, hechos, situaciones, experiencias y emociones. El aprendizaje es constructivista y la instrucción diferenciada.

La aplicación resultante resulta simple y fácil de usar, permite acercar al usuario a los sitios históricos y poder conocer más acerca de ellos.

## Referencias

AMIPCI. (Enero de 2013). Hábitos de los usuarios de Internet en México 2013. Recuperado el Agosto de 2013, de AMIPCI: <http://www.amipci.org.mx/?P=editomultimediafile&Multimedia=348&Type=1>

Academic Conferences International. (2004). Proceedings of the 3rd European Conference on E-Learning. Reino Unido.

Ally, M. (2009). Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training. Edmonton, Canada: AU Press.

Apple. (Enero de 2013). iTunes U. Recuperado el Enero de 2013, de Apple.com: <http://apple.com/education/ipad/itunes-u>

MobileReference. (2009). Math Formulas and Tables for Smartphones and Mobile Devices. USA: MobileReference.

Real Academia Española. (2002). Diccionario de la Lengua Española. Madrid, España: French & European Pubns.

StatCounter. (Enero de 2013). StatCounter Global Stats. Recuperado el Enero de 2013, de StatCounter: <http://gs.statcounter.com>

## Notas biográficas:



**Rogelio Ferreira Escutia** Es ingeniero en electrónica por el Instituto Tecnológico de Morelia. Es maestro en ciencias computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Cuernavaca. Sus intereses son: la programación para Internet, web y de móviles.



**Misael Madrigal Torres** Es ingeniero en sistemas computacionales por la Universidad Vasco de Quiroga y maestro en gestión empresarial por la misma universidad. Sus áreas de interés son: el cómputo en nube, la programación de móviles y del desarrollo de empresas de base tecnológica.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Diseño óptimo de un disipador de calor para luminaria LED mediante moderación modelación computacional

Daniel Cahue Díaz

Posgrado de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Morelia  
dcahue@ymail.com

Juan Cristóbal Camacho Arriaga.

Posgrado de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Morelia  
Jccmx1@hotmail.com

**Resumen:** En el presente trabajo se desarrolla una selección de materiales y simulación térmica en el diseño de disipadores de calor para sistemas de iluminación de estado sólido (SSL) mejor conocidos como luminarias LEDs. Se desarrolló un modelo matemático con la capacidad de predecir el comportamiento térmico de la luminaria cuando se encuentra en operación. El modelo matemático fue resuelto mediante un software de distribución libre el cual permite resolver ecuaciones diferenciales mediante el método de elemento finito. Los resultados obtenidos en el modelo matemático planteado fueron validados con los resultados obtenidos mediante experimentación usando imágenes termográficas.

**Palabras clave:** LEDs, Diseño asistido por computadora, modelación computacional, Selección computacional de materiales.

# Optimal thermal design of a LED heat sink through computational modelling

**Abstract:** This work focuses on optimal materials selection and thermal simulation for the design of heat sinks for LED luminaires, a mathematical model was developed to predict temperature distributions in operating LED lamps. A test case was solved using a noncommercial finite element code and model results were validated against experimental measurements using a thermal imager showing that they are in close agreement with each other.

**Keywords:** LEDs, aided computer design, computational modelling, material selection.

## 1. Introducción

Se considera que actualmente existen 30 billones de lámparas en uso en el planeta, consumiendo cerca de 2,650 TWh, esto es cerca del 20% de la energía eléctrica producida a nivel mundial, de ahí la importancia de continuar con los esfuerzos de hacer más eficientes este tipo de dispositivos. En iluminación es posible agrupar las lámparas o bulbos básicamente dentro de tres grandes grupos, de acuerdo a su principio de operación: incandescencia, descarga eléctrica y estado sólido (diodos emisores de luz o por su acrónimo en inglés: LED). Actualmente las dos primeras tecnologías dominan el mercado, con eficiencias máximas de 100-110 lm/W (caso de tecnología de descargas eléctricas). Por otro lado, las fuentes de iluminación de estado sólido son una alternativa para el uso eficiente de la energía, aunque actualmente las lámpara LED tienen eficiencias de alrededor de 40 lm/W, se espera que para el año 2025 los LEDs puedan alcanzar eficiencias que rondan los 200 lm/W, representando una verdadera alternativa de reemplazo de lámparas fluorescentes y contribuir a la solución del problema energético mundial, ya que se considera que si todas las necesidades de iluminación actuales de la humanidad fuesen satisfechas a través de LEDs solamente se consumiría el 4% del total de la energía eléctrica

producida a nivel mundial, lo que representa un ahorro anual de energía estimado de un billón de barriles de petróleo o la energía eléctrica producida por 250 plantas nucleares de gran tamaño, además se evitaría la producción anual de 250 millones de toneladas de gases de efecto invernadero [1]. Otras importantes ventajas del uso de iluminación de estado sólido es que tienen una alta eficiencia energética, larga vida útil (hasta 50,000 horas), su tamaño es más compacto, mayor flexibilidad en cuanto al control de la intensidad lumínica y variaciones de color, entre otras. Además, la iluminación de estado sólido actualmente representa un mercado de 20,000 millones de dólares americanos y es la tecnología en iluminación que más recursos recibe en investigación y desarrollo.

La dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) es una ciencia relativamente reciente y ha encontrado una tremenda aplicación en la solución de diversos problemas de ingeniería en donde intervienen flujo de fluidos, transferencia de calor, reacciones químicas y fenómenos relacionados. El CFD ha demostrado ser una herramienta valiosa en el diseño y análisis de fuentes de iluminación, evitando el trabajo por ensayo y error y reduciendo enormemente el tiempo requerido en el diseño e investigación de nuevos prototipos.

Uno de los principales problemas en el diseño de lámparas LED es la correcta disipación de calor generada por sus diversos componentes electrónicos, la cual se lleva a cabo a través del disipador de calor y en el diseño de disipadores de calor la selección de materiales es fundamental.

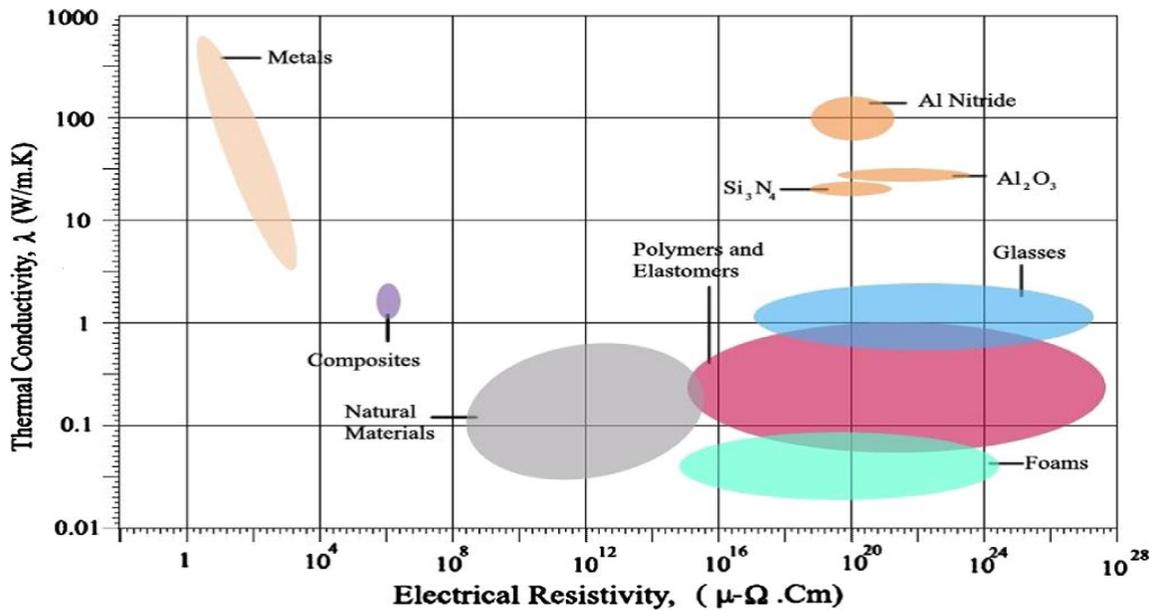
## **2. Selección De Materiales Para Disipadores De Calor**

En la correcta selección de materiales utilizados en disipadores de calor para la industria electrónica, la interrelación de cuatro propiedades físicas:

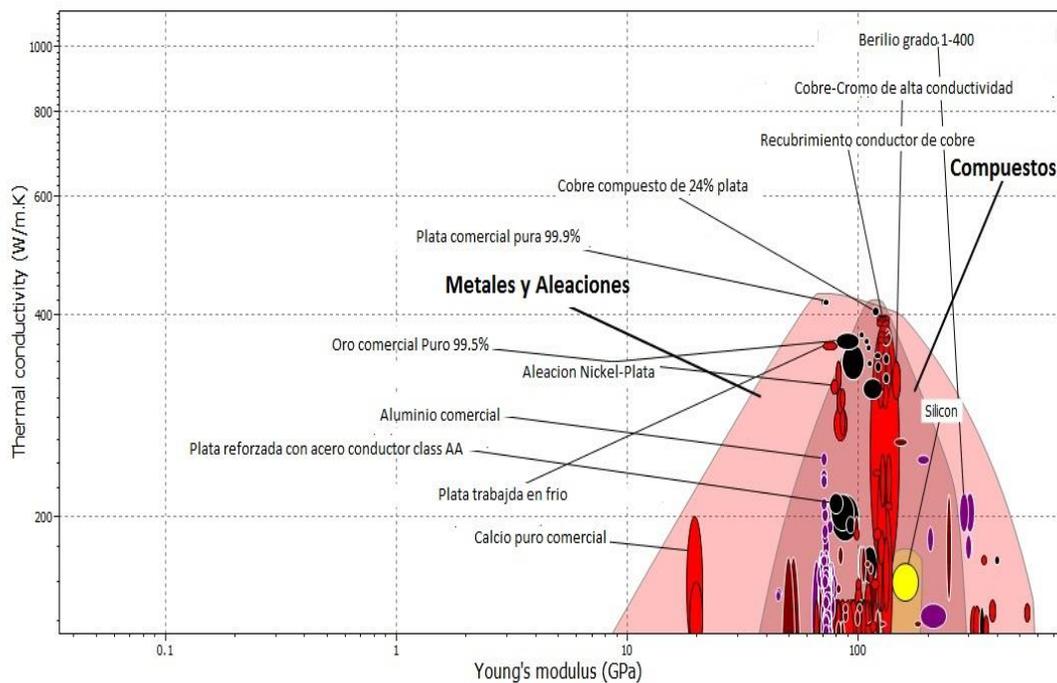
conductividad térmica ( $\lambda$ ), resistividad eléctrica ( $\rho_e$ ), expansión térmica ( $\alpha$ ) y el módulo de Young (E) juega un papel importante y debe de analizarse adecuadamente, una alternativa es el método de Ashby [2], el cual busca una relación funcional para el desempeño del elemento o componente en consideración, esta función tiene la forma:

$$p = \{F, G, M\} \quad (1)$$

en donde F, G, y M representan respectivamente los requerimientos funcionales, los parámetros geométricos y los índices del material. Para los disipadores de calor el método de Ashby se puede aplicar teniendo en consideración que se busca prevenir capacitancias parasitas entre el chip y el disipador, además de que éste no sea un buen conductor eléctrico, para lo cual se sugieren materiales con alta resistividad eléctrica,  $\rho_e > 1019 \mu\Omega \text{ cm}$ , pero al mismo tiempo que los materiales propuestos tengan una alta conductividad térmica ( $\lambda$ ), matemáticamente se busca maximizar:  $p = \{\rho_e, \lambda\}$ , para tener el mejor desempeño posible en los disipadores de calor. Otras propiedades a tomar en cuenta en el diseño de disipadores de calor son la expansión térmica ( $\alpha$ ) y el módulo de Young (E), debido a que los esfuerzos de origen térmico (que son cíclicos) en las lámparas LED son importantes. Para este caso  $p = \{\alpha, E, T\}$  en donde T es la temperatura. Después de hacer un análisis de las relaciones funcionales para p y a partir de las figuras 1 y 2 se puede concluir que la mejor selección sería Al, AlN,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aleaciones de cobre y zinc y algunos cerámicos. Obviamente otro factor importante a considerar es el costo para tomar la decisión final [3-8].



**Figura 1.** Gráfica que muestra los contornos de conductividad térmica ( $\lambda$ ) vs. resistividad eléctrica ( $\rho_e$ ) para distintas clases de materiales [2].



**Figura 2.** Gráfica que muestra el Módulo de Young ( $E$ ) vs. Conductividad térmica para distintas clases de materiales.

### 3. Modelación Computacional

El primer paso en el análisis de la disipación de calor en lámparas LEDs, utilizando la modelación computacional, consistió en el planteamiento de un modelo matemático descriptivo de los mecanismos relevantes de transferencia de calor en las lámparas y el efecto que éstos representan en la correcta operación de dichos dispositivos. Para la formulación del modelo matemático y dominio de solución del problema, se consideró la lámpara mostrada en la figura 3, la cual fue construida exclusivamente como prototipo de análisis para este estudio [9]. La figura 4 muestra las partes que integran la misma y la figura 5 es una imagen CAD del ensamble de dicha lámpara.



***Figura 3.** Lámpara LED construida para la implementación y validación del modelo matemático de la disipación de calor generado durante la operación de la misma.*



*Figura 4. Partes componentes de la lámpara LED utilizada en este estudio: a) Disipador; b) Difusor; c) Driver; d) Socket.*



*Figura 5. Imagen CAD que muestra el ensamble de los componentes que integran la lámpara LED construida para el estudio.*

## **4. Modelo matemático.**

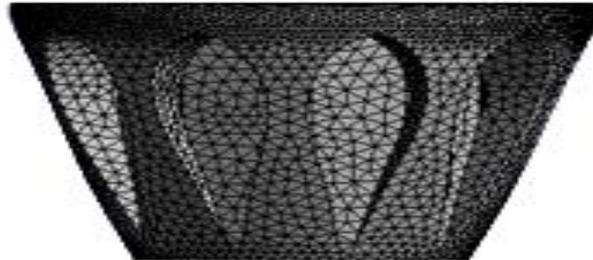
En el planteamiento del modelo matemático para describir la transferencia de calor en las lámparas LED, fue necesario hacer algunas simplificaciones que esencialmente no limitan la precisión y aplicabilidad del mismo. Esto, con el objeto de reducir la complejidad del problema y el esfuerzo computacional

necesario para la solución de las ecuaciones resultantes. Para representar cuantitativamente el proceso de transferencia de calor en las lámparas, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El sistema es tratado como un medio continuo.
- Condiciones de estado transitorio
- Flujo incompresible
- Propiedades termo-físicas de los materiales componentes en función de la temperatura.
- Materiales homogéneos.

## 5. Ecuaciones gobernantes del modelo.

Con base en las consideraciones hechas anteriormente, la representación matemática puede ser determinada de acuerdo al dominio computacional mostrado en la figura 6.



*Figura 6. Representación 3D en coordenadas rectangulares del dominio de solución en donde se muestra la malla no uniforme utilizada.*

Las ecuaciones que rigen el modelo en coordenadas cartesianas son:

## Ecuación de continuidad:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

En donde  $\rho$  y  $\vec{v}$  son respectivamente la densidad y la velocidad media de masa

## Ecuaciones de conservación de momentum:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} \quad (3)$$

En donde  $\mu$ ,  $p$ ,  $g$  y  $\vec{\tau}$  son respectivamente la viscosidad, la presión, la gravedad y el tensor de esfuerzos viscosos, que se representa matemáticamente por:

$$\vec{\tau} = \mu(\nabla \underline{v} + (\nabla \underline{v})^t) - \frac{2}{3} \mu(\nabla \cdot \underline{v}) \cdot \underline{\underline{I}} \quad (4)$$

En donde  $m$  es la viscosidad dinámica del gas y  $t$  indica la transpuesta del tensor gradiente de velocidad, y  $\underline{\underline{I}}$  indica el tensor unidad.

## Ecuación de energía:

La ecuación de la energía en su forma de la entalpía total ( $H$ ) deberá ser resuelta:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot \left( \frac{\lambda_t}{C_p} \nabla H \right) + S_k \quad (5)$$

En donde  $\lambda_t$  y  $C_p$  son respectivamente la conductividad térmica y el calor específico a presión constante.

## 6. Modelación de la transferencia de calor por radiación:

El término fuente,  $S_k$  en la ecuación (5) incluirá los términos de radiación, calculados mediante el modelo de ordenadas discretas (DO), el cual es el modelo seleccionado para simular los efectos de transferencia de calor mediante

radiación en el dominio computacional. Para el modelo DO se resuelve la ecuación fundamental de transporte de radiación, RTE (por sus siglas en inglés), para un medio gaseoso que absorbe, emite y disipa radiación en la posición “ $r$ ”, dirigido en la dirección “ $s$ ”, para el número finito de ángulos sólidos discretos, cada uno de ellos asociado con un vector  $\vec{s}$  en un sistema global cartesiano ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), el cual puede ser escrito como:

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega' \quad (6)$$

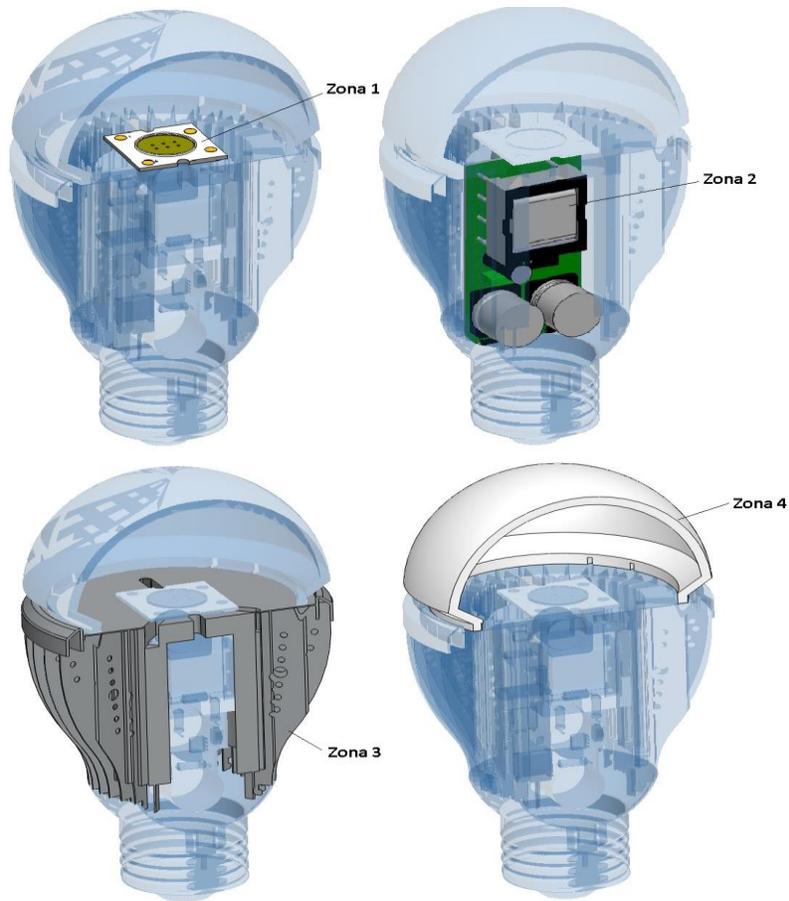
Debido a los efectos convectivos, las ecuaciones de flujo deben ser resueltas en forma simultánea con la ecuación de Energía

Condiciones de frontera.

Las condiciones de frontera en la interface sólido-aire (interior y exterior), son:

$$\underline{n} \cdot (\lambda_s \nabla T_s) = -q''_{conv} \quad (7)$$

en donde  $q''_{conv}$  es el flujo de calor debido a la convección, de las partes sólidas de la lámpara con sus alrededores, correspondientes a las zonas 1-4 que se muestran en la figura 7 y  $\underline{n}$  es un vector unitario normal a las superficies sólidas.



**Figura 7.** Zonas utilizadas para la prescripción de las condiciones de frontera del modelo matemático [10].

Generalmente, es complicado obtener información detallada sobre la distribución de la temperatura del medio exterior a la lámpara. Por tanto, se tiene que recurrir al uso de expresiones de transferencia de calor como:

$$q_{\text{conv}}'' |_{\text{pared exterior}} = \alpha_{\text{conv}} (T_s - T_a) \quad (8)$$

Para modelar la pérdida de calor por convección hacia el ambiente. Aquí,  $\alpha_{\text{conv}}$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor y  $T_a$  es la temperatura del ambiente.

Debido a que no existe flujo forzado de aire, la convección natural será el mecanismo principal de transferencia de calor. Para este caso, el coeficiente convectivo de transferencia de calor se estimó mediante la expresión:

$$\alpha_{\text{conv}} = C \frac{\lambda_s}{L} \text{Pr}_s^n \left( \frac{g \rho_s^2 L^3 (T_s - T_a)}{\mu_s^2 T_s} \right)^n = C \frac{\lambda_s}{L} \text{Pr}_s^n \text{Gr}^n \quad (9)$$

En donde  $C \gg 0.5$  y  $n \gg 0.25$ .

Además de las condiciones anteriores se prescribieron las típicas condiciones de frontera para las ecuaciones de continuidad, momentum (presión en un punto, condiciones de no deslizamiento, etc.), además de las condiciones iniciales correspondientes.

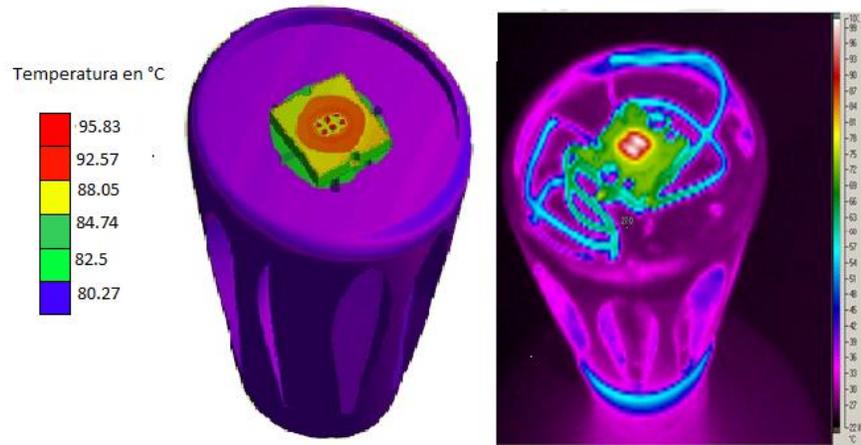
## 7. Solución numérica del modelo.

Una vez planteado el modelo matemático, se utilizó un software CAE (Computer Aided Engineering), para obtener la solución numérica del mismo. Primeramente se planteó del dominio de solución, el cual se desarrolló usando un preprocesador. La malla final utilizada como dominio de solución y resultado de realizar un estudio de independencia de la solución con la malla y retroalimentado experimentalmente está formada por 2058499 elementos híbridos no estructurados. El tiempo de cálculos iterativos fue de 100 hrs en un cluster formado por cuatro CPUs (Intel Core i7 y una memoria RAM total de 64 Gb) y utilizando procesamiento en paralelo.

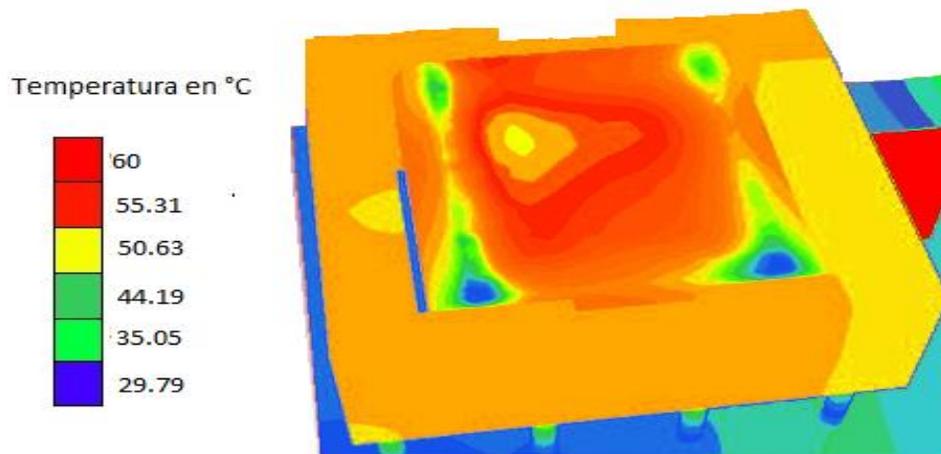
## 8. Resultados y validación del modelo

En la Fig. 8 podemos observar los contornos estimados de temperatura y la comparación con una imagen termográfica de la lámpara en operación, se puede apreciar una excelente concordancia entre los resultados teóricos y los experimentales. En la figura 9 se muestran los perfiles estimados de temperatura en el driver, en la figura 10 se muestra una imagen termográfica de una vista

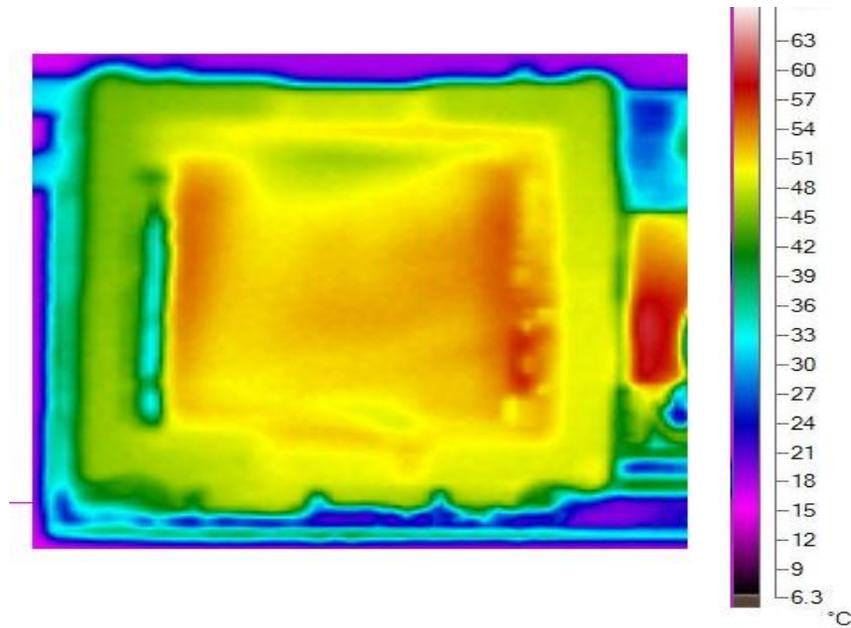
superior del driver, particularmente el transformador, en donde se observa también una excelente concordancia de las temperaturas reales con las temperaturas teóricas del driver.



**Figura 8.** Contornos estimados de temperatura producidos en el disipador y validación con imagen termográfica de la lámpara en operación.



**Figura 9.** Vista superior de los contornos estimados de temperatura de una sección del Driver.



*Figura 10. Imagen termográfica del transformador del driver en donde se muestra una buena concordancia con las temperaturas obtenidas mediante el modelo computacional.*

## 9. Conclusiones

Se desarrolló y se resolvió numéricamente un modelo matemático para representar en lo más general posible todos los fenómenos de transporte que ocurren en lámparas LED de bulbo durante su operación. Se utilizó el método de Ashby para seleccionar los materiales óptimos para constituir el disipador de calor. Se demostró que el modelo matemático es predictivo al comparar los resultados teóricos con resultados experimentales y puede ser utilizado como una herramienta útil en el diseño y análisis de nuevas fuentes de iluminación de estado sólido, reduciendo de este modo el trabajo de ensayo y error, muy utilizado hoy en día en el diseño de este tipo de dispositivos.

# Referencias

LEDs for Lighting Applications – Patrick Mottier ISTE & Wiley 2009

Ashby, Michael (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th edition ed.). Burlington, Massachusetts: Butterworth-Heinemann

Cheng, H. H., D.-S. Huang, et al. (2011). "Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method." *Microelectronics Reliability*.

Reed, W. G. (2011). "ELECTRICALLY ISOLATED HEAT SINK FOR SOLID STATE LIGHT." Patent.

Tsai, M. Y., C. H. Chen, et al. (2011). "Thermal measurements and analyses of low-cost high-power LED packages and their modules." *Microelectronics Reliability*.

Wan, Z. M., J. Liu, et al. (2011). "Flow and heat transfer in porous micro heat sink for thermal management of high power LEDs." *Microelectronics Journal* 42(5): 632-637.

Yang, L., J. Hu, et al. (2009). "Degradation of high power LEDs at dynamic working conditions." *Solid-State Electronics* 53(6): 567-570.

Yang, S.-C., P. Lin, et al. (2010). "Failure and degradation mechanisms of high-power white light emitting diodes." *Microelectronics Reliability* 50(7): 959-964.

Armando Herrera Velázquez (2012). "Diseño y construcción de un sistema de alimentación conmutado para aplicaciones de iluminación de estado sólido" Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Morelia.

Daniel Cahue Díaz (2013). "análisis mediante modelación computacional de la influencia térmica de las fuentes de alimentación en luminarias LED". Memoria congreso Academia Journals 2013. Instituto Tecnológico de Celaya.

## Notas biográficas:



**Daniel Cahue Díaz.** Estudiante en el posgrado de Ingeniería Mecánica en el Instituto tecnológico de Morelia. Egresado de Ingeniería mecánica en el Instituto tecnológico de Morelia. Ganador del premio a mejor trabajo de investigación en el 2do encuentro de jóvenes investigadores organizado por el Consejo estatal de ciencia, tecnología e innovación (CECTI). Experto en el diseño de sistemas de enfriamiento para sistemas de iluminación de estado sólido (LEDs). Experto en procesos de manufactura de disipadores de calor para iluminación. Amplio conocimiento en iluminación.

**Juan Cristóbal Camacho Arriaga.** Profesor investigador en el Instituto Tecnológico de Morelia. Egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Egresado de la maestría en Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Morelia. Obtuvo el doctorado en la universidad de sheffield. Obtuvo su doctorado en simulación de especies químicamente reactivas. Ha trabajado para grande compañías como Panasonic (Japón).



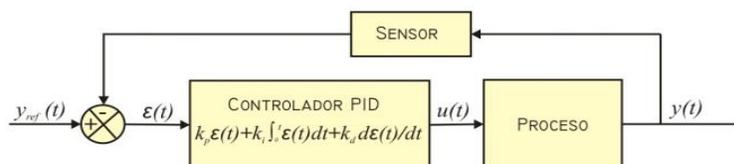
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

# Control de velocidad de un motor de CD con un controlador PID Wavenet

Abraham Christian Pedroza Araujo

Universidad Politécnica de Texcoco,  
Prolongación de Arteaga 406,  
Col. San Pedro, Texcoco,  
Estado de México,  
C.P. 56150, Tel: 015959543600, 7712207283  
a\_pedroza\_a@hotmail.com

**Resumen:** El controlador más utilizado actualmente en la industria es el controlador PID. Sin embargo, el algoritmo PID lineal tiene bajo desempeño cuando el proceso a controlar presenta dinámicas complejas como zonas muertas y características no lineales. El funcionamiento del controlador PID en general, se basa en la actuación en forma proporcional, integral y derivativa sobre la señal de error  $e(t)$ , definida como  $e(t) = y_{ref}(t) - y(t)$ , con la finalidad de efectuar la señal de control  $u(t)$  que manipula la salida del proceso en forma deseada como se muestra la Figura 1.



*Figura 1. Esquema de un control clásico.*

Las constantes  $k_p$   $k_i$   $k_d$  son las ganancias del PID. Existen distintas técnicas analíticas y experimentales con el fin de sintonizar esas ganancias. Una alternativa a este problema de sintonización es el controlador PID wavenet,

donde por medio de una wavenet y un filtro IIR se estima la salida del sistema a controlar, lo cual se utiliza para re-sintonizar las ganancias de un PID discreto, todo esto en línea. Esta es la alternativa que se emplea en el presente trabajo de investigación y enfocada a la simulación y control de un motor de cd obteniendo resultados.

Palabras clave: Control PID, redes neuronales, autosintonizable.

## Speed control of a CD motor with driver PID Wavenet

Abstract: The most currently used in the industry is the PID controller. however, the linear PID algorithm has low performance when the present control process as dead zones complex dynamics and nonlinear characteristics. The operation of the PID controller generally is based on the action on proportional, integral and derivative of the error signal, defined as, in order to make the control signal output which manipulates the desired process as shown in Figure 1.

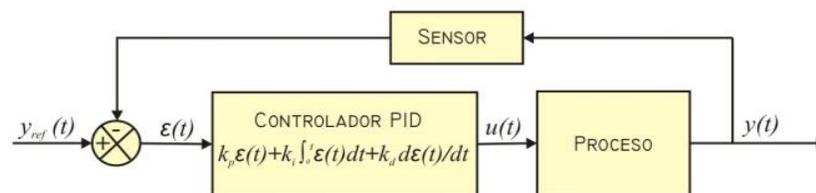


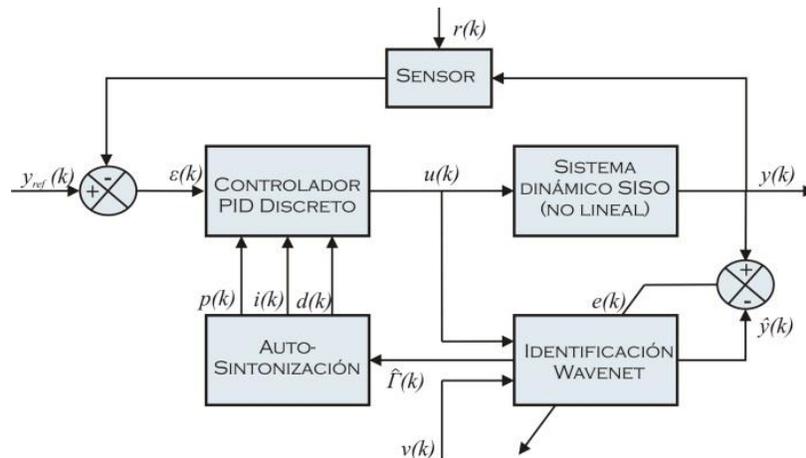
Figure 1. Schematic of a classical control.

The constants and are PID gains. There are several analytical and experimental techniques in order to tune these gains. An alternative to this is the problem of tuning PID controller Wavenet, where through Wavenet and IIR filter output is estimated control system, which is used to re-tune the gains of a discrete PID, all in line. This is the alternative that is used in this research and focuses on the simulation and control of a dc motor getting results.

Keywords: PID control, neural networks, auto tuning

# 1. Control PID Wavenet

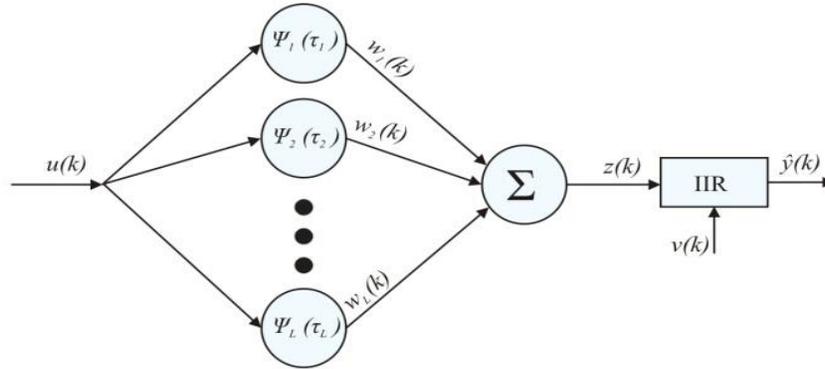
El esquema del controlador PID wavenet se muestra en la Figura 2. Donde se pueden identificar en su arquitectura que dicho controlador consta de tres etapas para poder manipular la salida de un sistema SISO no lineal en una forma deseada. En 2.1 la identificación del sistema, 2.2 Controlador PID discreto y 2.3 Auto-sintonización de las ganancias del controlador.



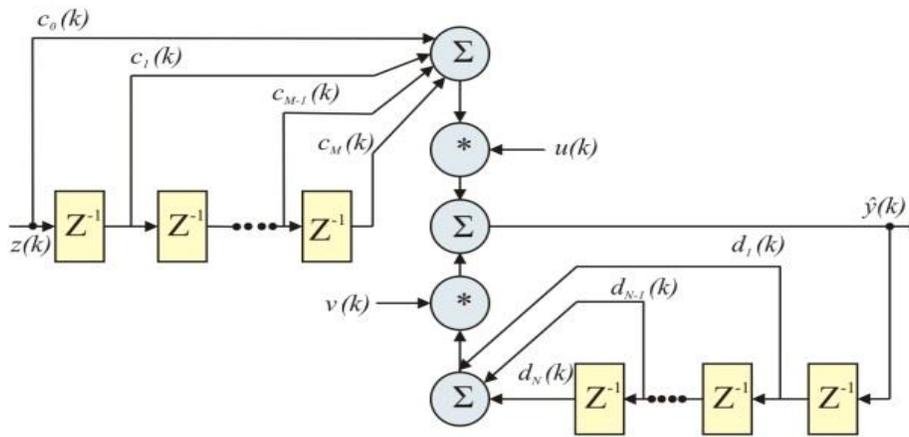
*Figura 2. Esquema del controlador PID wavenet.*

## 1.1 Identificación del sistema

El proceso de identificación se hace mediante una red neuronal de base radial en la que las funciones de activación  $\psi(t)$  son funciones wavelets hijas  $\psi_i(t_i)$  del tipo RASP1, RASP2 Y POLIWOG1. Además, cuenta con un filtro IIR en cascada que tienen como función principal podar las neuronas que tienen poca contribución en el proceso de identificación, permitiendo con esto reducir el número de iteraciones en el proceso de aprendizaje. Estos dos elementos se pueden ver en la Figura 3 y Figura 4 respectivamente.



**Figura 3. Wavenet.**



**Figura 4. Filtro IIR.**

La función wavelet  $\psi(t)$  es llamada wavelet madre, porque distintas funciones son generadas a partir de ella, por su dilatación o contracción y traslación, llamadas wavelets hijas  $\psi_{a,b}(t)$ , representadas matemáticamente [3] como:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1).$$

con  $a \neq 0$ ;  $a, b \in \mathbf{R}$  y

$$\tau = \frac{k-b}{a} \quad (2).$$

Donde  $a$  es la variable de escala, que permite dilataciones y contracciones,  $b$  es el elemento de traslación, que permite los desplazamientos en el instante  $k$ . La representación matemática y la derivada parcial con respecto de  $b$ , de las wavelets madre son mostradas en Tabla 1 y Tabla 2.

Wavelet madre	$\psi(\tau)$
RASP 1	$\frac{\tau}{(\tau^2 + 1)^2}$
RASP 2	$\frac{\tau \cos(\tau)}{\tau^2 + 1}$
PLYWOG 1	$\tau e^{-\frac{\tau^2}{2}}$

**Tabla 1.** Wavelets Madre

Wavelet madre	$\frac{\partial \psi(\tau)}{\partial b}$
RASP 1	$\frac{1}{a} \frac{3\tau^2 - 1}{(\tau^2 + 1)^3}$
RASP 2	$\frac{\tau \frac{\tau^2 + 1}{a} \sin(\tau) + \frac{\tau^2 - 1}{a} \cos(\tau)}{(\tau^2 + 1)^2}$
PLYWOG 1	$\frac{1}{a} (\tau^2 - 1) e^{-\frac{\tau^2}{2}}$

**Tabla 2.** Derivadas parcial con respecto de  $b$

La señal de aproximación de la wavenet con filtro IIR  $\hat{y}(k)$  puede ser calculada como:

$$\hat{y}(k) = \sum_{i=0}^M c_i z(k-i)u(k) + \sum_{j=1}^N d_j \hat{y}(k-j)v(k) \quad (3).$$

donde

$$z(k) = \sum_{l=1}^L w_l \psi_l(k) \quad (4).$$

$L$  es el número de wavelets hijas,  $w_l$  son los pesos de cada neurona en la wavenet,  $C_i$  y  $d_j$  son los coeficientes de adelanto y atraso del filtro IIR, respectivamente.  $M$  y  $N$  representan el número de los coeficientes de adelanto y atraso del mismo filtro, respectivamente. Los parámetros de la wavenet en forma matricial están dados por:

$$\begin{aligned} A(k) &\triangleq [a_1(k), a_2(k), \dots, a_L(k)]^T \\ B(k) &\triangleq [b_1(k), b_2(k), \dots, b_L(k)]^T \\ W(k) &\triangleq [w_1(k), w_2(k), \dots, w_L(k)]^T \end{aligned} \quad (5).$$

y los parámetros del filtro IIR, representados en la misma forma:

$$\begin{aligned} C(k) &\triangleq [c_0(k), c_1(k), \dots, c_M(k)]^T \\ D(k) &\triangleq [d_1(k), d_2(k), \dots, d_N(k)]^T \end{aligned} \quad (6).$$

se optimizan por medio de un algoritmo de aprendizaje basado en mínimos cuadrados medios (LMS), tras minimizar las funciones de costo  $E$  para lograr esto se define el error de estimación  $e(k)$  como la salida real de la planta  $y(k)$  y la salida de la red neuronal  $\hat{y}(k)$ , es decir

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) \quad (7).$$

La función de energía del error de estimación se define como:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^T e^2(k) \quad (8).$$

Para minimizar E se aplica el método del gradiente de pasos descendentes, que utiliza las siguientes derivadas:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_i(k)} &= -e(k)C(k)^T \Psi_i(\tau)u(k) \\ \frac{\partial E}{\partial b_i(k)} &= -e(k)C(k)^T \Psi_{b_i}(\tau)w_i(k)u(k) \\ \frac{\partial E}{\partial a_i(k)} &= \tau_i \frac{\partial E}{\partial b_i(k)} \\ \frac{\partial E}{\partial c_m(k)} &= -e(k)z(k-M)u(k) \\ \frac{\partial E}{\partial d_n(k)} &= -e(k)\hat{y}(k-N)u(k) \end{aligned} \quad (9).$$

donde

$$\begin{aligned} \Psi_i(\tau) &= [\psi_i(\tau), \psi_i(\tau-1), \dots, \psi_i(\tau-M)]^T \\ \Psi_{b_i}(\tau) &= \left[ \frac{\partial \psi_i(\tau)}{\partial b_i(k)}, \frac{\partial \psi_i(\tau-1)}{\partial b_i(k)}, \dots, \frac{\partial \psi_i(\tau-M)}{\partial b_i(k)} \right]^T \end{aligned} \quad (10).$$

La actualización de los parámetros se realiza con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\Delta\theta(k) &= -\frac{\partial E}{\partial\theta(k)} \\ \theta(k-1) &= \theta(k) + \mu_{\theta}\Delta\theta(k)\end{aligned}\quad (11).$$

donde  $\theta$  puede ser cualquiera de los parámetros a ser ajustado de la red wavenet y filtro IIR. El valor de  $\mu_{\theta} \in \mathbf{R}$  representa el factor de aprendizaje o ajuste de los parámetros.

## 1.2 Controlador PID discreto

Considerando un sistema dinámico SISO no lineal, puede ser representado por la ecuación de estado discreto siguiente [4]:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= f[x(k), u(k), k] \\ y(k) &= g[x(k), k]\end{aligned}\quad (12).$$

Donde  $x(k) \in \mathbb{R}^n, u(k), y(k) \in \mathbb{R}$  y  $f, g \in \mathbf{C}$  son funciones desconocidas, siendo  $\mathbf{C}$  el conjunto de funciones suaves. La entrada  $u(k)$  y la salida del sistema  $y(k)$  son los únicos datos accesibles que se tienen del sistema a ser controlado. Si el sistema se hace lineal alrededor del punto de equilibrio es observable [4], existe una representación entrada-salida dada por

$$y(k+1) = \beta[Y(k), U(k)] \quad (13).$$

donde

$$\begin{aligned}Y(k) &= [y(k)y(k-1), \dots, y(k-n+1)] \\ U(k) &= [u(k)u(k-1), \dots, u(k-n+1)]\end{aligned}\quad (14).$$

es decir, sí existe una función  $\beta$  que mapea la salida  $y(k)$  y la entrada  $u(k)$  y sus  $n-1$  valores pasados, en  $y(k+1)$ . Un modelo alternativo de una planta desconocida que puede simplificar el algoritmo de la señal de control es el siguiente:

$$y(k+1) = \Phi[Y(k), U(k)] + \Gamma[Y(k), U(k)] \cdot u(k) \quad (15).$$

sí los términos  $\Phi$  y  $\Gamma$  son exactamente conocidos, el control  $u(k)$  que obtiene una salida deseada  $y_{ref}(k+1)$  es:

$$u(k) = \frac{y_{ref}(k+1) - \Phi[Y(k), U(k)]}{\Gamma[Y(k), U(k)]} \quad (16).$$

Sin embargo estos términos son desconocidos. Por lo tanto se utiliza una red wavenet para aproximar las dinámicas del sistema como:

$$\hat{y}(k+1) = \hat{\Phi}[y(k), \Phi_{\phi}] + \hat{\Gamma}[Y(k), \Phi_{\Gamma}] \cdot u(k) \quad (17).$$

Comparando  $y(k+1)$  y  $\hat{y}(k+1)$ , con la salida de la wavenet con filtro IIR, se concluye que

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}[y(k), \Phi_{\phi}] &= \sum_{j=1}^N d_j \hat{y}(k-j) v(k) \\ \hat{\Gamma}[y(k), \Phi_{\Gamma}] &= \sum_{i=0}^M c_i z(k-i) \\ z(k) &= \sum_{l=1}^L w_l \psi_l(k) \end{aligned} \quad (18).$$

Por lo tanto, si las dos no linealidades  $\Phi$  y  $\Gamma$  son estimadas por las dos funciones de la wavenet  $\hat{\Phi}$  y  $\hat{\Gamma}$  con parámetros ajustables  $\Phi_{\phi}$  y  $\Phi_{\Gamma}$  respectivamente, la señal de control del PID que sigue la referencia deseada  $y_{ref}(k)$  puede ser calculada como [5,6]:

$$\begin{aligned}
u(k+1) = & u(k) + p(k)[\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)] + i(k)\varepsilon(k) \\
& + d(k)[\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)]
\end{aligned} \tag{19}.$$

Donde  $p(k)$ ,  $i(k)$  y  $d(k)$  son las ganancias proporcional, integral y derivativa del controlador PID,  $u(k)$  es la entrada de la planta al instante  $k$  y el error de seguimiento  $e(k)$  se define como la diferencia entre la salida de la planta  $y(k)$  y la señal de referencia  $y_{ref}(k)$ , es decir

$$\varepsilon(k) = y(k) - y_{ref}(k) \tag{20}.$$

### 1.3 Auto-sintonización de ganancias PID

Debido a que las ganancias  $p(k)$ ,  $i(k)$  y  $d(k)$  fueron consideradas dentro de la función de costo  $E$  pueden ser actualizadas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
p(k) &= p(k-1) + \mu_p e(k) \hat{\Gamma}(k) \varepsilon_1(k) \\
i(k) &= i(k-1) + \mu_i e(k) \hat{\Gamma}(k) \varepsilon_2(k) \\
d(k) &= d(k-1) + \mu_d e(k) \hat{\Gamma}(k) \varepsilon_3(k)
\end{aligned} \tag{21}.$$

donde  $\hat{\Gamma}(k)$  es la parte de identificación del sistema,  $\mu$  son los factores de ponderación de las ganancias del controlador,  $\varepsilon_1(k) = \varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)$ ,  $\varepsilon_2(k) = \varepsilon(k)$  y  $\varepsilon_3(k) = \varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)$ .

## 2. Resultados

El algoritmo de control PID wavenet, se aplicó a un motor de cd con variación de velocidad y ruido, descrito por su función de transferencia como:

$$H(s) = \frac{0.3858}{0.0092s + 1} \quad (22).$$

Dicho control se probó con tres wavelets (RASP1, RASP2 Y POLIWOG1) para realizar la simulación del sistema en el software LabVIEW 2011. Los parámetros de la wavenet se pueden observar en la Tabla 3 y en Tabla 4 los valores de inicialización.

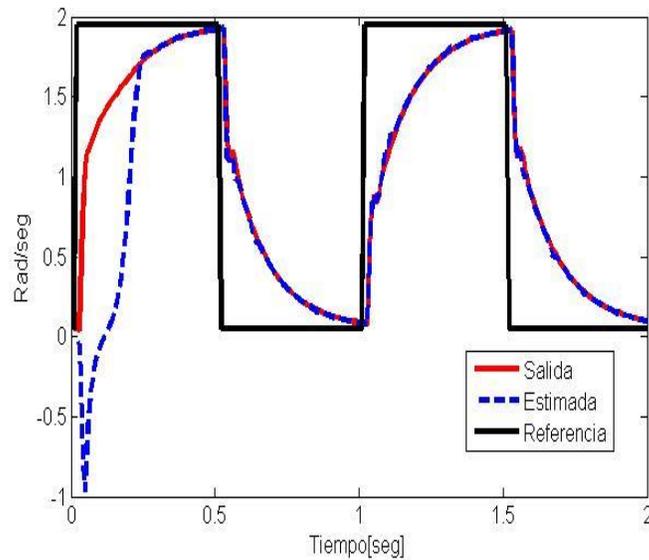
Parámetro	Valor
Neuronas	3
Coefficientes del filtro IIR C	3
Coefficientes del filtro IIR D	2
Épocas	5
Periodo de muestreo	100ms
Señal de persistencia	0.13

**Tabla 3.** Parámetros de la wavenet y filtro IIR

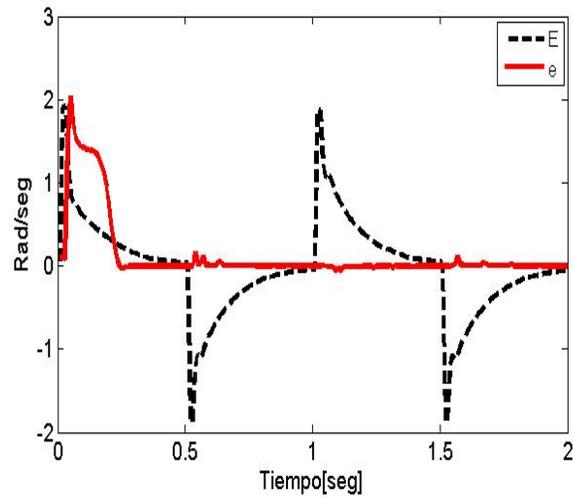
Parámetro	Valor
W	[0.05 , -0.05 , 0.08]
A	[-302 , -55 , -14.2]
B	[8 , 9 , 10]
C	[0.5 , 0.5 , 2.5]
D	[0.1 , 0.15]
$p$	3
$i$	0.03
$d$	0.018
<b>Factor de ponderación</b>	
$\mu_\theta$	0.01
$\mu_p$	0.3
$\mu_i$	0.09
$\mu_d$	0.005

**Tabla 4.** Valores iniciales de parámetros de la red y filtro.

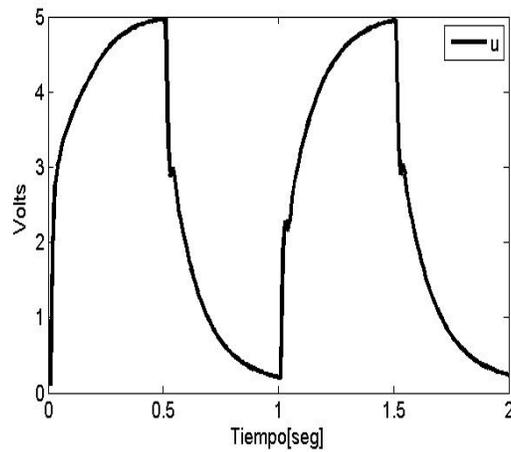
Los resultados de la primera simulación con la wavelet de activación RASP1 se muestran en las siguientes figuras:



**Figura 5.** Señales de salida del controlador.

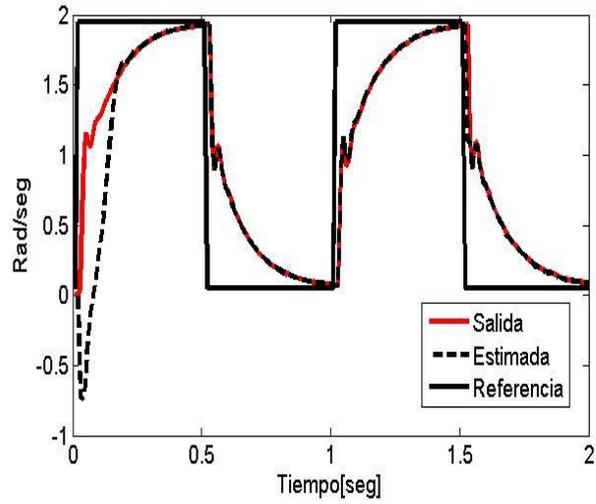


**Figura 6.** Señales de error de la wavenet y control PID.

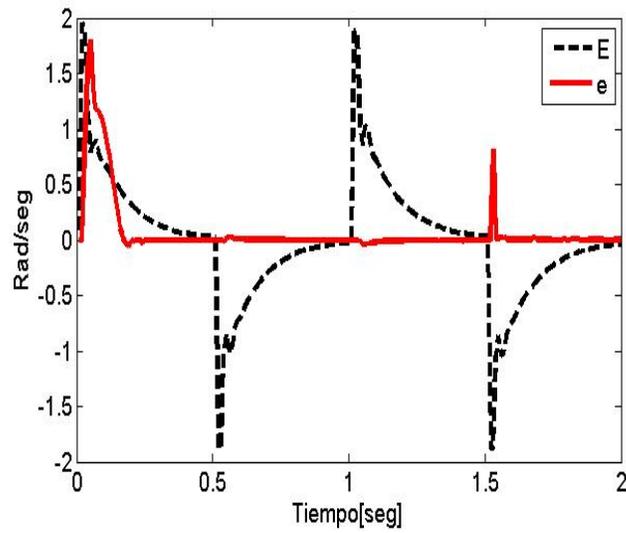


**Figura 7.** Señal de control.

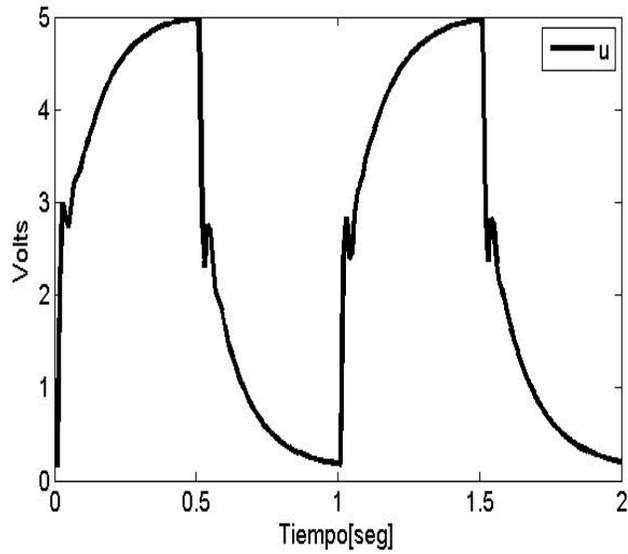
En las Figuras (5,6,7), se muestra los resultados obtenidos con la wavelet RASP 1, aplicado al control de un motor de cd, en la Figura 5, se observa la “Referencia” o velocidad deseada del sistema, la salida “Estimada” realizada por la wavenet y la “Salida” real del sistema controlado. En la Figura 6, se observa el error de la señal de control PID “E” y “e” error de identificación de la red, donde se observa que tiende a “cero”, haciendo referencia a que la red neuronal ha identificado el sistema. En la Figura 7, se observa el comportamiento de la señal de control.



*Figura 8. Señales de salida del controlador.*

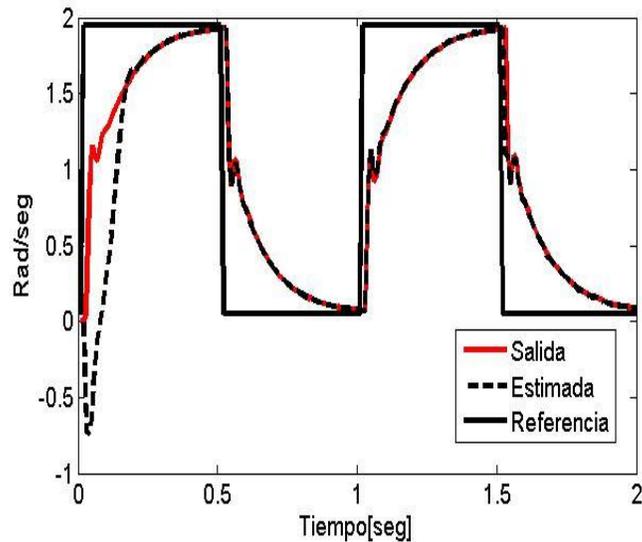


*Figura 9. Señales de error de la wavenet y control PID.*

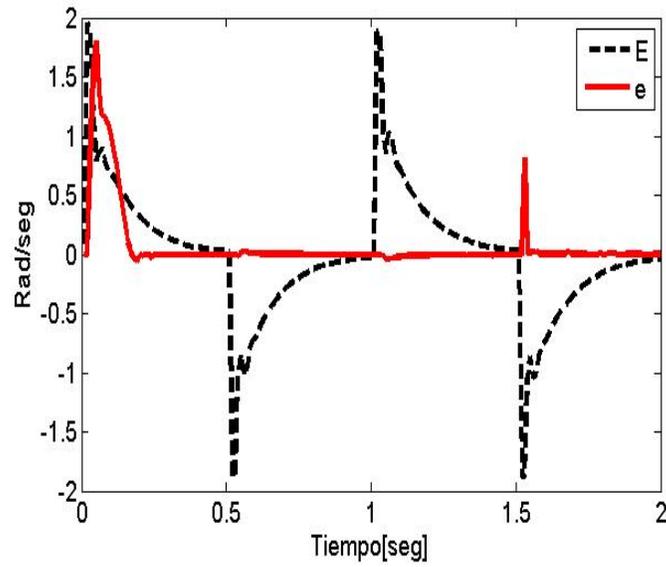


**Figura 10.** Señal de control.

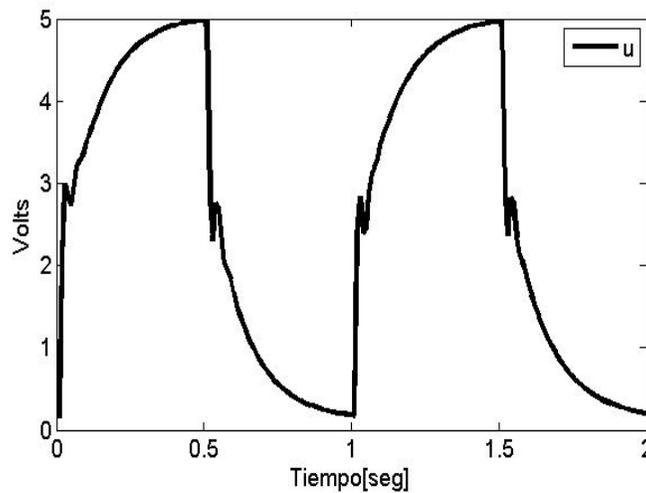
En las Figuras (8,9,10), se muestra los resultados obtenidos con la wavelet RASP 2, las cuales muestran que el control del sistema se ha realizado, pero a diferencia de la RASP1, el control ha presentado algunos sobresaltos en la identificación del sistema y señal de control.



**Figura 11.** Señales de salida del controlador.



**Figura 12.** Señales de error de la wavenet y control PID



**Figura 13.** Señal de control.

En las Figuras (11,12,13), se muestra los resultados obtenidos con la wavelet, las cuales muestran que el control del sistema se ha realizado, pero a diferencia de la POLIWOG1, el controlador presenta resultados similares con la wavelet RASP2.

### **3. Discusión**

Haciendo una comparación de las funciones de activación, se observó que la RASP1 presenta mejores resultados sobre el motor de cd, que las otras 2 funciones de activación, pero quedando como trabajo a futuro realizar el controlador con 5 diferentes wavelets para determinar cuál presenta mejores resultados.

El control PID wavenet realiza su función de manera adecuada en simulación, el siguiente paso será desarrollar de manera práctica dicho control y confirmar que realmente controle la velocidad de un motor de cd con todos los parámetros que puedan afectar o intervenir a dicho controlador. Además de realizar pruebas de estabilidad para la validación del controlador.

### **4. Conclusiones**

A partir de los resultados obtenidos en simulación, se comprobó que la combinación de las RNA y el controlador PID ofrecen ventajas y una alternativa viable para controlar sistemas no lineales, de los que no se conoce el modelo matemático ni sus parámetros, además de hacer una comparación en base a resultados de las diferentes wavelets para garantizar mejores resultados.

# Referencias

K. Astrom. 2006, Computer Controlled Systems: theory and desing (3rd Ed), Prentice Hall.

M. Espejel J. Cruz, L.E. Ramos, 2009, PID Wavelet Auto-Sintonizado, vol. 1., pp 23-31.

I. Daubechies. 1990, The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 36, No. 5, pp. 961-1005.

K.S. Narendra A.U. Levin.1993, Control of Nonlinear Dynamical Systems Using Neural Networks: Controllability and Stabilization, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 4, No. 2, pp. 192-206.

T. Hagglund K. Astrom. 2006.,PID Controllers (2da Ed), ISA.

K. Ogata.,1996., Sistemas de Control en Tiempo Discreto (2da Ed), Prentice Hall.

## Notas biográficas:

**M. en C. Abraham Christian Pedroza Araujo** obtuvo su título de Maestría en Ciencias con especialidad en Mecatrónica en la Universidad Politécnica de Pachuca, en Pachuca, Hidalgo. Actualmente Profesor Investigador en la Universidad Politécnica de Texcoco, Texcoco de Mora, Estado de México, México. Su línea de investigación es robótica avanzada e interfaces hápticas.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.