



Academia Mexicana
de la
Ciencia de Sistemas



Universidad
de Guanajuato

Memoria Técnica



Congreso Internacional
de
la
Ciencia de Sistemas

*"Conocimiento Sistemico
para el desarrollo"*

Diseño Gráfico: V. H. Jiménez Arredondo.

Editores: A. Lara-López
M. A. Ibarra-Manzano
O. G. Ibarra-Manzano

ISBN: 978-607-441-263-5

9 786074 412635

Yuriria, Gto., México

3 y 4 de octubre de 2013

Presidente del Congreso:

Dr. Arturo Lara López, Universidad de Guanajuato, México

Coordinado del Comité Técnico

Dr. Mario Alberto Ibarra Manzano, Universidad de Guanajuato, México

Coordinador Administrativo:

Dr. Oscar Gerardo Ibarra Manzano, Universidad de Guanajuato, México

Coordinador Local del Congreso

Dr. Everardo Vargas Rodríguez, Universidad de Guanajuato, México

Coordinadores de Especialidades:

Dr. David Claudio González, Universidad de Guanajuato, México

Dr. José Amparo Andrade Lucio, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Horacio Rostro González, Universidad de Guanajuato, México

Comité Local del Congreso:

Dr. Arturo Lara López, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Horacio Rostro González, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Everardo Vargas Rodríguez, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Oscar Gerardo Ibarra Manzano, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Mario Alberto Ibarra Manzano, Universidad de Guanajuato, México

Dr. David Claudio González, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Sergio Ledesma Orozco, Universidad de Guanajuato, México

Dr. Juan Gabriel Aviña Cervantes, Universidad de Guanajuato, México

Dra. Mónica Trejo Durán, Universidad de Guanajuato, México

Dr. José Ruiz Pinales, Universidad de Guanajuato, México

Dra. Ma. de Guadalupe García Hernández, Universidad de Guanajuato, México

ISBN: 978-607-441-263-5





Yuriria, Guanajuato, México

3 y 4 de Octubre del 2013

La Academia Mexicana de la Ciencia de Sistemas (AMCS), y el Comité Estatal de Guanajuato de la misma, se complacen en organizar la V Edición del congreso internacional de la ciencia de sistemas, que se llevó a cabo los días 3 y 4 de Octubre del 2013, en la Sede Yuriria de la Universidad de Guanajuato.

El congreso tiene como objetivo exponer e intercambiar análisis transversales y longitudinales de los sistemas educativos, políticos y tecnológicos, así como su entorno, para contribuir mediante el estudio y la utilización adecuada de la Ciencia de Sistemas, en la formulación de propuestas de solución sobre problemas de carácter sectorial, nacional e internacional en los ámbitos académico, científico y tecnológico.

Contenido

Aplicación de la Espectroscopia Raman como herramienta para el diagnóstico médico: Fibrosis hepática <i>M. G. Ramírez-Elías, D. Kershenobich, G. Escobedo, F. J. González</i>	1
Algoritmos de Constancia de Color para el Mejoramiento de Imágenes Oscuras <i>J. Cepeda-Negrete, R. E. Sanchez-Yanez</i>	15
Shadow detection and removal in RGB images using K-NN classification method <i>T. Serrano-Ramírez, J. Ruiz-Pinales, J. G. Aviña-Cervantes</i>	21
Solving Discounted Markov Decision Processes by Using Prioritized Approach <i>M. de G. García-Hernández, J. Ruiz-Pinales, J. G. Aviña-Cervantes, A. Huerta-Fuerte, H. Rostro-González, S. Ledesma-Orozco, R. Guzmán-Cabrera</i>	32
The Unbiased Finite Impulse Response Filter: Theoretical Aspects <i>L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, R. F. Vázquez-Bautista, O. G. Ibarra-Manzano, M. A. Ibarra-Manzano, M. González-Lee, J. G. Aviña-Cervantes, S. Pérez-Cáceres, R. Varguez-Fernández, S. A. Santiago-Vargas, G. Triano-Carballo</i>	53
Flexion sensing setup based on an all fiber Intrinsic Fabry-Perot Interferometer <i>D. Jáuregui-Vázquez, J. M. Estudillo-Ayala, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Sierra-Hernández, I. Cruz-Aceves, S. E. Gonzalez-Reyna, J. G. Aviña-Cervantes</i>	61
All Fiber Mach-Zehnder Interferometer Transfer Function via Semi-Physical Modelling <i>S. E. Gonzalez-Reyna, J. M. Sierra-Hernandez, D. Jauregui-Vazquez, J. G. Avina-Cervantes, E. Gallegos-Arellano, R. Rojas-Laguna, I. Cruz-Aceves</i>	68
Recognition and authentication of handwritten signatures based on Geometric Attributes <i>J. G. Aguilera-Gonzalez, S. E. Gonzalez-Reyna, J. I. Yanez-Vargas, S. E. Ledesma-Orozco</i>	73
Análisis de un Interferómetro Fabry-Perot utilizando obleas de silicio y germanio para el sensado de gases <i>E. Gallegos Arellano, E. Vargas Rodriguez, A. D. Guzman Chavez, R. Rojas Laguna, A. Jurado Paramo</i>	78
El sensor Kinect su uso y aplicaciones <i>F. J. Rangel Butanda, A. L. Quintanilla Olvera, J. J. Hernández López, M. A. Ibarra Manzano, S. E. Ledesma Orozco, D. L. Almanza Ojeda</i>	92
La Evaluación de la Calidad en el Servicio: Caso de Estudio “Restaurant Familiar Los Fresnos” <i>A. Guzmán López, M. de L. Cárcamo Solís</i>	100
Calibración del Sensor Kinect <i>E. Ortiz-López, J. L. López-Ramírez, M. A. Ibarra-Manzano</i>	149

Development of a self-consistent method for the study of the Spin Transfer Torque effect a based on micromagnetics and a semiclassical transport theory <i>D. Claudio-González, A. Thiaville, J. Miltat</i>	157
Control de trayectoria de un mecanismo cartesiano <i>F. Aguilar Acevedo, D. L. Almanza Ojeda</i>	164
Generación de productos similares a la tierra de monte a partir de Lirio Acuático en el Área Natural Protegida Laguna de Yuriria, Guanajuato <i>R. Correa Cruz, U. A. Segura Garduño, A. Ortega Hernández</i>	170
Introducción de procesos de innovación para corregir los problemas económicos de la industria ladrillera en el municipio de Yuriria, Guanajuato <i>O. Muñoz Ochoa, A. Ortega Hernández, M. León Andrade</i>	181
Implementación de un sistema de instrumentación eficiente y rentable para invernaderos <i>H. Hernández Cisneros, E. Vargas Rodríguez, A. Ortega Hernández</i>	201
Desarrollo espacial en México <i>C. G. León Vega, O. Dolores Vázquez, L. A. Iturri Hinojosa</i>	223
Nonlinear Optical characterization of Au nanoparticles <i>M. Trejo-Durán, E. Alvarado-Méndez, J. M. Estudillo-Ayala, E. Vargas-Rodríguez, R. I. Mata-Chávez</i>	231
Aplicación basada en HTML5 para captura y procesamiento de video en tiempo-real independiente de la plataforma y dispositivo <i>L. M. Burgara-Lopez, G. Trejo-Caballero, M. Arroyo-Almaguer, C. H. Garcia-Capulin</i>	236
Perfiles de fase fotoinducidos por haces unidimensionales en un cristal fotorrefractivo <i>J. A. Andrade-Lucio, E. Alvarado-Méndez, M. A. Ibarra-Manzano, R. Rojas-Laguna, J. M. Estudillo-Ayala, O. Shulika, I. Sukhoivanov, I. Guryev</i>	244
Regresión no paramétrica usando curvas B-spline y algoritmos genéticos jerárquicos <i>C. H. Garcia-Capulin, G. Trejo-Caballero, L. M. Burgara-Lopez, H. Rostro-Gonzalez, J. G. Avina-Cervantes</i>	254
El proceso de diseño de máquinas con visión sistémica <i>A. Lara López</i>	258
Evaluación de modelos homogéneos para la caída de presión en un flujo en dos fases vertical <i>J. M. Riesco-Ávila, E. E. Vázquez-Ramírez, F. Elizalde-Blancas, J. Serrano-Arellano, A. A. Aguilar-Moreno</i>	266
Aproximación de funciones basada en algoritmos genéticos y funciones de base radial <i>G. Trejo-Caballero, H. Rostro-Gonzalez, O. Ibarra-Manzano, J. G. Avina-Cervantes, M. G. Garcia-Hernandez, C. H. Garcia-Capulin, L. M. Burgara-Lopez</i>	288
Gestión Segura de Redes SCADA <i>J. M. Ballester Fernández</i>	294

Aplicación de la Espectroscopía Raman como herramienta para el diagnóstico médico: Fibrosis hepática

Miguel G. Ramírez-Elías^a, David Kershenobich^c, Galileo Escobedo^d,

Francisco J. González^b

- a. Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, C.P. 38940, Yuriria, Gto, México.

Correo electronico: ghebre@ugto.mx, tel: (445)4589040 ext. 1754

- b. Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, Mexico

- c. Departamento de Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Hospital General de México, México D.F., Mexico

- d. Unidad de Medicina Experimental, Hospital General de México, México D.F, Mexico

Aplicación de la Espectroscopía Raman como herramienta para el diagnóstico médico: Fibrosis hepática

Resumen

En este trabajo se reporta la aplicación de espectroscopía Raman en la evaluación de la fibrosis hepática. Los espectro Raman de hígado de ratas expuestas a la administración crónica de tetracloruro de carbono fueron obtenidos y analizados usando el análisis de componentes principales y la intensidad de la autofluorescencia. El primer componente principal, discrimina entre los espectros de tejido sano (controles) con respecto al tejido con fibrosis. La intensidad de los espectros de autofluorescencia fue útil para identificar a los diferentes grupos. Los resultados demuestran el potencial de la espectroscopía Raman como una herramienta en la valoración de enfermedades de hígado.

Palabras clave: Espectroscopía Raman; Análisis de Componentes principales; fibrosis hepática.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

Application or Raman Spectroscopy as diagnostic tool in medicine: Liver fibrosis

Abstract

In this work an application of Raman spectroscopy in the assessment of liver fibrosis is reported. Raman spectra of liver from rats exposed to chronic administration with carbon tetrachloride were measured and analyzed using principal component analysis and autofluorescence intensity. The first component principal discriminates between health tissue (controls) and fibrosis tissue. The autofluorescence intensity of the Raman spectra was useful to identify the different groups. The results demonstrate the potential of Raman spectroscopy as tool in the assessment of liver fibrosis.

Keywords: Raman spectroscopy; Principal component analysis; Liver fibrosis.

Introducción

La fibrosis hepática es una patología cuya principal característica es la acumulación desordenada de proteínas de la matriz extracelular (MEC), una característica en la mayoría de las enfermedades crónicas de hígado (Friedman, 2007). Las principales causas de la fibrosis hepática en los países industrializados son los virus de la hepatitis B y C, el abuso de alcohol, fármacos, ciertas drogas y la enfermedad biliar crónica. La acumulación de proteínas de la MEC disminuye las funciones del hígado, con pérdida de la arquitectura normal y la formación de nódulos de regeneración. Si no se trata, la fibrosis puede progresar a cirrosis, una fase terminal consecuencia de la fibrosis, que en última instancia conduce a insuficiencia hepática y posible muerte (Gines, Cardenas, Arroyo, Rodes, 2004). Aun en la etapa de fibrosis hepática avanzada, la enfermedad es potencialmente reversible, como se ha demostrado en la década de 1990 (Gines *et al*, 2004). Debido a esto, las compañías biofarmacéuticas y los investigadores están cada vez más interesados en desarrollar programas antifibróticos y ensayos clínicos están en curso actualmente. Como es sabido, la terapia más efectiva para el tratamiento de la fibrosis hepática hasta la fecha aún depende del tratamiento médico (Bataller, Brenner, 2001). Medicamentos como por ejemplo, los antioxidantes y bloqueadores del sistema renina-angiotensina, son capaces de reducir la acumulación de tejido cicatricial en los modelos experimentales de lesión hepática crónicas, aunque su eficacia no ha sido probada en seres humanos. La falta de ensayos clínicos se debe al que se requieren de estudios de seguimiento a largo plazo el hecho de que la biopsia hepática, un procedimiento invasivo, sigue siendo el método de "estándar de oro" para el diagnóstico histológico de la fibrosis hepática (Afdhal, Nunes, 2004). En este sentido, el desarrollo de una técnica fiable, sencilla y no destructiva para evaluar rápidamente la fibrosis hepática facilitaría los ensayos clínicos. Actualmente, la biopsia hepática se considera el método estándar de oro para la evaluación de la fibrosis hepática.

(Manning , Afdhal , 2008). El examen histológico es útil en la identificación de la causa subyacente de la enfermedad hepática y el estadio de fibrosis. La etapa de fibrosis se evalúa mediante el uso de escalas como Metavir (estadios I-IV) y La puntuación de Ishak (estadios I-V). El marcaje específico de proteínas de matriz extracelular (por ejemplo, con rojo Sirio) se puede utilizar para cuantificar el grado de fibrosis, mediante el análisis morfométrico guiado por computadora. La Biopsia de hígado es un procedimiento invasivo, presentándose dolor y complicaciones graves en el 40% y el 0,5% de los pacientes, respectivamente (Thampanitchawong, Piratvisuth, 1999). Errores de muestreo pueden ocurrir, especialmente cuando se analizan las biopsias pequeñas. El examen histológico es propenso a variaciones entre observadores y no predice el progreso de la enfermedad (Regev, 2002). Por lo tanto, hay una necesidad de métodos fiables, sencillos y no invasivos para evaluar la fibrosis hepática. Uno de los métodos propuestos es la espectroscopía Raman. A la fecha, son pocas las aplicaciones de espectroscopía Raman en hepatología. Hawi y colaboradores (Hawi *et al*, 1996) usaron microespectroscopía Raman para caracterizar hepatocitos normales y malignos en células cultivadas y tejidos de hígado humano. Fueron observados cambios espectrales, incluido el aumento de intensidad en 1040 y 1083 cm⁻¹ en tejido cirrótico y canceroso. Observaron también que el tejido normal de hígado difiere del tumor maligno como del tejido cirrótico en los 1182 cm⁻¹. El incremento en la intensidad de banda 1182 cm⁻¹ puede estar relacionado con un incremento en la fetoproteína, la cual está relacionada con hepatoma. La banda 1040 cm⁻¹ está asociada a la fenilalanina y finalmente el incremento en intensidad Raman de la banda 1083 cm⁻¹ indica un aumento en la concentración de ADN en tejido canceroso. Por su parte, Li y colaboradores analizaron las diferencias entre los espectros Raman del suero de personas normales y de pacientes con enfermedades de hígado (Xiaozhou *et al* , 2004). Los resultados de más de doscientas mediciones mostraron que el diagnóstico del espectro concuerda con el del resultado clínico. Shen y colaboradores, estudiaron la viabilidad de un novedoso y eficaz método de

diagnóstico para la fibrosis hepática mediante espectroscopía Raman Confocal (Xiaozhou *et al* , 2004).

Usando esta técnica pudieron observar los cambios bioquímicos presentes durante la activación de las células hepáticas estelares, así como la pérdida de retinoide, el aumento de proteína helicoidal, y el aumento de la producción de matriz extracelular. Además, desarrollaron un sistema para clasificar a los espectros Raman de los tejidos con lesión hepática con una precisión de 90%. Maternity y colaboradores utilizaron por primera vez espectroscopía Raman para evaluar el efecto del indol-3-carbinol (I3C) en lesión hepática ex vivo (Shen, 2007). Del análisis de los espectros Raman de secciones de tejido, obtuvieron espectros diferentes que fueron útiles para distinguir lesión de hígado por alcohol y fibrosis hepática inducida por etanol, del estado normal. Haciendo análisis de picos Raman y Análisis de Componentes Principales pudieron clasificar los tejidos de hígado con diferentes patologías. Los resultados sugieren que la espectroscopía Raman es un método rápido y fiable para la caracterización del tejido hepático. De igual forma, los resultados demuestran el potencial de la espectroscopía Raman en el diagnóstico clínico de enfermedades de hígado. Para la presente investigación, se propone el uso del Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) que a diferencia del análisis realizado por Shen *et al*, que selecciona algunas bandas del espectro Raman para su análisis, PCA toma en cuenta todo el espectro Raman, evitando perdida de información contenida en el espectro mismo. Además se incluye otro método basado en el nivel de autofluorescencia del espectro Raman, ambas técnicas se utilizaron con el objetivo diferenciar entre espectros Raman de hígado de rata normal y el afectado por fibrosis. Una vez válidos los resultados mediante las técnicas estándares, se hace la evaluación del desempeño de la espectroscopía Raman como una herramienta para la valoración de la fibrosis hepática.

Materiales y Métodos

Para esta investigación se usaron 60 Ratas Wistar. Divididas en grupos Control, Sham y Fibrosis. Para inducir la fibrosis hepática, al grupo Fibrosis se les inyectó tetracloruro de carbono (CCl_4) intraperitoneal (I.P.) con una dosis 0.2 ml/ 100 g de peso disuelto en aceite de oliva en una proporción 1:1 dos veces por semana. El grupo Sham fue inyectado con únicamente aceite de oliva. El grupo Control no fue alterado en ninguna forma. 18 ratas fueron sacrificadas después de 4 semanas, 18 ratas después de 10 semanas y 18 después de 20 semanas. De esta manera se midieron ratas con diferentes grados de fibrosis: de leve a grave o incluso con cirrosis. Después de cada sacrificio se extrajo el hígado a cada rata y una sección del hígado fue utilizada para medir con espectroscopía Raman. El grado de fibrosis fue determinado por un patólogo experto acorde a la escala Metavir, la cual clasifica en: sin fibrosis (F0), fibrosis leve (F1), fibrosis moderada (F2) y fibrosis avanzada (F3) (Hübscher, 1998).

Las mediciones Raman fueron realizadas temperatura ambiente usando el sistema Raman modelo R3000 (Ocean Optics, FL) el sistema cuenta con un láser de longitud de onda de 785nm (90 mW) y una resolución espectral de 8 cm^{-1} . Las mediciones fueron realizadas en el rango espectral de 200 a 1800cm^{-1} y el instrumento fue calibrado antes de cada ronda de mediciones usando una muestral de Teflón como referencia.

Todos los espectros fueron preprocesados para remover la autofluorescencia usando el algoritmo propuesto por Lieber y Mahadevan-Jansen, (2003). El mencionado algoritmo le resta al espectro Raman adquirido un polinomio de quinto grado, que representa la autofluorescencia. Una vez hecha la resta se obtiene el espectro Raman final. Para el análisis estadístico se utilizaron el conjunto de espectros Raman sin fluorescencia y los espectros de autofluorescencia. Está reportado que el uso de la espectroscopía Raman en combinación con la autofluorescencia es una buena alternativa para diferenciar entre tejido normal y tejido enfermo (13). Para el análisis estadístico se utilizaron dos enfoques: el primero fue

aplicar Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) al conjunto de espectros Raman y el segundo fue calcular la intensidad de los espectros de autofluorescencia.

Resultados

La figura 1 muestra la gráfica de ACP de los espectros Raman de hígado de ratas después de 4 semanas del tratamiento con tetracloruro. El grupo fibrosis tiene grado F1 (leve). Los primeros dos componentes principales (que se nombran como PC) explican el 85% de la varianza total (PC1 75%, PC 10%). El PC1 separa el grupo fibrosis del grupo control (control y sham)

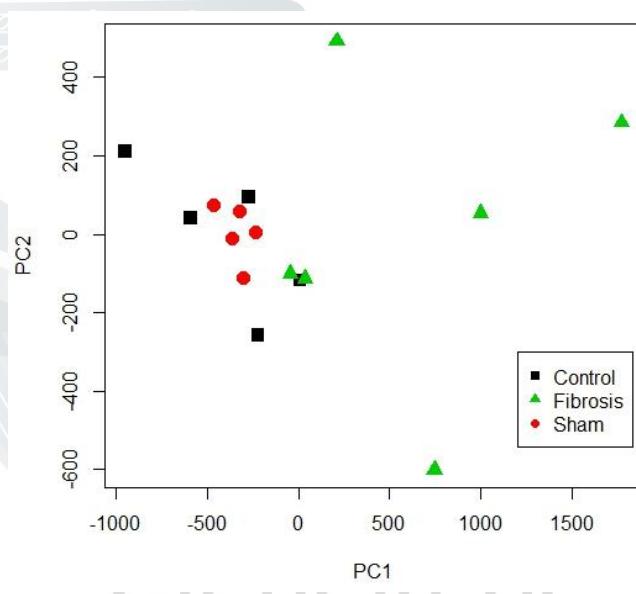


Fig. 1 Gráfica ACP de los espectros de hígado de ratas (4 semanas de tratamiento)

La figura 2 muestra la gráfica de ACP de los espectros Raman de hígado de ratas después de 10 semanas de tratamiento con tetracloruro. El grupo fibrosis tiene ahora grado 2 (moderado). Los primeros dos componentes principales (PC) explican el 80% de la varianza total (PC1 68%, PC2 12%). El PC1 separa al grupo fibrosis de los controles (control y sham). El grupo control y sham tiene similares puntuaciones de PCs debido a que sus espectros son muy similares, como es esperado.

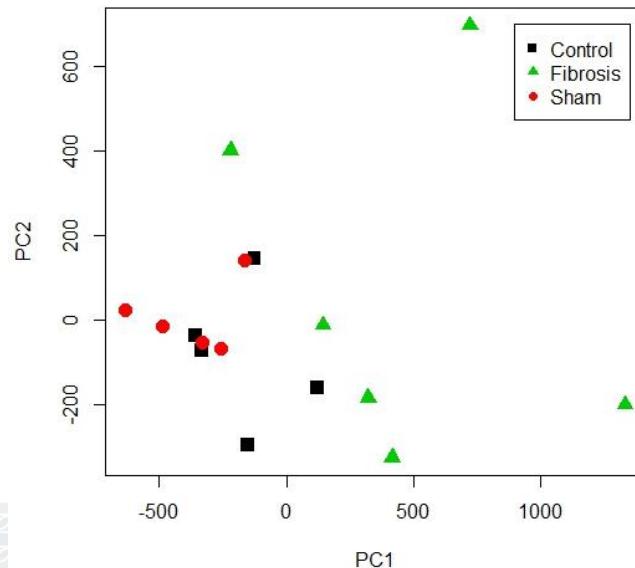
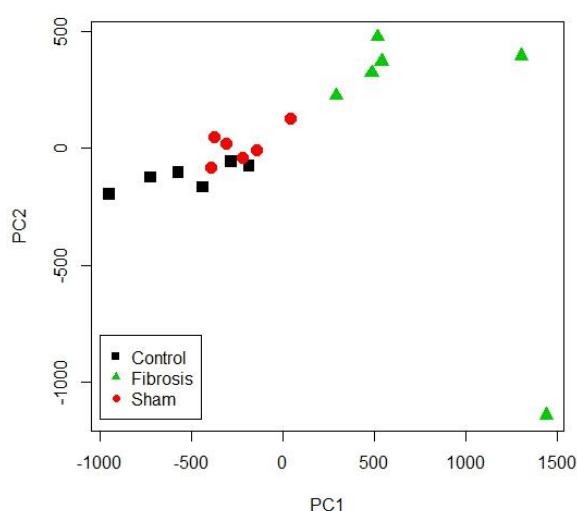


Fig. 2 Gráfica ACP de los espectros de hígado de ratas (10 semanas de tratamiento)

En las mediciones finales, (20 semanas de tratamiento con tetracloruro) el grupo fibrosis presenta grado F3 (grave). En la figura 3 se han graficado los PC1 y PC2. Juntos explican el 78% de la varianza total (PC1 60%, PC2 18%). Nuevamente el grupo de fibrosis se localiza hacia valores mas positivos del CP1, pero podemos observar que dos espectros de este grupo se alejan a valores mas positivos de CP2 comparados con el resto, y es importante mencionar que a estas muestras se les detectó cirrosis.



*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Fig. 3 Gráfica PCA de los espectros de hígado de ratas (20 semanas de tratamiento)

Otra manera de diferenciar entre los diferentes grupos, fue calculando la intensidad de los espectros de autofluorescencia para cada uno de los grupos. En la figura 4 se muestran los valores de la media y desviación estándar de la intensidad de la autofluorescencia para los grupos Control, Sham y Fibrosis de las primeras mediciones (4 semanas de tratamiento con tetracloruro)

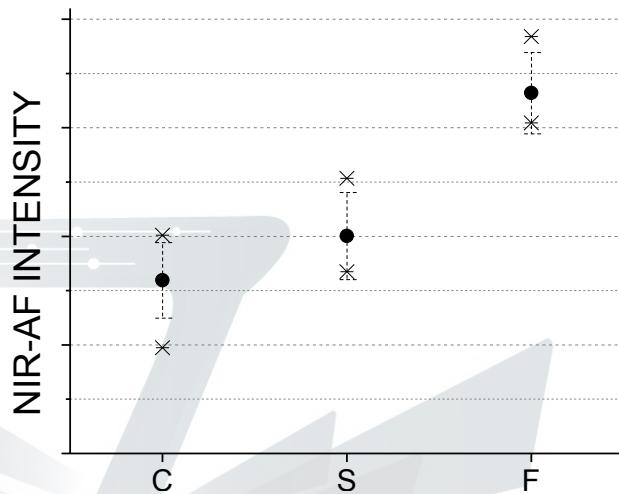


Fig. 4 Intensidades de autofluorescencia (AF) para los diferentes grupos: Control (C), Sham (S) y Fibrosis (F).

De manera similar, en la figura 5, se muestran los valores de la intensidad de la autofluorescencia (media y desviación estándar) para las mediciones finales (20 semanas de tratamiento con tetracloruro) en estas mediciones 4 presentaron fibrosis grave y 2 cirrosis. Los resultados permiten identificar al tejido con fibrosis (F) y al tejido con cirrosis (indicado por una X).

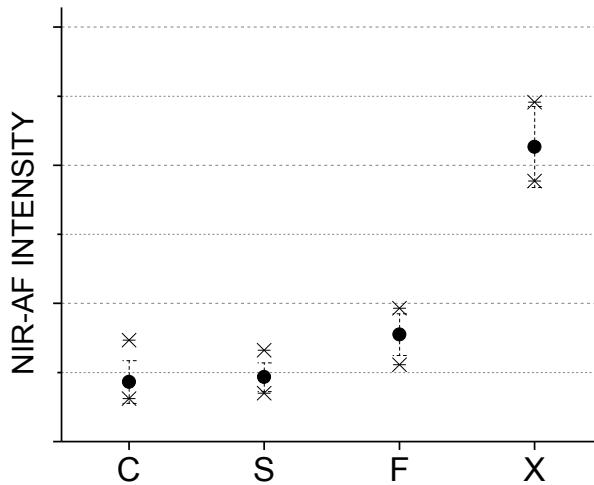


Fig. 5 Intensidades de autofluorescencia para los diferentes grupos: Control (C), Sham (S), Fibrosis (F) y Cirrosis (X)

Discusión

El primer componente principal es el que ha permitido diferenciar los espectros Raman de hígado sano, proveniente de los grupos control y sham (controles) y las muestras de hígado con fibrosis. Se observa que el grupo con fibrosis se aleja hacia valores más positivos del primer componente principal. Se ha podido observar también que para la última medición (20 semanas de tratamiento de tetracloruro) existen dos espectros Raman del grupo fibrosis que se alejan del grupo hacia valores más positivos del primer componente, y es interesante notar que estos dos espectros provienen de hígados de rata con diagnóstico de cirrosis. Es decir, que se ha podido detectar esta etapa avanzada de la fibrosis. Respecto a la autofluorescencia, se observa una intensidad de mayor en tejido con fibrosis que en tejido normal (Control y Sham). Está reportado que diversos fluoróforos en el tejido como el colágeno (Huang, Liu, McLean, Korbelik, Zeng, 2005), la melanina (Huang, 2006) y porfirinas (Zheng, Lau, Cheng, Soo, Olivo, 2003) y muestran autofluorescencia. Se sabe que la fibrosis se caracteriza por una excesiva acumulación de proteínas de la MEC, en la cual el colágeno está incluido principalmente (Friedman,

2000). Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el aumento en la intensidad de la autofluorescencia en el tejido con Fibrosis se debe al incremento en la cantidad de colágeno característico de esta enfermedad. El aumento en la intensidad de la autofluorescencia está asociado al incremento en la cantidad de colágeno. En el tejido con cirrosis hay una cantidad mayor de colágeno, por lo que este exhibe una mayor autofluorescencia mucho mayor respecto al tejido normal.

Conclusiones

Los resultados de este estudio mostraron que utilizando la espectroscopía Raman es posible identificar diferencias entre tejido de hígado normal y con fibrosis. Utilizando Análisis de Componentes Principales se ha podido identificar de manera gráfica, observando los valores del primer componente principal, a los espectros de tejido fibrótico (en la primera medición Raman) y a los espectros de tejido fibrótico y cirrótico (en la tercera medición Raman). Adicionalmente, calculando la intensidad de los espectros de autofluorescencia NIR se ha podido identificar también a los espectros de tejido fibrótico y cirrótico. Estos mostraron mayor intensidad en autofluorescencia NIR debido al incremento en la cantidad de colágeno en el tejido. Así, hemos demostrado que la espectroscopía Raman en combinación con PCA y Autofluorescencia NIR tiene una gran potencial como método rápido para la detección de fibrosis hepática.

Agradecimientos

A la Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por permitir el uso del espectrómetro Raman para las mediciones

realizadas. Agradecimientos a la Unidad de Medicina Experimental del Hospital General de México quienes proporcionaron las muestras e hicieron la evaluación clínica de las mismas y facilitaron su laboratorio para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

Afdhal, N.H., and Nunes, D. (2004). Evaluation of liver fibrosis: a concise review. *Am. J. Gastroenterol.* , 99, 1160–1174.

Bataller, Brenner. (2001), Hepatic stellate cells as a target for the treatment of liver fibrosis, *Semin. Liver Dis.*, 21, 437.

Friedman S. (2003). Liver fibrosis – from bench to bedsid. *J Hepatol*, 38, S38-S53.

Friedman, S. (2000). Molecular Regulation of Hepatic Fibrosis, an Integrated Cellular Response to Tissue Injury. *J. Biol. Chem.*, 275, 2247.

Gines, P., Cardenas, A., Arroyo, V., and Rodes, J. (2004), Management of Cirrhosis and Ascites, *N. Engl. J. Med.* , 350, 1646–1654.

Hawi SR, Campbell WB, Kajdacsy-Balla A, Murphy R, Adar F, Nithipatikom K. (1996). Characterization of normal and malignant human hepatocytes by Raman microspectroscopy. *Cancer Lett.*, 110(1-2), 35-40.

Huang Z, Liu H, McLean D, Korbelik M, Zeng H. (2005). Raman Spectroscopy in Combination with Background Near-infrared Autofluorescence Enhances the In Vivo Assessment of Malignant Tissues. *Photochemistry and Photobiology* , 81, 1219-1226

Huang Zhiwei, Zeng Haishan, Hamzavi Iltefat, Alajlan Abdulmajeed, Tan Eileen, McLean David I., and Lui Harvey. (2006). Cutaneous melanin exhibiting fluorescence emission under near-infrared light excitation. *J. Biomed. Opt.* , 11.

Hübscher SG. (1998) Histological grading and staging in chronic hepatitis: clinical applications and problems. *Journal of Hepatology*; 29(6):1015—22.

Lieber and Mahadevan-Jansen, (2003) Automated method for subtraction of fluorescence from biological Raman spectra, *Applied Spectroscopy*, 57(11), 1363–1367

Manning DS, Afdhal NH. (2008). Diagnosis and quantitation of fibrosis. *Gastroenterology*, 134(6), 1670-81.

Regev, A. (2002). Sampling error and intraobserver variation in liver biopsy in patients with chronic HCV infection. *Am. J. Gastroenterol.* , 97, 2614–2618.

Shen, Liao, Wang, Goan, Wu, Wang, Yu Zhenyu, Jiming. (2007). Study on the in vitro and in vivo activation of rat hepatic stellate cells by Raman spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics* , 12(03).

“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”

Thampanitchawong, P., and Piratvisuth, T. World. (1999). Liver biopsy:complications and risk factors. *J. Gastroenterol.*, 5, 301–304.

Xiaozhou Li., Junxiu Lin., Jianhua Ding., Wang. Shu., Qiang Liu, Shumei Qing.. (2004). Raman spectroscopy and fluorescence for the detection of liver cancer and abnormal liver tissue. *Engineering in Medicine and Biology Society*, 1, 212-215.

Zheng, W., Lau, W., Cheng, C., Soo, K. C. and Olivo, M. (2003). Optimal excitation-emission wavelengths for autofluorescence diagnosis of bladder tumors. *International Journal of Cancer*, 104, 477–481.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Algoritmos de Constancia de Color para el Mejoramiento de Imágenes Oscuras

Jonathan Cepeda-Negrete y Raul E. Sanchez-Yanez *

ABSTRACT

The use of three color constancy algorithms for enhancement purposes on dark images is presented in this article. Three well-known algorithms, the White-Patch, the Gray-World, and the Gray-Edges, offer good performance for determining the illuminant in a scene. In this work, we explore the use of these simple algorithms for image enhancement, particularly for the processing of scenes under low lightness conditions. A total of 529 dark images are processed using the three algorithms and the outcomes are compared for evaluation purposes measuring the color content they exhibit. For this, the average of chroma in the CIELAB space is used as the measurement unit. Experimental results show that these color constancy algorithms are a powerful tool for dark image enhancement.

RESUMEN

En este artículo se explora el uso de tres algoritmos de constancia de color para el mejoramiento de imágenes oscuras. Tres conocidos algoritmos, el de Parche blanco, el de Mundo Gris y el de Bordes Grises, proporcionan un buen desempeño para la determinación del iluminante en una escena. En este trabajo, exploramos la utilización de estos algoritmos simples para la mejora de imágenes, particularmente para el procesamiento de escenas bajo escasa iluminación. Un total de 525 imágenes oscuras son procesadas usando los tres algoritmos y las resultantes son comparadas con propósitos de evaluación midiendo el contenido de color que muestran. Para esto, el promedio cromático en el espacio CIELAB se usa como unidad de medida. Los resultados experimentales muestran que estos algoritmos de constancia de color son una herramienta poderosa para el mejoramiento de imágenes oscuras.

INTRODUCCIÓN

El color es un atributo importante áreas de reconocimiento de patrones y visión por computadora. Aplicaciones típicas incluyen la extracción de características [1], la clasificación de imágenes [2], el reconocimiento de objetos [3, 4], la interacción hombre-máquina [5] y los modelos de apariencia del color [6]. Los colores observados en las imágenes son determinados por propiedades intrínsecas de los objetos y las superficies, influenciados por el color de la fuente luminosa presente.

Palabras clave:

Color constancy, image enhancement, color

Keywords:

Constancia de color, mejora de imagen, color

El color puede ser referido con nombres de descripción cromática tales como azul, rojo, verde, amarillo y acromáticos como blanco, negro, gris. También, puede ser calificado por brilloso, claro, oscuro, etc. El color percibido depende de la distribución espectral del estímulo del color. También depende del tamaño, forma, estructura y lo que rodea al área del estímulo. Además, del estado de adaptación del sistema visual del observador, y de la experiencia previa del observador en situaciones similares en observaciones.

La habilidad de distinguir los colores correctos de una o varias superficies, independiente del color de la fuente de luz presente en la escena, se conoce como *Constancia de Color* [7]. Esta eliminación o disminución del efecto ocasionado por la iluminación [8] es esencial para la robustez de sistemas basados en color. Un ejemplo se muestra en la Figura 1, donde se representa la misma tarjeta de calibración bajo dos diferentes fuentes de iluminación. Cuando observamos los parches superiores en las tarjetas, los humanos podríamos observar los colores rosa y amarillo, respectivamente, cuando realmente es beige. De forma similar, para los parches inferiores, los colores observados son distintos al color real, gris.

*Universidad de Guanajuato DICIS, carr. Salamanca-Valle de Santiago km 3.5+1.8, Com. Palo Blanco, c.p. 36885 Salamanca, Gto. México.
Email: jonathannc@aviria.org, sanchezzy@ugto.mx

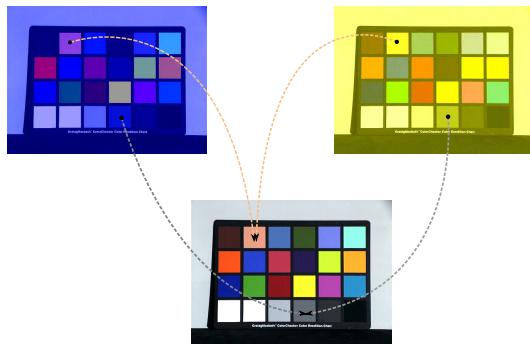


Figura 1 . Tarjeta de calibración bajo dos fuentes de iluminación distintas, azul y amarilla. Así mismo, la tarjeta bajo iluminación ideal mostrando los colores correctos de los parches.

La constancia de color permite la interpretación de los colores en el contexto de su entorno. El sistema visual humano aprende de manera natural esta habilidad, hasta cierto punto. Sin embargo, los mecanismos que están involucrados en esta habilidad no están del todo entendidos aún. Por el contrario, los sistemas visuales mecánicos y electrónicos, solamente reciben luz del entorno, por lo cual resulta complicado entender la información correcta de la escena proporcionada [9]. En consecuencia, es necesario realizar una calibración de cámara o un pos-procesamiento para producir una imagen real y atractiva. Otras aplicaciones de visión por computadora, como el reconocimiento de objetos o escenas, la segmentación, el seguimiento por video y la atención visual, pudieran beneficiarse de una precisa constancia de color.

Desde el punto de vista computacional, la constancia de color se define como la transformación de una imagen de entrada, tomada bajo una iluminación desconocida, a una imagen que aparece ser tomada bajo una luz conocida, comúnmente blanca. Para esto, se necesita estimar el color de la fuente de luz en la imagen. Estos valores del color de la fuente lumínosa, son usados para transformar la imagen de entrada a una de salida. La imagen resultante representa la misma escena que la imagen de entrada, pero ahora apareciendo ser tomada bajo una fuente de luz conocida (blanca).

Tres algoritmos comúnmente utilizados para la constancia de color son el que asume un Mundo Gris (*Gray-World assumption*), el de Parche Blanco (*White Patch*), y el de Bordes Grises (*Gray-Edges*). El primero se basa en una de las suposiciones más conocidas y utilizadas, la suposición del Mundo Gris [10]. Esta asume que la iluminación reflejada por los objetos (reflectancia) promedio en una escena, bajo una fuente de luz blanca, es acromática. Otro algoritmo muy conocido se basa en la suposición del Parche Blan-

co, es decir, la suposición de que la respuesta máxima en los canales del espacio RGB es causada por una reflectancia perfecta [11]. Otros métodos se basan en estadísticas simples de las imágenes, y un ejemplo es el algoritmo de Bordes Grises [12], este asume que el iluminante es el promedio en las diferencias de sus reflectancias.

Aunque los algoritmos de constancia de color pretenden únicamente estimar el color de la fuente lumínosa, como resultado colateral de alguno de estos, se observa que, además de la estimación de la fuente de iluminación, se mejora sustancialmente la calidad de una imagen en el contenido cromático. En este trabajo se presenta únicamente un estudio acerca de la mejora del color en imágenes producidas por los tres algoritmos básicos ya mencionados. Además, con un enfoque particular en el procesamiento de imágenes oscuras.

En la Sección Metodología se presenta el procedimiento que se llevará a cabo en la experimentación; además se describirán los tres algoritmos de constancia de color que se usarán en este estudio, así como la medida de calidad sugerida para la evaluación. En la sección siguiente se presentarán los resultados correspondientes a la experimentación realizada. Y, finalmente en las Conclusiones se incluyen algunas observaciones sobre el uso de estos algoritmos.

METODOLOGÍA

En esta sección, se describirán los algoritmos de constancia de color objeto de este estudio y la medida del promedio de la croma para evaluarlos. En la Figura 2 se muestra la metodología que se llevará a cabo en los experimentos. Una imagen de entrada, en nuestro caso oscura, será procesada por los tres algoritmos para posteriormente evaluar los resultados de ellos, y de esta forma, poder determinar cuál algoritmo es mejor y bajo qué condiciones.

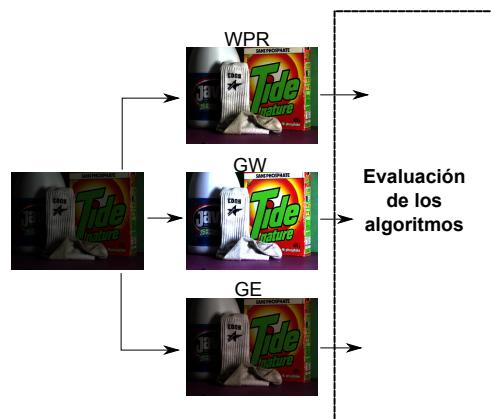


Figura 2 . Diagrama del proceso a seguir en nuestros experimentos.

Representación de la imagen

Una vez que el color de la fuente de luz se ha estimado, ésta es usada para transformar la imagen de entrada de modo que produzca una imagen de salida. Esta última aparenta haber sido tomada bajo una fuente de luz canónica, a este proceso se le conoce como adaptación cromática. La adaptación cromática usualmente se modela utilizando una transformación lineal, que a su vez se puede simplificar a una transformación en diagonal, cuando se cumplen ciertas condiciones [13, 14, 15]. Este modelo escala las componentes de color de un píxel de forma independiente, en base a la fuente luminosa que es estimada, de manera que los colores originales son transformados para que aparenzan haber sido capturados bajo una fuente de luz blanca.

Los algoritmos considerados en este trabajo, asumen que la iluminación es uniforme a través de la escena. La Ecuación (1) nos indica la relación que existe en la formación del color en una imagen

$$f_i(x, y) = G(x, y)R_i(x, y)I_i, \quad (1)$$

donde, la $f_i(x, y)$ es la intensidad del píxel en la posición (x, y) de una imagen o un cuadro de video, $G(x, y)$ es un factor que depende de la geometría de la escena, $R_i(x, y)$ es la reflectancia de un punto del objeto mostrado en la misma posición, y por último, I_i es el iluminante en la escena. El índice i corresponde al canal de color en la imagen.

Para escenas con iluminación uniforme, los algoritmos de constancia de color asumen que $G(x, y) = 1$ y $R_i(x, y) = 1$, permitiendo que el iluminante dependa totalmente de la imagen de entrada. Por otra parte, una imagen de salida ideal, es aquella donde no existe un iluminante que altere la escena, o mejor dicho, que este iluminante es el blanco perfecto,

$$o_i(x, y) = G(x, y)R_i(x, y). \quad (2)$$

donde I_i representa la iluminación canónica blanca (valor de 1 en cada componente). La imagen de salida, $o_i(x, y)$, resulta de la sustitución de las variables en las ecuaciones y está dada finalmente por

$$o_i(x, y) = \frac{f_i(x, y)}{I_i}. \quad (3)$$

Algoritmo Parche Blanco Retinex

El algoritmo Parche Blanco fue propuesto por Land y McCann [11], [16]. El algoritmo Retinex en su forma más simple, el White Patch Retinex (WPR), o Parche Blanco Retinex en Español, toma en cuenta el valor más grande en cada componente de color como una representación del blanco de la imagen. Computacionalmente, este parche blanco es calculado al encontrar la máxima intensidad en cada canal, y está dado por

$$I_i = \max\{f_i(x, y)\}. \quad (4)$$

El algoritmo WPR puede hacerse más robusto si se calcula un histograma para cada componente de color y se considera el iluminante como un alto porcentaje de la acumulación del mismo. Este método es usado por Finlayson en [17] para remover sombras y es considerado como el algoritmo al que se refiere como WP en este trabajo.

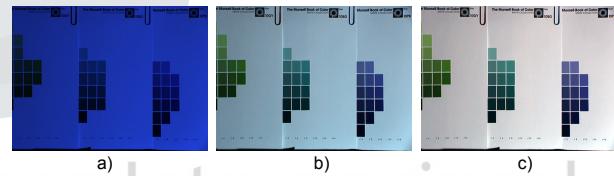


Figura 3. a) Imagen original. b) Imagen procesada con el algoritmo WP original. c) Imagen procesada con la variante de Finlayson.

Algoritmo Mundo Gris

La suposición del Gray World (GW), Mundo Gris en Español, es el algoritmo más conocido de constancia de color. Propuesto por Buchsbaum [10], y es usado como referencia por otros algoritmos, el GW está basado en la suposición de que, en promedio, el mundo es gris, y estima el iluminante usando el color promedio de todos los píxeles. Se asume que la información dada por el promedio de cada canal de la imagen representa el nivel gris.

El primer paso a realizar en el algoritmo GW es calcular el color promedio en la imagen, como se indica en (5),

$$a_i = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \{f_i(x, y)\}, \quad (5)$$

donde M y N son el número de columnas y filas, respectivamente. Despues de una serie de suposiciones acerca de la escena, se asume que el valor adecuado a utilizar es el doble del promedio de la escena

$$o_i(x, y) = \frac{f_i(x, y)}{I_i} = \frac{f_i(x, y)}{2a_i}. \quad (6)$$

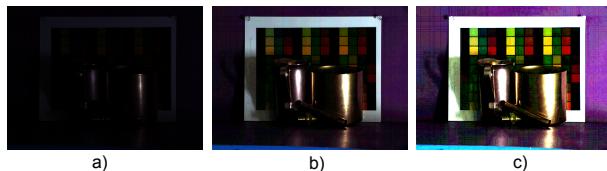


Figura 4 . a) Imagen original. b) Imagen procesada con el algoritmo WP de Finlayson. c) Imagen procesada con GW.

Algoritmo Bordes Grises

Este algoritmo surge por idea de van de Weijer *et al.* [12] como teoría de Gray-Edges (GE) ó Bordes Grises, en Español, y supone que el iluminante es el promedio en las diferencias de las reflectancias. Las ecuaciones para este algoritmo están dadas por

$$\mathbf{I} = \left(\int \left| \frac{\partial^n \mathbf{f}^\sigma(\mathbf{x})}{\delta \mathbf{x}^n} \right|^p d\mathbf{x} \right)^{1/p}, \quad (7)$$

$$I_i = \frac{\left(\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n h_i^\sigma(x, y)^p \right)^{1/p}}{(m \cdot n)^{1/p}}. \quad (8)$$

donde $\mathbf{h}^\sigma = \left(\sqrt{(\partial \mathbf{f}_x)^2 + (\partial \mathbf{f}_y)^2} \right) \otimes \mathbf{G}^\sigma$.

La Ecuación (8) describe un marco de trabajo, el cual produce diferentes estimaciones en el color de la iluminación dependiendo de tres variables. i) El orden n de la derivada en la imagen, ii) la norma Minkowski p , y, iii) el tamaño de σ para el difuminado local. Para este trabajo, sólo se usa este algoritmo con $n = 1$ (primera derivada de la imagen) (GE1).

Promedio de la croma

La componente de croma, como parte de las coordenadas cilíndricas del espacio de color CIELAB, es una componente que representa un vector de magnitud entre dos componentes cromáticas de un espacio de color. Es decir, como todo vector, entre más grande su valor, mayor es la distancia que existe al origen. En este caso, entre mayor sea el valor de la croma, mayor es la distancia entre el color tratado y el origen (acromático). En otras palabras, entre más grande sea la croma esto nos indica que el color es más intenso. Las ecuaciones de transformación de RGB a CIELAB y sus coordenadas cilíndricas se pueden consultar en [6].

En base a nuestra experiencia, el ser humano tiene la tendencia natural de apreciar positivamente una imagen, si ésta cuenta con colores más vividos o intensos. Para entender esto, es necesario entender aspectos filosóficos y psicológicos de la mente humana, pero podría concluirse que se debe a un efecto

placebo de la mente al apreciar colores intensos y contrastantes entre sí.

La croma es un atributo relacionado con la intensidad de los colores. Así, entre más grande sea la croma, más intenso es un color. En este estudio, se considera el promedio de la croma en la imagen, como un indicador de la calidad percibida por los humanos. Entre mayor sea el promedio de ésta, mayor será la calidad de nuestra imagen. Existe un estudio acerca de la croma como medida de calidad en imágenes [18].

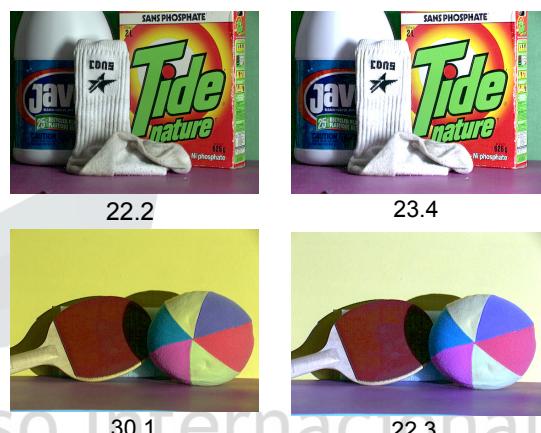


Figura 5 . Dos escenas distintas y cada una con dos imágenes de distinta calidad de acuerdo al promedio de la croma.

Habitualmente, el valor promedio de la croma sí corresponde a la apreciación humana como imagen de mayor calidad ("más bonita"). En la Figura 5, se pueden observar dos ejemplos de la relación existente entre la apreciación humana y el valor de la croma. En este estudio, el promedio de la croma es utilizado en los experimentos para la evaluación de la calidad de las imágenes.

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos por la experimentación realizada en las imágenes oscuras. Los tres algoritmos son evaluados, demostrando que cada uno mejora las imágenes en mayor o menor medida.

Base de datos usada

El conjunto de imágenes contempladas pertenecen a la Universidad de Simon Fraser y recibe el nombre de SFU Laboratory [19]. Este conjunto de datos contiene 529 imágenes oscuras con iluminaciones controladas.

Todas las imágenes cuentan con el valor del iluminante en RGB (verdad de referencia).

Aproximadamente 50 escenas distintas con 11 iluminaciones diferentes conforman al conjunto de las 529 imágenes, todas estas imágenes consideradas como oscuras. Las escenas están divididas en 4 subconjuntos:

1. Especularidades mínimas (22 escenas, 223 imágenes).
2. Especularidades dielectricas (9 escenas, 98 imágenes).
3. Especularidades metálicas (14 escenas, 149 imágenes).
4. Superficies fluorescentes (6 escenas, 59 imágenes).

En la Figura 6, se muestran imágenes de escenas distintas pertenecientes al conjunto de datos *SFU Laboratory*. Cada escena es un ejemplo de las imágenes pertenecientes a un subconjunto. Cabe señalar, que estas imágenes son mostradas con la corrección correspondiente a su verdad de referencia para una correcta apreciación de la escena. Caso contrario tendríamos una imagen casi negra y difícil de apreciar.



Figura 6 . Imágenes de muestra, pertenecientes a la base de datos SFU Laboratory.

Resultados obtenidos

Cada una de las 529 imágenes oscuras fue corregida por los tres algoritmos de constancia de color. Posteriormente las resultantes se transformaron al espacio CIELAB en coordenadas cilíndricas y se mide el promedio de la croma en cada una y el que resulte ser mayor corresponde al algoritmo con mejor desempeño para esa imagen. En la Tabla 1 se dan algunos ejemplos.

Tabla 1 .

Clasificación de las imágenes en base al promedio de la croma.

Índice	WP(1)	GW(2)	GE(1)	Mejor Alg.
0	22.24	23.43	21.79	2
1	21.03	22.04	19.83	2
2	30.12	22.39	25.86	1
3	33.25	23.84	27.56	1
4	14.43	14.79	12.17	2
5	13.53	13.88	12.11	2
⋮				
526	29.66	12.13	25.36	1
527	30.48	10.84	32.06	3
528	25.24	11.49	15.60	1

Aplicando el procedimiento a todas las imágenes podemos obtener la probabilidad de cada algoritmo de resultar ser el mejor entre el conjunto de imágenes oscuras correspondiente. Así mismo, el considerar un número suficientemente alto de imágenes nos da la confianza estadística de dicha probabilidad. Y por otra parte, se puede predecir un comportamiento igual para cualquier imagen oscura similar aunque no pertenezca a esta base de datos. En la Tabla 2 se muestran las probabilidades resultantes.

Tabla 2 .

Probabilidad de resultar ser el mejor algoritmo.

Algoritmo	Probabilidad
WP	0.37
GW	0.45
GE1	0.18

Es importante destacar que las características de las imágenes influyen para que un algoritmo produzca una mejor corrección del color que los otros. Cuando tenemos imágenes oscuras con pequeños destellos luminosos, el algoritmo WP tiende a ser el que realiza una mayor mejora de la imagen. Cuando los destellos luminosos se encuentran en proporciones mayores o la imagen no es tan oscura, el GW tiende a corregir mejor los colores. Pero, cuando la imagen es extremadamente oscura y no presenta destellos luminosos, el GE1 resulta ser la mejor opción para este tipo de imágenes.

La Tabla 3 muestra los tiempos de procesamientos que toma cada algoritmo. Las especificaciones de la computadora son las siguientes: Apple iMac , 2.5 GHz Intel Core i5, 4GB ram 1333MHz DDR3. Podemos apreciar que la diferencia en el tiempo computacional entre GE1 y los otros dos algoritmos es muy significativa. Así mismo, el codificación se realizó en lenguaje C con compilador gcc.

Tabla 3 .

Computing time for each approach.

Algoritmo	Tiempo (ms)
WP	0.28
GW	0.57
GE1	130.44

CONCLUSIONES

Tres algoritmos de constancia de color fueron probados en imágenes oscuras para observar sus respectivos resultados. Así mismo, se evaluó el desempeño de cada algoritmo midiendo el promedio de la croma en cada imagen resultante de la aplicación de estos. Se notó que el algoritmo que tiene más probabilidad de hacer una mayor mejora en una imagen es el algoritmo de Mundo Gris (GW), el segundo en probabilidad es el Parche Blanco (WP) y por último el algoritmo de Bordes Grises (GE). El mejoramiento de imágenes resulta ser una tarea de pre-procesamiento conveniente para aquellas imágenes que son capturadas bajo iluminaciones no controladas. Es aquí donde sugerimos con nuestra aportación, hacer uso de alguno de estos tres algoritmos de constancia de color para realzar el color en las imágenes y hacer un balance de blancos en las mismas. Si fuera necesario elegir entre alguno de los tres, sugerimos usar el Mundo Gris como primera opción.

AGRADECIMIENTOS

Jonathan Cepeda-Negrete agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, por el apoyo proporcionado por medio de la beca escolar 290747 (Convocatoria 388681/254884), a la Universidad de Guanajuato por el apoyo brindado mediante el programa PIFI-2012 y por la beca Formación de Jóvenes Investigadores (FJI) a través de la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado, DAIP.

REFERENCIAS

Referencias

- [1] Gevers, T., Smeulders, A., 2000. Pictoseek: Combining color and shape invariant features for image retrieval. *IEEE Trans. Image Process.* 9(1):102–119.
- [2] Schroeder, M., Moser, S., 2001. Automatic color correction based on generic content-based image analysis. In Proc. of Color Imaging Conference, pages 41–45.
- [3] Gasparini, F., Schettini, R., 2004. Color balancing of digital photos using simple image statistics. *Pattern Recognition* 37(6):1201 – 1217.
- [4] van de Weijer, J., Schmid, C., Verbeek, J., 2007. Using high-level visual information for color constancy. In Proc. of the Inter. Conf. on Computer Vision, pages 1–8.
- [5] Yang, J., Stiefelhagen, R., Meier, U., Waibel, A., 1998. Visual tracking for multimodal human computer interaction. In Proc. of the Conference on Human factors in computing systems, pages 140–147.
- [6] Fairchild, M. D., 2005. *Color Appearance Models*. John Wiley & Sons, 2 edition.
- [7] Zeki, S., 1993. *A vision of the brain*. John Wiley & Sons.
- [8] Gijenij, A., Gevers, T., van de Weijer, J., 2011. Computational color constancy: Survey and experiments. *IEEE Trans. Image Process.* 20(9):2475–2489.
- [9] Agarwal, V., Abidi, B. R., Koshan, A., Abidi, M. A., 2006. An overview of color constancy algorithms. *J. Pattern Recogn. Res.* 1:42–54.
- [10] Buchsbaum, G., 1980. A spatial processor model for object colour perception. *Journal of The Franklin Institute* 310:1–26.
- [11] Land, E. H., McCann, J. J., 1971. Lightness and retinex theory. *J. Opt. Soc. Am.* 61(1):1–11.
- [12] van de Weijer, J., Gevers, T., Gijenij, A., 2007. Edge-based color constancy. *IEEE Trans. Image Process.* 16(9):2207–2214.
- [13] Finlayson, G. D., S., D. M., Funt, B., 1994. Spectral sharpening: sensor transformations for improved color constancy. *J. Opt. Soc. Am. A* 11(5):1553–1563.
- [14] Funt, B., Lewis, B. C., 2000. Diagonal versus affine transformations for color correction. *J. Opt. Soc. Am. A* 17(11):2108–2112.
- [15] West, G., Brill, M. H., 1982. Necessary and sufficient conditions for von kries chromatic adaptation to give color constancy. *Journal of Mathematical Biology* 15:249–258.
- [16] Land, E. H., 1977. The retinex theory of color vision. *Scientific American* 237(6):108–128.
- [17] Finlayson, G. D., Hardley, S. D., Lu, C., Drew, M. S., 2006. On the removal shadows from images. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 28(1):59–68.
- [18] Tsagaris, V., Ghirstoulas, G., Anastassopoulos, V., 2005. A measure for evaluation of the information content in color images. In IEEE Inter. Conf. Imag. Process., volume 1, pages 417–20.
- [19] Barnard, K., Martin, L., Funt, B., Coath, A., 2002. A data set for color research. *Color research and applications* 27(3):148–152.

Título:

Shadow detection and removal in RGB images using K-NN classification method

Autores:

- 1) Tomás Serrano-Ramírez,
- 2) José Ruiz-Pinales,
- 3) J. G. Aviña-Cervantes

Afiliación:

Universidad de Guanajuato

División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca

Dirección:

Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km 3.5+1.8 Km

Comunidad de Palo Blanco, C.P. 36885 Salamanca, Gto.

Email:

- 1) tomasserrano@hotmail.com
- 2) ruizpinale@hotmail.com
- 3) avina@ugto.mx

Tel y Fax:

Tel. +52 (464) 64 7 99 40, FAX 2311

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Shadow detection and removal in RGB images using K-NN classification method

Detección y remoción de sombras en imágenes RGB usando método de clasificación K-NN

Abstract

Shadows are a local decrease in the amount of light that reaches a surface, or a local change in the amount of light rejected by a surface toward the observer. Many image analysis tasks like face recognition or image segmentation among others, require a classification procedure to identify the shadowed and non-shadowed areas of an image. Once the shadowed areas are known, the clarity of the image can be improved. The aim of this work is to detect and remove the shadowed regions of an image. For solving this problem, is applied a pattern recognition technique called K-nearest neighbor that is an easy but effective classification method to use. Matlab, a high level technical computing and interactive environment, is used to develop this work.

Resumen

Las sombras son ya sea una reducción local de la cantidad de luz que llega a una superficie, o un cambio local de la cantidad de luz que es reflejada por una superficie hacia un observador. Muchas tareas de análisis de imágenes tales como reconocimiento de rostros o segmentación de imágenes entre otras, requieren de un proceso de clasificación para identificar en la imagen las áreas que son sombra y las que no lo son. Para resolver este problema, se aplica una técnica de reconocimiento de patrones, conocida como K vecinos más cercanos, la cual es un método de clasificación simple y efectivo. Matlab, un lenguaje de cómputo técnico y entorno interactivo, es usado en este trabajo.

Keywords

Shadow detection, shadow removal, image processing, K-NN classification, optimal allocation.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

I. INTRODUCTION

The presence of shadows has been responsible for reducing the reliability of many computer vision algorithms, including segmentation, object detection, scene analysis, among others. Therefore, shadow detection and removal is an important pre-processing for improving performance of such vision tasks.

Decomposition of an image into a shadow image and a shadow-free image is a difficult problem, due to complex interactions of geometry, illumination texture among others. Many techniques have been proposed over the years, but shadow detection still remains an extremely challenging problem.

Shadows occur when direct light coming from a light source is partially or totally blocked. Shadows are mainly of two types: cast shadow and self-shadow. The self-shadow is that region of an object that is not lightened up by direct light; the cast shadow is formed when light or an image is made to fall on a surface. It is mostly the dark area projected by an object on the background. Cast shadow can be further classified into umbra and penumbra region.

The umbra region is that part of a cast shadow where light coming directly from a light source is completely blocked; the penumbra region is that part of a cast shadow where direct light is blocked up to some extent.

On a Technical basis, shadow detection methods can also be classified as property-based and physics-based shadow detection methods (Al-Najdawi *et al*, 2012). Physics-based techniques need some prior knowledge, such as light and geometry, camera calibration, or indoor scenes. However, it is a complicated process to obtain the accurate model for a random scene because of the complexity of environments and variation of light sources from time to time and from place to place (Tian *et al*, 2009). Hence, mostly physics-based techniques are used for particular applications, such as moving cast shadow detection and shadow detection in aerial images. Scene knowledge is utilized in physics-based methods due to which these methods are only used in specific applications they are designed for. The algorithm may not work well when the application environments are different. Property-based techniques utilize shadow features for shadow detection. The most obvious and prominent feature of a shadow is that it darkens the surface it spreads on, and this feature is used by almost all methods. Other features like edge, histograms, texture, geometry, color ratios, and gradient are also used widely. Sometimes, only one feature is not enough. For example, we have the feature that shadows usually have lower pixel values, but pixels with lower values may not necessarily be shadows.

It is somewhat simple to identify shadowed and non-shadowed regions in sequential images, but it is quite complicated in a single image as the amount of information available is quite less. Although clustering is widely used in shadow and non-shadow detection, classification algorithms have also been used (Zhu *et al*, 2010). For instance, k-nearest neighbor (k-NN) can also be used efficiently. In this work the k-NN classification algorithm is used to classify and remove shadows in an image.

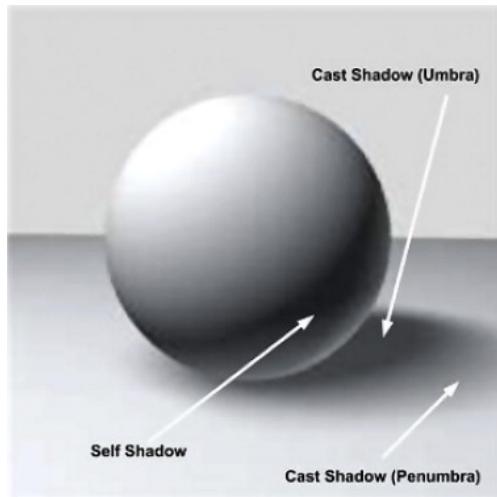


Fig. 1. Self-shadow, and cast shadow (umbra and penumbra).

II. Materials and Methods

K-nearest neighbor Algorithm

K-nearest neighbor algorithm is a method for classifying objects based on closest training examples in the feature space. K-nearest neighbor algorithm is among the simplest of all machine learning algorithms. Training process for this algorithm only consists of storing feature vectors and labels of the training images. In the classification process, the unlabeled query point is simply assigned to the label of its k nearest neighbors.

Typically the object is classified based on the labels of its k nearest neighbors by majority voting. If $k=1$, the object is simply classified as the class of the object nearest to it. When there are only two classes, k must be an odd integer. However, there can still be ties when k is an odd integer when performing multiclass classification. After we convert each image to a vector of fixed-length with real numbers, we used the most common distance function for K-NN which is Euclidean distance:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

where x and y are histograms in \mathbb{R}^m . Fig. 2 shows the process of KNN classification.

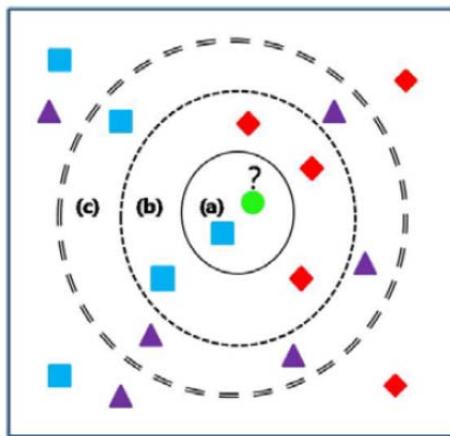


Fig. 2 K-NN Classification. At the query point of the circle depending on the k value of 1, 5, or 10, the query point can be a rectangle at (a), a diamond at (b), and a triangle at (c).

A main advantage of the KNN algorithm is that it performs well with multi-modal classes because the basis of its decision is based on a small neighborhood of similar objects. Therefore, even if the target class is multi-modal, the algorithm can still lead to good accuracy. However a major disadvantage of the KNN algorithm is that it uses all the features equally in computing similarities.

This can lead to classification errors, especially when there is only a small subset of features that are useful for classification.

The main drawback of the k-NN algorithm is that learning and classification of single pixels can become computationally expensive. However, one solution that has been chosen is to choose from each image only a subset of the image pixels for training. This was done by using a stratified sampling method (Lehmann, 2011). In this case, Neyman's optimal allocation formula is used to compute the percentage of pixels that must be sampled from shadow pixels and non-shadow pixels. The optimal allocation method has the advantage that it minimizes the variance of the stratified sample means (Fuller, 2011).

EXPERIMENTS

In this work a training image database of 50 RGB images with natural landscapes and urban places is used. In this database there are many examples of complex shadows that are very useful when the shadow detection and removal system is trained. The image showed in the figure 2 is an example of the training images. Every image has its respective mask,

that is used in the program to distinguish if the pixel belongs to de shadow or non-shadowed area, or the class 1 or 0 respectively.



Fig 3. Example of an image of the database and its respective mask.

The program has three principal functions. The first is training of the classification system using the k-nearest neighbor algorithm and the RGB image database, the second is the load of an image for testing, and the third is the detection and removal of the shadow. In the next sections will be described every one of these functions:

TRAINING

The following code is in charge for the training of the k-NN shadow recognition system. The 20 first images from the database are used in the training, for that reason a for loop with a range between 1 and 20 is used. As we can see, every image is converted into a matrix of size $(M \times N) \times 3$ called feature matrix, in which the 3 columns represent the R, G and B color intensities respectively and every row is a feature vector for a pixel. All the images loaded are finally stored in the same matrix: X the training matrix. For each image, the respective binary mask is read and converted too in a matrix, with a size of $(nrows \times ncols) \times 1$ that is used to assign the class for every pixel feature vector. It is stored in matrix Y.

Finally X and Y are used by the Matlab function: ClassificationKNN.fit to generate the probabilistic function that predicts the most probable class that certain pixel (R,G,B) belongs to. The function uses the Euclidian distance and a number of 5 neighbors to apply the classification algorithm.

III. RESULTS

Once the system has been trained, it is necessary to load a test image. With this part of the code, an image can be loaded for testing, and then it is saved in a global variable im and displayed in the graphical user interface.



Fig 4. Image used for testing.

SHADOW DETECTION AND REMOVAL

Once the test image has been loaded in the global variable im, that is a matrix of size $(M \times N) \times 3$ in which the 3 columns represent R, G and B color intensities respectively and every row is a feature vector for a pixel. Later the model mdl generated by ClassificationKNN.fit is used to predict the class of every pixel in the matrix, where the class 0 and class 1 are the non-shadowed and shadowed area respectively. Using mdl and predict() we can obtain a mask of the test image as we can see in fig 4, in which the white area is the recognized shadow (class 1) and the black is the non-shadowed area (class 0).

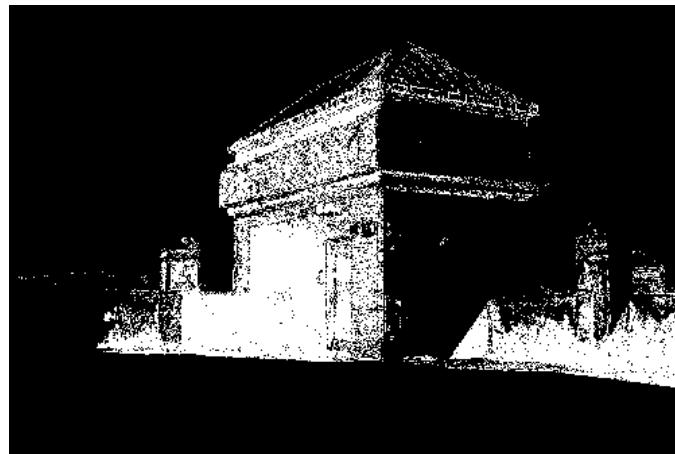


Fig 5. Mask generated by the K-NN prediction model.

The generated mask has a lot of noise, and it is necessary to apply filtering. A kind of filters called morphological filters is widely used in the processing of binary images. In this case is necessary to remove small groups of pixels and fill holes in the image, therefore the respective morphological filters are applied.



Figure 6. Mask obtained by applying morphological filters.

After filtering the mask, it is ready, and can be used to extract the shadow area in the original image as it is shown in figure 6. The result of this extraction can be processed in order to clarify and remove the shadow.

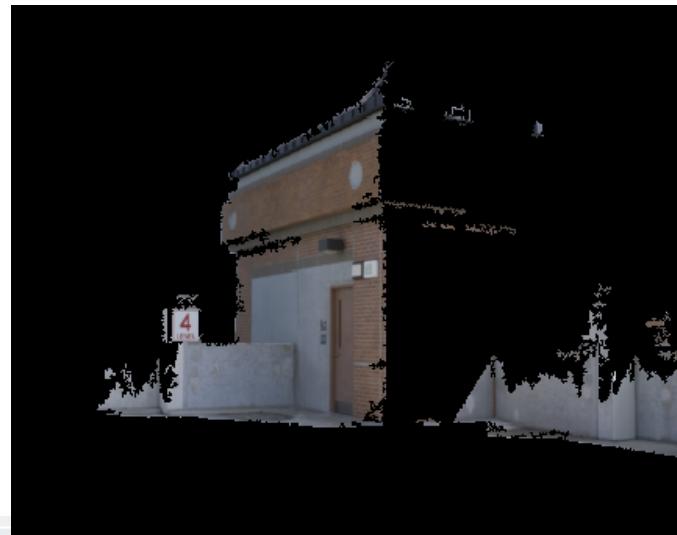


Fig. 7. Shadow area extracted from the original image (figure 4) using the mask in figure 6.

The extracted shadow is clarified using the function imadjust() increasing the brightness, at a similar level of the non-shadowed areas in the image. The result is shown in figure 8.

The image obtained is a kind of image that is easily added to the original to substitute the shadowed areas by the clarified ones. It is because the non-shadowed areas are in black, and this color has a value of (0, 0, 0) in RGB and in case of an addition of two RGB images the pixels of the non-shadowed areas in the original image just substitute the black pixels in the processed image.

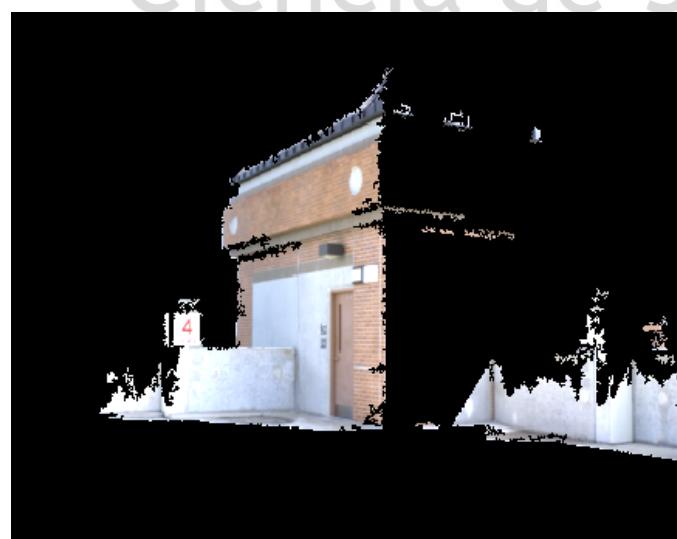


Fig. 8. Increasing the brightness of the extracted shadow area.

After the past action, the processed shadow was pasted to the original image and we can see the results in figure 9. The shadow of the original image has been almost removed. All the code of this function is shown below.



Fig. 9 The resulting image of the shadow detection and removal process.

A graphical user interface was developed and is shown in figure 10. The GUI displays 4 images and has 3 buttons. The buttons command the three main functions mentioned above (training of the classification system, load of an image for testing, and the detection and removal of the shadow). The 4 images displayed are the test image and its mask at the top and the processed image and the mask generated by shadow recognition system at the bottom.

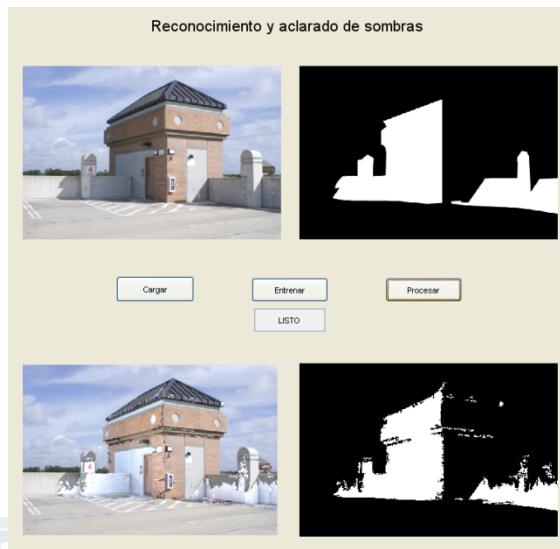


Figure 10. Graphical user interface.

IV. DISCUSSION

The k-nearest neighbor algorithm is a simple but effective pattern recognition algorithm, the main disadvantage is the computational cost compared with others. However, this drawback can be eliminated by using a stratified sampling method such as Neyman's optimal allocation (Lehmann, 2011). The shadow detection and removal was done successfully, with a certain level of error. For a more accurate system it is necessary to use more characteristics than just RGB intensities.

V. REFERENCES

- Al-Najdawi, N., Bez, H. E., Singhai, J., & Edirisinghe, E. A. (2012). A survey of cast shadow detection algorithms, *Pattern Recognition Letters*, 33 (2012), 752–764.
- Fuller, W. A. (2011). *Sampling statistics* (Vol. 560). John Wiley & Sons.
- Tian, J., Sun, J. & Tang, Y. (2009). Tricolor Attenuation Model for Shadow Detection, *IEEE Transactions on Image Processing*, 18(10), 2355-2363.
- Lehmann, E. L. (2011). The Design of Experiments and Sample Surveys. In *Fisher, Neyman, and the Creation of Classical Statistics* (63-76). Springer New York.
- Zhu, J., Samuel, K. G. G., Masood, S. Z. & Tappen, M. F. (2010). Learning to recognize shadows in monochromatic natural images. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR10), 223-230.

Título:

Solving Discounted Markov Decision Processes by Using Prioritized Approach

Autores:

- 1) Ma. de Guadalupe García-Hernández
- 2) José Ruiz-Pinales
- 3) J. G. Aviña-Cervantes
- 4) Andrea Huerta-Fuerte
- 5) Horacio Rostro-González
- 6) Sergio Ledesma-Orozco
- 7) Rafael Guzmán-Cabrera

Afiliación:

Universidad de Guanajuato

División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca

Dirección:

Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km 3.5+1.8 Km

Comunidad de Palo Blanco, C.P. 36885 Salamanca, Gto.

Email:

- 1) garciaag@ugto.mx
- 2) ruizpinale@hotmail.com
- 3) avina@ugto.mx

Tel y Fax:

Tel. +52 (464) 64 7 99 40, FAX 2311

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

Solving Discounted Markov Decision Processes by Using Prioritized Approach

Solución de Procesos de Decisión de Markov Descontados Usando Enfoque Priorizado

Abstract. The problem of solving large Markov decision processes accurately and quickly is a challenging one. For the special case of additive Markov decision processes fast solution algorithms exist. For instance, improved prioritized value iteration and improved prioritized sweeping are two fast algorithms for the solution of additive Markov decision processes. Here, the possibility of transforming discounted Markov decision processes into additive Markov decision processes for solving them by means of fast algorithms such as improved prioritized value iteration and improved prioritized sweeping is explored.

Resumen. El problema de la solución de procesos de decisión de Markov de gran talla de forma exacta y rápida es un gran reto. Para el caso especial de procesos de decisión de Markov aditivos ya existen algoritmos de solución rápidos. Por ejemplo, iteración de valor priorizado mejorado y barrido priorizado mejorado son dos algoritmos rápidos para resolver procesos de decisión de Markov aditivos. Aquí, se explora la posibilidad de transformar cualquier proceso de decisión de Markov descontado en procesos de decisión de Markov aditivos para que puedan resolverse por medio de algoritmos rápidos tales que iteración de valor priorizado mejorado y barrido priorizado mejorado.

Keywords. Discounted Markov Decision Processes, Additive Markov Decision Processes, Prioritization, transformation of Markov Decision Processes.

1. Introduction

In planning under uncertainty, the planner's objective is to find a policy that optimizes some expected utility. Most approaches for finding such policies are based on decision-theoretic planning (Boutilier, 1999) (Bellman, 1954) (Puterman, 1994). Among these, Markov decision processes (MDP) constitute a mathematical framework for modeling and deriving optimal policies. Value iteration is a dynamic programming algorithm (Bellman, 1957) for solving MDP, but it is usually not considered because of its slow convergence (Littman, 1995). This is because its speed of convergence depends strongly on the order of the computations (or backups).

The slow convergence of value iteration for solving large MDP is usually tackled up by using one of two approaches (Dai, 2007a): heuristic search (Hansen, 2001) (Bhuma, 2003) (Bonet, 2003a,b, 2006), or prioritization (Moore, 1993) (Ferguson, 2004) (Dai, 2007b) (Wingate, 2005). In the first case, heuristic search combined with dynamic programming are used to reduce the number of relevant states as well as the number of expansions of the search. Hansen *et al.* (Hansen, 2001) considered only part of the state space by constructing a partial solution graph, searching implicitly from the initial state towards the goal state, and expanding the most promising branch of an MDP according to a heuristic function. Bhuma *et al.* (Bhuma, 2003) extended this approach by using a bidirectional heuristic search algorithm. Bonet *et al.* (Bonet, 2003a,b) proposed two other heuristic algorithms that use a clever labeling technique to mark irrelevant states. Later on, they explored depth-first

search for the solution of MDP (Bonet, 2006). In the second case, prioritization methods are based on the observation that, in each iteration, the value function usually changes only for a reduced set of states. So, they prioritize each backup in order to reduce the number of evaluations (Moore, 1993) (Dai, 2007b). Ferguson *et al.* (Ferguson, 2004) proposed another prioritization method called focused dynamic programming, where priorities are calculated in a different way than in prioritized sweeping. Dai *et al.* (Dai, 2007a) extended Bhuma *et al.*'s idea (Bhuma, 2003) by using concurrently different starting points. In addition, they also proposed (Dai, 2007b) a topological value iteration algorithm, which groups states that are mutually and causally related together in a meta-state for the case of strongly connected states (or MDP with cyclic graphs). Likewise, other approaches such as topological sorting (Wingate, 2005) and shortest path methods (McMahan, 2005a,b) have been proposed. On the first hand, topological sorting algorithms can be used to find good backup orderings but their computational cost is usually high (Wingate, 2005). On the other hand, shortest path methods have been applied to the solution of MDP with some success (McMahan, 2005a,b).

Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

In this paper, the problem of finding an optimal policy of discounted MDPs accurately and quickly is considered. It has been found that any MDP can be transformed into a goal-based MDP and viceversa (Barry, 2009). This opens up the possibility of solving discounted MDPs by using the fastest existing algorithms for solving additive MDPs. Thus, different equivalences of MDPs in terms of additive MDPs that can be solved by using fast algorithms based on prioritization are considered.

This paper is organized as follows: first a brief introduction to MDPs as well as solution methods is presented, then, different equivalences of MDPs are studied and finally experimental results and conclusions are presented.

I.1 Markov Decision Processes

Markov decision processes (MDP) provide a mathematical framework for modeling sequential decision problems in uncertain dynamic environments (Bellman, 1957) (Puterman, 2005).

Formally, an MDP is a four-tuple (S, A, P, R) , where S is a finite set of states, A is a finite set of actions, $P: S, A, S \mapsto \mathbb{R}$ is the transition probability function, and $R: S, A \mapsto \mathbb{R}$ is the reward function. A policy (or strategy) $\pi(s)$ is a rule that specifies which action should be taken in each state. The core problem of MDP is to find the optimal policy that maximizes the expected total (or average) reward (Puterman, 2005). The value function is the expected reward, starting at state s and following policy π , that is given by:

$$V(s) = E \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t, \pi(s_t)) \right]$$

where $\gamma \in [0,1]$ is the discount factor, which may be used for decreasing exponentially future rewards implying that future rewards have less value than current rewards (Russell, 2004). For the case of additive MDP ($\gamma = 1$) the expected total reward may be infinite.

Thus, absorbing terminal states are necessary in additive MDP to guarantee that the expected total reward is finite.

Let $V^*(s)$ be the optimal value function of any state given by:

$$V^*(s) = \max_{\pi} V^{\pi}(s)$$

The optimal value function satisfies the Bellman equation (Bellman, 1954) (Puterman, 2005) that is given by:

$$V^*(s) = \max_a \left[R(s, a) + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, a, s') V^*(s') \right]$$

Value iteration, policy iteration and linear programming are three of the most well-known techniques for finding the optimal value function $V^*(s)$ and the optimal policy $\pi^*(s)$ for infinite horizon problems (Chang, 2007). However, policy iteration and linear programming are computationally expensive techniques when dealing with problems with large state spaces because they both require solving a linear system (of equations) of the same size as the state space. In contrast, value iteration avoids this problem by using a recursive approach that it is typically used in dynamic programming (Chang, 2007).

Starting from an initial value function, value iteration applies successive updates to the value function for each $s \in S$ by using:

$$V^t(s) = \max_a \left[R(s, a) + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, a, s') V^{t-1}(s') \right]$$

Let $\{V_n | n = 0, 1, \dots\}$ be the sequence of value functions obtained by value iteration.

Then, it can be shown that every value function obtained by value iteration satisfies $|V_n - V^*| \leq \gamma^n |V_0 - V^*|$. Thus, from the Banach fixed-point theorem, it can be inferred that value iteration converges to the optimal value function $V^*(s)$. One advantage of value iteration comes from the fact that the value functions obtained can be used as bounds for the optimal value function (Tijms, 2003).

The convergence of value iteration may be quite slow for γ close to one. For this reason, several improvements to value iteration have been proposed (Puterman, 2005). For instance, common techniques may improve convergence rate, reduce the time taken per iteration and/or use better stopping criteria.

One of the easiest ways to improve convergence rate is to update the value functions as soon as they become available (also known as asynchronous updates). For instance, Gauss-Seidel value iteration uses the following update equation (Puterman, 2005):

$$V^t(s) = \max_a \left[R(s, a) + \gamma \sum_{s' < s} P(s, a, s') V^t(s') + \gamma \sum_{s' \geq s} P(s, a, s') V^{t-1}(s') \right]$$

It is well known that policy iteration converges faster than value iteration does, but it is more expensive per. A combined approach (modified policy iteration) can exploit the advantages of both. Thus, modified policy iteration uses a partial policy evaluation step based on value iteration (Puterman, 2005).

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Another way of improving the convergence rate as well as the iteration time is using prioritization and partitioning (Wingate, 2005). Generally, prioritization methods are based on the observation that, at each iteration, the value function usually changes only for a reduced set of states. Thus, by restricting the computation to only those states, a reduction of the iteration time is expected. It has been outlined that for acyclic problems the ordering of the states, where the transition matrix becomes triangular may result in a significant reduction in time (Wingate, 2005).

II. Materials and Methods

II.1 Prioritized Sweeping

Although value iteration is a powerful algorithm for solving MDP, it has some potential problems. First, some backups are useless because not all states change in a given iteration (Dai, 2007b). Second, backups are not performed in an optimal order. Priority-based methods such as prioritized sweeping (PS) (Moore, 1993) avoid these problems by ordering and performing backups so as to perform the least number of backups (Dai, 2007b). To be more precise, PS maintains a priority queue for ordering backups intelligently. This priority queue is updated as the algorithm sweeps through the state space. PS can begin by inserting the goal state in the priority queue when it is used in an offline dynamic programming algorithm, such as value iteration. At each step, PS pops a state s from the queue with the highest priority and performs a Bellman backup of that state. If the Bellman residual of

state s is greater than some threshold value ε or if s the goal state, then PS is inserts its predecessors into the queue according to their priority (Dai, 2007b). Unfortunately, the use of a priority queue for all the states of the model may result in an excessive overhead for real-world problems (Wingate, 2005), especially for cyclic MDP.

Focused dynamic programming (Ferguson, 2004) is another variant of prioritized sweeping that exploits the knowledge of the start state to focus its computation on states that are reachable from that state. To do this, focused dynamic programming uses a priority metric that it is defined using two heuristic functions: an admissible estimate of the expected cost for reaching the current state from the start state and an estimate of the expected cost for reaching the goal state from the current state. In contrast to other forms of prioritized sweeping, this approach removes the state with the lowest priority value from the priority queue, instead of removing the state with the highest priority value, since it is interested in states through which the shortest path passes.

Dibangoye *et al.* (Dibangoye, 2008) proposed an improved topological value iteration algorithm (iTVI) which uses a static backup order. Instead of minimizing the number of backups per iteration or eliminating useless updates, this algorithm attempts to minimize the number of iterations by using a good backup order. First, depth-first-search is used to collect all reachable states from the start state. Next, breadth-first-search is used to build a metric $d(s)$, which is defined as the distance from the start state to state s . A static backup order is built from the resulting metric in such a way that states that are closer to the start

state be updated first. The algorithm is guaranteed to converge to the optimal value function because it updates all states recursively in the same way as value iteration does.

Meuleau *et al.* (Meuleau, 2006) solved stochastic over-subscription planning problems (SOSP) by means of a two-level hierarchical model. They exploit this hierarchy by solving a number of smaller factored MDP. Shani *et al.* (Shani, 2008) extended the use prioritization to partially observable MDP. In this case, backups are prioritized by using the Bellman error as a priority metric and no priority queue is used.

In contrast with the above methods, it is worth to mention a prioritization method that does not require a priority queue (Dai, 2007c), instead, it uses a FIFO (first input, first output) queue if the backwards traversal of the policy graph is breadth-first (forwards value iteration), or a LIFO (last input, first output) queue if the backwards traversal is depth-first (backwards value iteration). In both cases, unnecessary backups can be avoided by using a labeling technique (Bonet, 2003a,b) and the decomposition of the state space into a number of strongly connected components. Unfortunately, it has been shown that the backup order induced by these algorithms is not optimal (Dai, 2007c).

Since the performance of PS depends on the priority metric that it is used to order states in the priority queue, several researchers have investigated alternative priority metrics. For instance, IPS (McMahan, 2005a,b) uses a combination of a value change metric, and an

upper bound metric. In fact, it has been shown that IPS may outperform other prioritized sweeping algorithms (Dai, 2007a,b).

Dijkstra's algorithm is an efficient greedy algorithm for solving the single-source shortest path problem in a weighted acyclic graph. This algorithm is a special case of the A* algorithm but unlike the A* algorithm, Dijkstra's algorithm is not goal oriented. This is because Dijkstra's algorithm computes all shortest paths from a single source node to all nodes and thus solves the one-to-all shortest path problem. In fact it has been shown that Dijkstra's algorithm is a successive approximation method to solve the dynamic programming equation for the shortest path problem (Sniedovich, 2006, 2010) and therefore it is based on the Bellman's optimality principle. One interesting feature of Dijkstra's algorithm is that it processes states according to a greedy best first rule.

One of the advantages of value iteration and its variants is that their convergence to the optimal value function is guaranteed for the case of discounted MDP and for the case of additive MDP with absorbing states (Bertsekas, 1995) (Li, 2009). This is because successive application of the Bellman equation has guaranteed convergence to the optimal value function.

II.2 Proposed Method

As we have already mentioned, any discounted MDP can be transformed into an additive MDP (Barry, 2009). As a matter of fact, elimination of the discount factor γ from the Bellman equation is an equivalence preserving transformation.

Given an MDP (M) with discount factor γ and no absorbing states, it can be transformed into an additive MDP (M') by using the following procedure:

- Add to the set of states S_M of M a single absorbing state s_g with reward 0. Let $S_{M'}$ be the set of states of the transformed MDP.
- For each $s, s' \in S_M$, set $P_{M'}(s, a, s') = \gamma P_M(s, a, s')$. Set $P_{M'}(s, a, s') = 1 - \gamma$.

Other kinds of equivalence preserving transformations are possible. For instance, an MDP can be transformed by adding a constant to the reward function. In this way, for instance, it is possible to transform any positive MDP into a negative MDP and *vice versa*.

Given a discounted MDP D with reward function $R(s, a)$, and $D + C$ be the MDP resulting from adding the constant C to the reward function. Then

$$\begin{aligned} V_D^\pi(s) &= R(s, \pi(s)) + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, \pi(s), s') V_D^\pi(s') \\ V_D^\pi(s) + \frac{C}{1-\gamma} &= R(s, \pi(s)) + \frac{C}{1-\gamma} + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, \pi(s), s') V_D^\pi(s') \\ V_D^\pi(s) + \frac{C}{1-\gamma} &= R(s, \pi(s)) + C + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, \pi(s), s') \left(V_D^\pi(s') + \frac{C}{1-\gamma} \right) \end{aligned}$$

Next, by defining $W^\pi(s) = V_D^\pi(s) + \frac{C}{1-\gamma}$, the Bellman equation of the resulting MDP is:

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

$$W^\pi(s) = R(s, \pi(s)) + C + \gamma \sum_{s' \in S} P(s, \pi(s), s') W^\pi(s')$$

Thus, the value function of the MDP resulting from adding a constant to the reward function is:

$$V_{D+C}^\pi(s) = V_D^\pi(s) + \frac{C}{1-\gamma}.$$

In the previous approach an MDP is transformed into an additive MDP by adding a single goal state connected to all states. The advantage is that the resulting MDP can be found by using methods such as IPS or IPVI.

The previous approach can be improved by adding more than one goal state. In this case, it is proposed that only certain states must be connected to an absorbing state and that there must be several goal states. The reason is that, for the goal-based MDP obtained by adding a single goal state, most prioritized algorithms such as IPS must update at the beginning all predecessors of the goal state. That is, IPS and IPVI must update at the beginning all the whole set of states S , which incurs in a high computational overhead mainly because of the large number queue operations (insertions and priority changes).

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

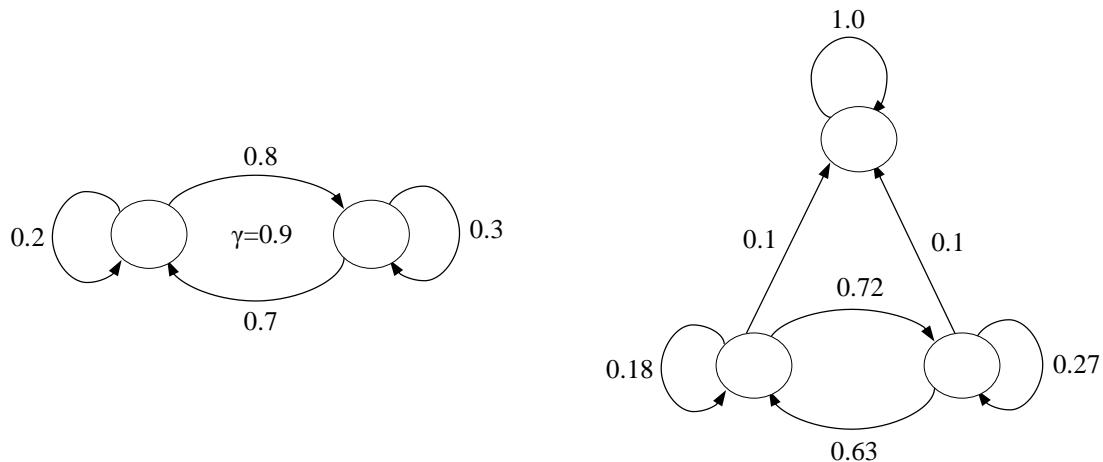


Figure 1. Transformation of a discounted MDP into an additive MDP. Left is original MDP, right is transformed MDP. A new action with transition probability $1 - \gamma$ is added to each state and all other transition probabilities are multiplied by the discount factor.

II.3 Experiment Description

For the validation of the proposed algorithm, discounted MDPs with different numbers of states, actions, and reachable states were generated. Next, each generated MDP was transformed into an additive MDP by adding an absorbing state and connecting it to all states.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

All the experiments were performed on workstation with 4GB RAM running Windows 7.

All the tested algorithms were implemented using the Java language. The initial and maximum size of the stack of the Java virtual machine was set to 1024 MB and 1536 MB, respectively. For all the experiments, we set $\varepsilon = 10^{-7}$ and $\gamma = 0.9$. Obviously, the transformed MDPs had no discount factor.

III. Results

We tested our approach by solving the additive MDPs resulting from different transformations: transformation by adding a single goal state. In addition, we compared that approach with two methods: asynchronous value iteration with sparse coding and improved prioritized value iteration.

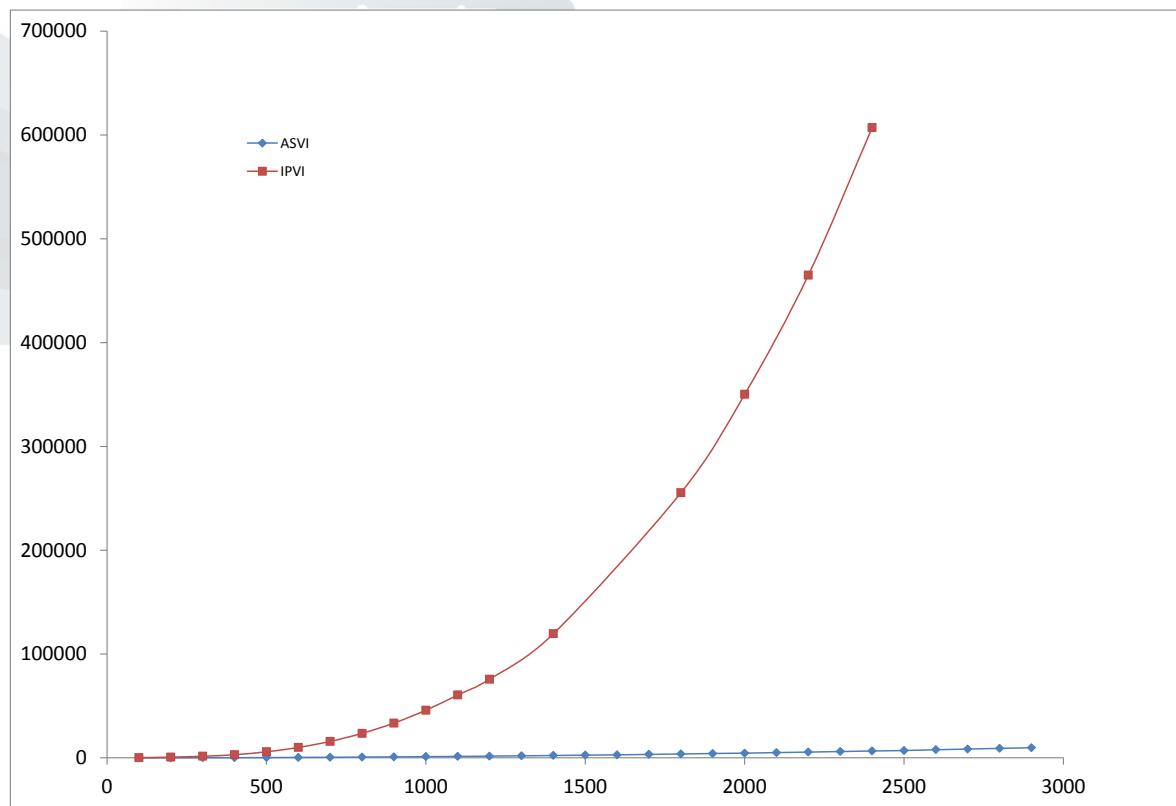


Figure 2. Solution time as a function of the number of states for dense MDPs.

Figure 2 shows the solution time for the case of difficult dense MDPs with 4 actions and different numbers of states. As we had expected, asynchronous value iteration with sparse coding was by far the fastest algorithm.

IV. Discussion

In this paper a new approach for solving discounted MDPs by transforming them to additive MDPs and using fast algorithms such as improved prioritized sweeping and improved prioritized value iteration has been studied and tested.

We compared the performance of the method using asynchronous value iteration with sparse coding and improved prioritized value iteration. For the case of dense MDPs, the performance of asynchronous value iteration with sparse coding with sparse coding was the fastest one. As we had expected, improved prioritized value iteration incurred in a large overhead caused by the large number of queue operations. Further work will focus on the evaluation of the second method proposed which transforms discounted MDPs by using more than one absorbing state.

V. References

- Agrawal, S. and Roth, D. (2002). Learning a Sparse Representation for Object Detection.
7th European Conference on Computer Vision, 1-15, Copenhagen, Denmark.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Barry, J. L. (2009). *Fast approximate hierarchical solution of MDPs*, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Bellman, R. E. (1954). The Theory of Dynamic Programming. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 60, 503-516.

Bellman, R. E. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press: N. J., USA.

Bertsekas, D. P. (1995). *Dynamic Programming and Optimal Control*. Athena Scientific: Massachusetts, USA.

Bhuma, K. and Goldsmith, J. (2003). Bidirectional LAO* Algorithm. Indian International Conference on Artificial Intelligence, 980-992.

Blackwell, D. (1965). Discounted dynamic programming. *Annals of Mathematical Statistics*, 36, 226-235.

“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”

Bonet, B. & Geffner, H. (2003). Faster Heuristic Search Algorithms for Planning with uncertainty and full feedback. 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann: Acapulco, México, 1233-1238.

Bonet, B. & Geffner, H., 2003b. Labeled RTDP: Improving the Convergence of Real-Time Dynamic Programming. International Conference on Automated Planning and Scheduling, 12-21, Trento, Italy.

Bonet, B. and Geffner, H. (2006). Learning depth-first search: A unified approach to heuristic search in deterministic and non-deterministic settings and its application to MDP. 16th International Conference on Automated Planning and Scheduling, Cumbria, UK.

Boutilier, C., Dean, T. and Hanks, S. (1999). Decision-Theoretic Planning: Structural Assumptions and Computational Leverage. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 1-94.

Chang, I. and Soo, H. (2007). Simulation-based algorithms for Markov decision processes. *Communications and Control Engineering*, Springer Verlag London Limited.

Dai, P. and Goldsmith, J. (2007). *Faster Dynamic Programming for Markov Decision Processes*. Technical Report, Doctoral Consortium, Department of Computer Science and Engineering, University of Washington.

Dai, P. and Goldsmith, J. (2007). Topological Value Iteration Algorithm for Markov Decision Processes. 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1860-1865, Hyderabad, India.

Dai, P. and Hansen, E. A. (2007). Prioritizing Bellman Backups without a Priority Queue. 17th International Conference on Automated Planning and Scheduling, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 113-119, Rhode Island, USA.

Dibangoye, J. S., Chaib-draa, B. and Mouaddib. (2008). A Novel Prioritization Technique for Solving Markov Decision Processes. 21st International FLAIRS (The Florida Artificial Intelligence Research Society) Conference, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, Florida, USA.

Ferguson, D. & Stentz, A. (2004). Focused Propagation of MDPs for Path Planning. 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 310-317.

Garcia-Hernandez, M. G., Ruiz-Pinales, J., Onaindía, E., Reyes-Ballesteros, A., Avina-Cervantes, J.G., Ledesma-Orozco, S. & Alvarado-Mendez, E. (2012). New Prioritized Value Iteration for Markov Decision Processes, *Artificial Intelligence Review*, Springer, 37(2), 157-167.

Hansen, E. A. & Zilberstein, S. (2001). LAO: A Heuristic Search Algorithm that finds solutions with Loops. *Artificial Intelligence*, 129, 35-62.

Hinderer, K. and Waldmann, K. H. (2003). The critical discount factor for Finite Markovian Decision Processes with an absorbing set. *Mathematical Methods of Operations Research*, Springer Verlag, 57, 1-19.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Li, L. (2009). *A Unifying Framework for Computational Reinforcement Learning Theory*. PhD Thesis, The State University of New Jersey: New Brunswick, NJ, USA.

Littman, M. L., Dean, T. L. & Kaelbling, L. P. (1995). On the Complexity of Solving Markov Decision Problems. 11th International Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 394-402, Montreal, Quebec.

Meuleau, N., Brafman, R. & Benazera, E. (2006). Stochastic Over-subscription Planning using Hierarchies of MDPs. 16th International Conference on Automated Planning and Scheduling, 121-130, Cumbria, UK.

McMahan, H. B. & Gordon, G. (2005). Fast Exact Planning in Markov Decision Processes. 15th International Conference on Automated Planning and Scheduling, Monterey, CA, USA.

McMahan, H. B. & Gordon, G. (2005). *Generalizing Dijkstra's Algorithm and Gaussian Elimination for Solving MDPs*. Technical Report, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.

Moore, A. & Atkeson, C. (1993). Prioritized Sweeping: Reinforcement Learning with less data and less real time. *Machine Learning*, 13, 103-130.

Puterman, M. L. (1994). *Markov Decision Processes*. Wiley Editors: New York, USA.

Puterman, M. L. (2005). *Markov Decision Processes*. Wiley Inter Science Editors: New York, USA.

Russell, S. (2004). Making Complex Decisions (Ch-17). *Artificial Intelligence: A Modern Approach 2nd Edition*, Pearson Prentice Hill Ed.: USA.

Shani, G., Brafman, R. and Shimony, S. (2008). Prioritizing Point-based POMDP Solvers. *IEEE Transactions on Systems, Man. and Cybernetics*, 38(6), 1592-1605.

Tijms, H. C. (2003). Discrete-Time Markov Decision Processes (Ch-6). *A First Course in Stochastic Models*. Wiley Ed.: UK.

Vanderbei, R. J. (1996). Optimal Sailing Strategies. Statistics and Operations Research Program, University of Princeton, USA (<http://orfe.princeton.edu/~rvdb/sail/sail.html>).

Ciencia de Sistemas

Vanderbei, R. J. (2008). *Linear Programming: Foundations and Extensions 3rd Edition: Introducción al Programación Lineal para el desarrollo*” Springer Verlag.

Wingate, D. & Seppi, K. D. (2005). Prioritization Methods for Accelerating MDP Solvers. *Journal of Machine Learning Research*, 6, 851-881.

The Unbiased Finite Impulse Response Filter:

Theoretical Aspects

¹L. J. Morales-Mendoza, ²Y. Shmaliy, ¹R. F. Vázquez-Bautista, ²O. G. Ibarra-Manzano
²M. A. Ibarra-Manzano, ¹M. González-Lee, ²J. G. Aviña-Cervantes, ¹S. Pérez-Cáceres,
¹R. Varguez-Fernández, ¹S. A. Santiago-Vargas and ¹G. Triano-Carballo

¹ FIEC - Universidad Veracruzana, Av. Venustiano Carranza s/n, Col. Revolución, CP. 93390, Poza Rica Ver.
México, Tel. (782) 8225878 {javmorales, favazquez, mgonzalez01, sperez, rvarguez}@uv.mx

² DICIS – Universidad de Guanajuato, Carr. Salamanca-Valle Km. 3.8 + 1.8, Comunidad palo Blanco, Salamanca
Gto. México, Tel. (464) 6479940 {shmaliy, ibarrao, ibarram, avina}@ugto.mx

Abstract: In this paper we present a brief overview of the theory of unbiased finite impulse response (UFIR) filter. Three mathematical models used to derive the impulse responses UFIR filter are discussed examples for each case for a low-degree polynomial filter is also presented. Finally, we make the assessment of low-degree polynomials and general conclusions are given.

1. Introduction

In signal processing, the Unbiased Finite Impulse Response (UFIR) filter has been used to solve problems in noise reduction with edge preservation. This filter was originally development by Shmaliy in [1], and [2], to reduce the Time Interval Error (TIE) in signals of the Global Position System (GPS). The main characteristics of this filter are that it requires low control variables, only the value of the horizon to produce the first estimation, and that the signal has the property of unbiased, namely that the input-output relationship of the signal retains the same energy. This filter has been applied to both signals and images filtering as shown in [3], [4], [5] and [6].

In [7] and [8] we have presented a modification of UFIR filter with respect to horizon. This modification relates directly to the size of the horizon defined as step, p . The new horizon develops three different processes, which are: Filtering when $p = 0$, Prediction, $p > 0$, and Smoothing, $p < 0$. This modification, in particular the smoothing process, has been used to reduce speckle noise in ultrasound images as shown in [9], [10], and [11]. An analysis of Power Gain Noise (PGN) discussed in [12], [13] and [14] to reduce complexity computational of p -step UFIR filter to optimize the performance of the filters for image processing applications, as shown in [15] and [16], respectively.

New computational schemes have been proposed to implement the UFIR filters, the most popular approaches investigated are: *Recursive Structure* (RS), it was development in [17] and applied to speckle noise reduction for ultrasound images [18]. The *Forward-Backward Structure* (FBS), it was employed to enhancing square signals as shown in

[19] and used to enhance ultrasound images in [20]. Finally, the last structure is gotten by transforming the characteristic polynomials of impulse response in orthogonal polynomials, from this; we obtain a *Recurrence Relation Structure* (RRS) of the UFIR filter as shown in [21], [23] and [24]. This RRS was employed in [22] to enhancing ultrasound images, but with reduced computational complexity.

In this paper, we present a brief overview of theory of UFIR filter. In order to describe the main mathematical expressions, we establish three general models to derive the impulse response, $h_n(x, N)$ of filter. These three models are: the matrix model, moment model and the recursive model. In appendix 1 we show an example for $n = 2$ in each case of model. The rest of paper is distributed as follows: in section 2, we present the problem formulation to establish initial conditions for UFIR filter design. Each method is developed in section 3. Finally, we present conclusions in section 4.

2. Problem Formulation

The unbiased FIR filter output computed by the discrete convolution as follows

$$\hat{s}(t) = h_n(t, N) \otimes y(t) \quad (1)$$

where, $h_n(t, N)$ is the filter's impulse response with order approximation n , the constant N is the averaging boundary of the samples and $s(t)$ is the measurement signal. It is shown in [2] that it is possible to compute an unbiased estimation of $s(t)$ at time t from $y(t)$ by using the convolution defined in (1). The UFIR filter of n -degree, $n \in [0, K - 1]$, with impulse response function $h_n(t, N)$ and monic polynomial is defined as follows

$$h_n(t, N) = a_{0n}(N) + a_{1n}(N)t + a_{2n}(N)t^2 + \dots + a_{nn}(N)t^n = \sum_{j=0}^n a_{jn}(N)t^j. \quad (2)$$

To derive the general mathematical model for signals and images based on (2). First, we substitute t by discrete variable x so we have a polynomial that exist from 0 to $N - 1$ with the following fundamentals properties [2], [8],

- Unit area

$$\sum_{x=0}^{N-1} h_n(x, N) = 1. \quad (3)$$

- Zero Moments

$$\sum_{x=0}^{N-1} x^u h_n(x, N) = 0, \quad 1 \leq u \leq n. \quad (4)$$

- Finite norm (energy)

$$\sum_{x=0}^{N-1} h_n^2(x, N) = a_{0n} < \infty. \quad (5)$$

Under this premise, we proceed to derive the polynomials for UFIR filter in next section.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

3. Unbiased Finite Impulse Response Filter

In this section, we derive the polynomials of UFIR filter using the three different models. The matrix model involves the use of a Hessian matrix where the coefficients are defined by Bernoulli polynomials [2]. The second model to compute the polynomials of the impulse response for the UFIR filter is referred to use the moment's method. Finally, the recursively model is developed using Favard's theorem to derive the orthogonal polynomials.

Matrix's Model. In order to compute the coefficients of (2) lets first recall the properties described previously in (3), (4) and (5), respectively. The coefficients are defined as follows

$$a_{jn}(N) = (-1)^j \frac{M_{(j+1)1}(N)}{|\mathbf{D}(N)|}, \quad (6)$$

where, $|\cdot|$ is the determinant of $\mathbf{D}(N)$ and $\mathbf{M}_{(j+1)1}(N)$ is the minor of the Hankel matrix $\mathbf{H}_n(N) \in \mathbb{R}^{(n+1) \times (n+1)}$,

$$\mathbf{D}(N) \equiv \mathbf{H}_n(N) = \begin{bmatrix} c_0(N) & c_1(N) & \cdots & c_n(N) \\ c_1(N) & c_2(N) & \cdots & c_{n+1}(N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_n(N) & c_{n+1}(N) & \cdots & c_{2n}(N) \end{bmatrix}, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (7)$$

where each component in (7) can be found using the recursive relation of the Bernoulli polynomials $B_n(x)$

$$c_k(N) = \frac{1}{k+1} [B_{k+1}(N) - B_{k+1}], \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (8)$$

Moment's Model. In this section we employed the moment matrix to derive the orthogonal polynomials of the impulse response for UFIR filter. As can be seen from the moment's matrix, each coefficient is relevant to k -th moment of orthogonal polynomials. Provided m_k , polynomials $h_n(x, N)$ can alternatively be defined as

$$h_n(x, N) = r_n(N) \det \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 & \cdots & m_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & \cdots & m_{n+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n-1} & m_n & m_{n+1} & \cdots & m_{2n+1} \\ 1 & x & x^2 & \cdots & x^n \end{bmatrix}, \quad n = 0, 1, 2 \dots \quad (9)$$

where, the k -th moment defined as each coefficient of matrix moments (9) can be defined as follow

$$m_k = \frac{\phi(N)}{k+2} [B_{k+2}(N) - B_{k+2}], \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (10)$$

where $r_n(N)$ is a unknown term characteristic of each impulse response and the function $\phi(N) = 2/(N(N - 1))$ is known as factor of the no-negative weight, $\rho(x, N)$ is the ramp probability density function defined as follows

$$\rho(x, N) = \phi(N)x = \frac{2x}{N(N-1)}. \quad (11)$$

Recursively Model. By definition, a set of orthogonal polynomials is a special system of polynomials $\{P_m(x)\}$, $m = 0, 1, 2\dots$, that are orthogonal with respect to some weight function $\rho(x)$ on an interval $[a, b]$. Given the n -degree polynomials functions $h_n(x, n)$ defined by (2) and (6) from 0 to $N - 1$ with the properties (3)-(5), a class of functions $\{h_n(x, N)\}$ is orthogonal on $x \in [0, N - 1]$, satisfying

$$\sum_{x=0}^{N-1} h_k(x, N)h_n(x, N)\rho(x, N) = d_n^2(N)\delta_{kn}, \quad (12)$$

where, the subscripts k and $n \in [0, K - 1]$, δ_{kn} is Kronecker delta, $d_n^2(N)$ is defined as the square of the weighted norm of $h_n(x, N)$ and $\rho(x, N)$ is the ramp probability density function defined above, both functions are defined in [21]-[24] as follows

$$\rho(x, N) = \frac{2x}{N(N-1)} \geq 0, \quad (13)$$

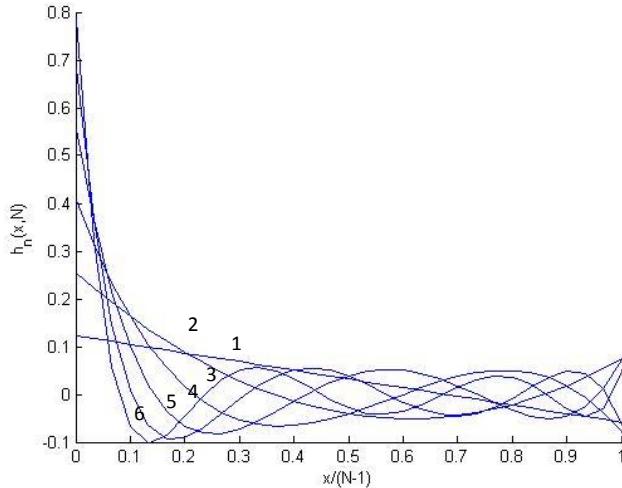
and $d_n^2(N)$ is defined as the weighted norm of $h_n(x, N)$. It is known that any real orthogonal polynomials $P_n(x)$ such as (2) satisfy the Favard's theorem; they are a sequence of polynomials satisfying a suitable three-term recurrence relation. The recursive relationship for determining the impulse response of UFIR filters [23], [24] is defined as

$$h_n(x, N) = 2 \frac{n^2(2N-1)-x(4n^2-1)}{n(2n-1)(N+n)} h_{n-1}(x, N) - \frac{(2n+1)(N-n)}{(2n-1)(N+n)} h_{n-2}(x, N), \quad (14)$$

where, the above ratio, are constrained to the following initial conditions

$$h_{-1}(x, N) = 0, \quad \text{and} \quad h_0(x, N) = 1/N, \quad (15)$$

using the relation (14) with the initial conditions defined in (15) yields the impulse responses of the low-degree polynomials of UFIR filter. In Fig. 1 we show the impulse response of low-degree polynomials of the UFIR filter $\{n = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \text{ and } 6\}$.

Fig. 1: UFIR functions in normalized time scale $x/(N-1)$: $h_n(x, N)$

4. Conclusions

In this paper, we showed three different methods to derive the quadratic impulse response of UFIR filter. Each of proposed method has different disadvantages mainly from computational viewpoint. For first case, the main problem is the coefficients matrix inversion; this requires both very large computational times and resources. That is, to derive a polynomial approximation requires a heavy computational load. For the latter, the moment's method exhibit the problem of finding a function, $r_n(N)$, for each impulse response. The unit area after of moment matrix determinant, demands computing power for solving each series of the Bernoulli Polynomials. Finally, the recursive method avoids the problems related to matrix inversion and finding function $r_n(N)$, respectively. This method presents some initial conditions for development of impulse response of the filters. A disadvantage is memory storage requirement for previous impulse response.

APPENDIX 1

To derive the quadratic impulse response ($n = 2$) of UFIR filter, the matrix model is used. In this model, the coefficient matrix as defined in (7) builds upon coefficients (8) is:

$$\mathbf{D}(N) = \begin{bmatrix} N & \frac{1}{2}N(N-1) & \frac{1}{6}N(N-1)(2N-1) \\ \frac{1}{2}N(N-1) & \frac{1}{6}N(N-1)(2N-1) & \frac{1}{4}N^2(N-1)^2 \\ \frac{1}{6}N(N-1)(2N-1) & \frac{1}{4}N^2(N-1)^2 & \frac{1}{30}N(N-1)(2N-1)(3N^2-3N-1) \end{bmatrix}$$

Then, the determinant of matrix $\mathbf{D}(N)$ is,

$$\det(\mathbf{D}(N)) = \frac{1}{2160} N^3 (N-2)(N+2)(N+1)^2(N-1)^2.$$

Furthermore, the minor matrices are defined as,

$$\mathbf{M}_{11} = \det \begin{bmatrix} d_2(N) & d_3(N) \\ d_3(N) & d_4(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{12} = \det \begin{bmatrix} d_1(N) & d_3(N) \\ d_2(N) & d_4(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{13} = \det \begin{bmatrix} d_1(N) & d_2(N) \\ d_2(N) & d_3(N) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{21} = \det \begin{bmatrix} d_1(N) & d_2(N) \\ d_3(N) & d_4(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{22} = \det \begin{bmatrix} d_0(N) & d_2(N) \\ d_2(N) & d_4(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{23} = \det \begin{bmatrix} d_0(N) & d_1(N) \\ d_2(N) & d_3(N) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{31} = \det \begin{bmatrix} d_1(N) & d_2(N) \\ d_2(N) & d_3(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{32} = \det \begin{bmatrix} d_0(N) & d_2(N) \\ d_1(N) & d_3(N) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M}_{33} = \det \begin{bmatrix} d_0(N) & d_1(N) \\ d_1(N) & d_2(N) \end{bmatrix}$$

we employ (6) to derive the impulse response as

$$h_2(x, N) = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{11} & -\mathbf{M}_{21} & \mathbf{M}_{31} \\ -\mathbf{M}_{12} & \mathbf{M}_{22} & -\mathbf{M}_{32} \\ \mathbf{M}_{13} & -\mathbf{M}_{23} & \mathbf{M}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \end{bmatrix}$$

we obtain

$$h_2(x, N) = \frac{3(3N^2 - 3N + 2) - 18(2N-1)x + 30x^2}{N(N+1)(N+2)} \quad \square$$

On the other hand, to derive the quadratic impulse response of UFIR filter we use the moment's model defined in (9) with coefficients (10), we obtain

$$h_2(x, N) = r_2(N) \det \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3}(2N-1) & \frac{1}{2}N(N-11) \\ \frac{1}{3}(2N-1) & \frac{1}{2}N(N-11) & \frac{1}{15}(2N-1)(3N^2 - 3N - 1) \\ 1 & x & x^2 \end{bmatrix} \quad \text{"Conocimiento Sistemico para el desarrollo"}$$

Solving the determinant of the moment's matrix and applying unit area constraint defined in (3), we obtain next function

$$r_2(N) = \frac{540}{N(N+1)^2(N+2)(N-2)}$$

substituting the last expression, $r_2(N)$, into the impulse response, $h_2(x, N)$, we obtain the following result:

$$h_2(x, N) = \frac{3(3N^2 - 3N + 2) - 18(2N-1)x + 30x^2}{N(N+1)(N+2)} \quad \square$$

Finally, for a recursive model we use (14) with $n = 2$, as follows

$$h_2(x, N) = \frac{4(2N-1)-15x}{3(N+2)} h_1(x, N) - \frac{5(N-2)}{3(N+2)} h_0(x, N)$$

with the ramp and average impulse responses as initial conditions

$$h_0(x, N) = \frac{1}{N} ; \quad h_1(x, N) = \frac{2(2N-1)-6x}{N(N+1)}$$

we obtain

$$h_2(x, N) = \frac{3(3N^2 - 3N + 2) - 18(2N-1)x + 30x^2}{N(N+1)(N+2)} \quad \square$$

which completes model derivation.

References

- [1] Y. Shmaliy, "A simple optimally unbiased MA filter for timekeeping", *IEEE Trans. on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 49, no. 6, pp. 789-797, June 2002.
- [2] Y. Shmaliy, "An unbiased FIR filter for TIE model of a local clock in applications to GPS-based timekeeping", *IEEE Trans. on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 53, No. 5, pp. 862-870, May 2006.
- [3] Y. Shmaliy, O. G. Ibarra-Manzano, L. Arceo-Miquel, L. J. Morales-Mendoza, and O. Yu. Shmaliy, "Estimation of the clock TIE state space model using a thinning unbiased FIR filtering algorithm", *proceeding of PLANS-08*, pp. 96-103, Monterey CA., EUA, May 2008.
- [4] Y. Shmaliy, L. Arceo-Miquel, O. G. Ibarra-Manzano, L. J. Morales-Mendoza, O. Yu. Shmaliy, J. Zavala de Paz and J. M. Moreno-Reyes, "A holdover algorithm for application GPS-based clock synchronization", *proceeding of PLANS-08*, pp. 104-111, Monterey CA., EUA, May 2008.
- [5] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, O. G. Ibarra-Manzano, L. Arceo-Miquel and M. Montiel-Rodriguez, "Moving average Hybrid FIR filter in ultrasound image processing", *IEEE proceeding of 18th CONIELECOMP-08*, pp. 160-164, Cholula Puebla, México, March 2008.
- [6] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy and O. G. Ibarra-Manzano, "An analysis of hybrid FIR structures in applications to ultrasound image processing", *proceeding of WSEAS-CIS-09*, pp. 344-349, Houston TX., EUA, May 2009.
- [7] Y. Shmaliy, "An unbiased p-step predictive FIR filter for a class of noise-free discrete time models with independently observed states", *Signal, Image & Video Processing*, vol. 3, no. 2, pp. 127-135, June 2009.
- [8] Y. Shmaliy, *GPS-based Optimal FIR Filtering of Clock Models*, NOVA Science Publishers, New York, 2009.
- [9] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy and O. G. Ibarra-Manzano, Smoother FIR hybrid structure to ultrasound image processing", *proceeding of CERMA-09*, pp. 220-225, Cuernavaca Morelos, México, September 2009.
- [10] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy and O. G. Ibarra-Manzano, "Enhancing ultrasound images using hybrid FIR structures", in *Image Process/Ch. 16*, Eds., pp. 287-310, In-Tech: Vienna, December 2009.
- [11] L. J. Morales-Mendoza and Y. Shmaliy, "Moving average hybrid filter to the enhancing ultrasound image processing", *IEEE Trans. on Latin America*, vol. 8, no. 1, pp. 9-16, March 2010.

- [12] Y. Shmaliy and L. J. Morales-Mendoza, "FIR smoothing of discrete-time polynomial signal in state space", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 58, no. 5, pp. 2544-2555, May 2010.
- [13] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy and S. Perez-Caceres, "An analysis of cross points in the low-degree polynomial gains of p-lag unbiased smoothing FIR filters", *proceeding of MELECON-10*, pp. 878-883, Valletta Malta, April 2010.
- [14] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, R. F. Vázquez-Bautista, R. Ramírez-Carpio and O. M. Justo-Martínez, "an analysis of key points of p-lag median hybrid FIR filters in applications to image processing", *IEEE proceeding of 21th CONIELECOMP-11*, pp. 194-199, Cholula Puebla, México, March 2011.
- [15] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, R. F. Vázquez-Bautista and O. G. Ibarra-Manzano, "Smoothing of ultrasound images with the p -lag FIR structures", *proceeding of WSEAS-SIP-11*, pp. 47-52, Canary Islands, Spain, May 2011.
- [16] L. J. Morales-Mendoza, R. F. Vázquez-Bautista, E. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, "Speckle noise reduction in ultrasound imaging using the key points in low degree unbiased FIR filters", *International Journal of Computing Science and Applications*, vol. 16, no. 3, pp. 287-295, July – September 2012.
- [17] L. J. Morales-Mendoza, R. F. Vázquez-Bautista, E. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy and H. Gamboa-Rosales, "A new recursive scheme of the unbiased FIR filter to image processing", *ELSEVIER Procedia Engineering*, vol. 35, pp. 202-209, March 2012.
- [18] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, R. F. Vázquez-Bautista, O. G. Ibarra-Manzano and E. Morales-Mendoza, "Ultrasound images processing using the recursive p -step unbiased FIR filter", *proceeding of WSEAS-ISCGAV-12*, pp. 100-106, August 2012.
- [19] O. Vite-Chávez, R. Olivera-Reyna, J. Muños-Minjares, Y. Shmaliy, O. G. Ibarra-Manzano and L. J. Morales-Mendoza, "Efficient denoising of piecewise-smooth signals with forward-backward FIR smoothers", *proceeding of WSEAS-CCST-12*, pp. 160-174, Cambridge, EUA. January 2012.
- [20] O. Vite-Chávez, R. Olivera-Reyna, O. G. Ibarra-Manzano, Y. Shmaliy and L. J. Morales-Mendoza, "Time-variant forward-backward FIR denoising of piecewise-smooth signals", *ELSEVIER International journal of Electronics and Communications*, vol. 67, pp. 406-413, May 2013.
- [21] L. J. Morales-Mendoza, Y. Shmaliy, M. González-Lee, E. Morales-Mendoza and R. Varguez-Fernández, "Toward to recurrent form of the impulse response of UFIR filters", *ELSEVIER Procedia Technology*, vol. 7, pp. 111-117, April 2013.
- [22] L. J. Morales-Mendoza, R. F. Vázquez-Bautista, M. González-Lee, M. A. Ibarra-Manzano and J. Martínez-Castillo, "Enhancing biomedical images using the UFIR filters with recursive responses", *Springer Lectures Notes in Computer Science*, vol. LNCS7914, May 2013.
- [23] L. J. Morales-Mendoza, H. Gamboa-Rosales and Y. Shmaliy, "A new class discrete orthogonal polynomials for blind fitting of finite data", *ELSEVIER Signal Processing*, vol. 93, pp. 1785-1793, July 2013.
- [24] H. Gamboa-Rosales, L. J. Morales-Mendoza and Y. Shmaliy, "Unbiased impulse response – A class of discrete orthogonal polynomials", *ICIC International*, vol. 7, no. 7, July 2013.

“Flexion sensing setup based on an all fiber Intrinsic Fabry-Perot Interferomer”

“Arreglo para el sensado de Flexión basado en un Interferómetro de Fibra Intrínseco Fabry-Perot ”

Abstract: Here we present a monitoring flection system based on an optical fiber interferometer. The optical fiber interferometer is used to generate a signal reflection, which one is affected by the bending effect. As a result, the intensity of the signal reflection decrease providing information about the angle flection applied in the bending. The system is capable to measure a range from 0° to 120 ° and exhibit sensitivity of 0,037 Vrms/°. This setup presents a low cost and simple fabrication.

Resumen: En el presente trabajo se presenta un sistema para monitorear la flexión basado en un interferómetro de fibra óptica. El interferómetro de fibra óptica es utilizado para generar una señal de reflexión, la cual es afectada por un efecto de doblamiento. Como resultado, la intensidad de señal de reflexión decae proporcionando información acerca del angulo inducido en el doblamiento. Este sistema es capaz de medir en un rango de 0°-120° y tiene una sensibilidad de 0,037 Vrms/°. Este sistema es de bajo costo y de simple fabricación.

Keywords: Fabry-Perot Interferometer; Flexion Monitoring; Optical Fiber Sensor;

“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”

1. Introduction

Monitoring bending, macrobending and microbending have ben studied in fiber optics since long time ago due to their potential applications such as human movements monitoring, deformation structures monitoring and sensing different physical effects (W. Zhou, 2012) (H. Sataka, 2009). Here, diverse optical fiber arrangement has been proposed to detect, sensing or monitoring bending effect in fiber optic systems (Yuan Gong, 2011) (Ming Deng, 2012) (D. Jauregui-Vazquez, 2013). Several of these arrangements are based on fiber optic interferometers and works by the intensity modulation principle. Intensity modulation monitoring systems presents several advantages such as simple signal

demulation absolute measurement and high frequency response. However, undesirable effects are presented in this monitoring systems, being the most common, power variations, bending losses and low sensitivity. In order to improve these effects optical fiber interferometers and the use of statistical parameters of the optical signals using a computational classification technique can be considered a solution.

In this work we present a monitoring flexion system based on an all fiber intrinsic Fabry-Perot interferometer, this interferometer provide us a reflection signal that permit us monitoring the angle flexion over a conventional single mode fiber, in section 2 the principle operation of the system as well as the fabrication of the interferometer is presented, in the section 3 experimental setup is described and results is presented in section 4 finally in section 5 a general conclusion is given.

2. Sensor principle operation and fabrication.

In this paper we fabricated an intrinsic fabry-perot interferometer (IFPI) according to the process described by (D. Jáuregui-Vázquez, 2013), this IFPI provide us a reflection signal, which is mainly formed by the interference of three main reflections (R1, R2 and R3) (D. Jáuregui-Vázquez, 2013). Here the first reflection (R1) occurs when the light inside the SMF, with a core refractive index of $n_{core} \approx 1.4682$, reaches at the air microcavity. The light transmitted at this interface travels across the air cavity, here the refractive index of the medium is $n_{cavity} = 1$. Afterwards when the light reaches the end of the air microcavity a part of the light is reflected (R2) and the rest is transmitted. At the end of the IFPI occurs another reflection (R3) since another interface is formed by the silica wall of the air microcavity and the refractive index of the medium around the tip, this effect can be observed in Figure 1.

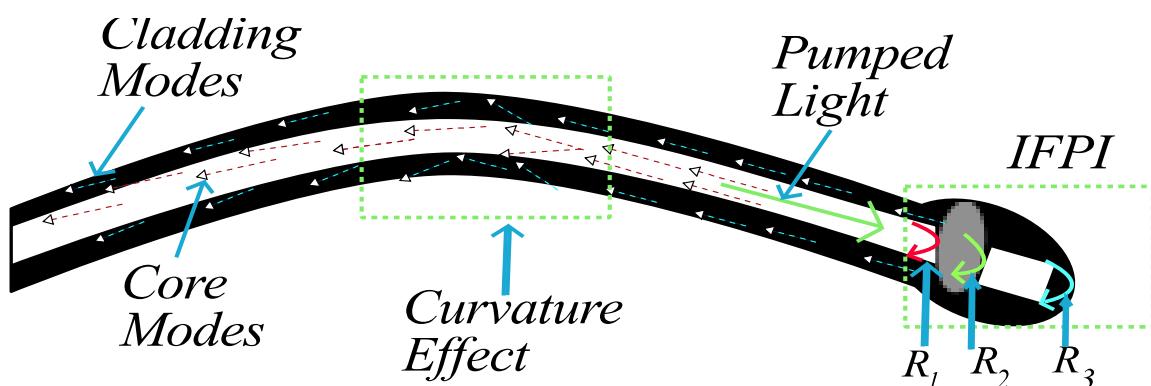


Figure 1. Schematic of principal operation.

When the signal reflection travels along the fiber and a flexion occurs in its path, the intensity signal decrease, due to the IFPI generate reflected modes, some of these modes travel by the cladding and other one by the core. When the curvature it is applied interference between these modes occur at the cladding-core boundary and as a consequence some parte of the signal reflection it is affected. This effect is showed in Figure 1 (Curvature Effect).

3. Experimental setup.

In Figure 3 the experimental setup is showed. Here the pulse light from the microchip laser passed throughout the optical circulator (PICT-1550-S-*Z, Sumitomo Osaka Cement co., ltd). Afterwards, the pulse light reaches the IFPI and the signal reflection is obtained, which is monitored by the scope.

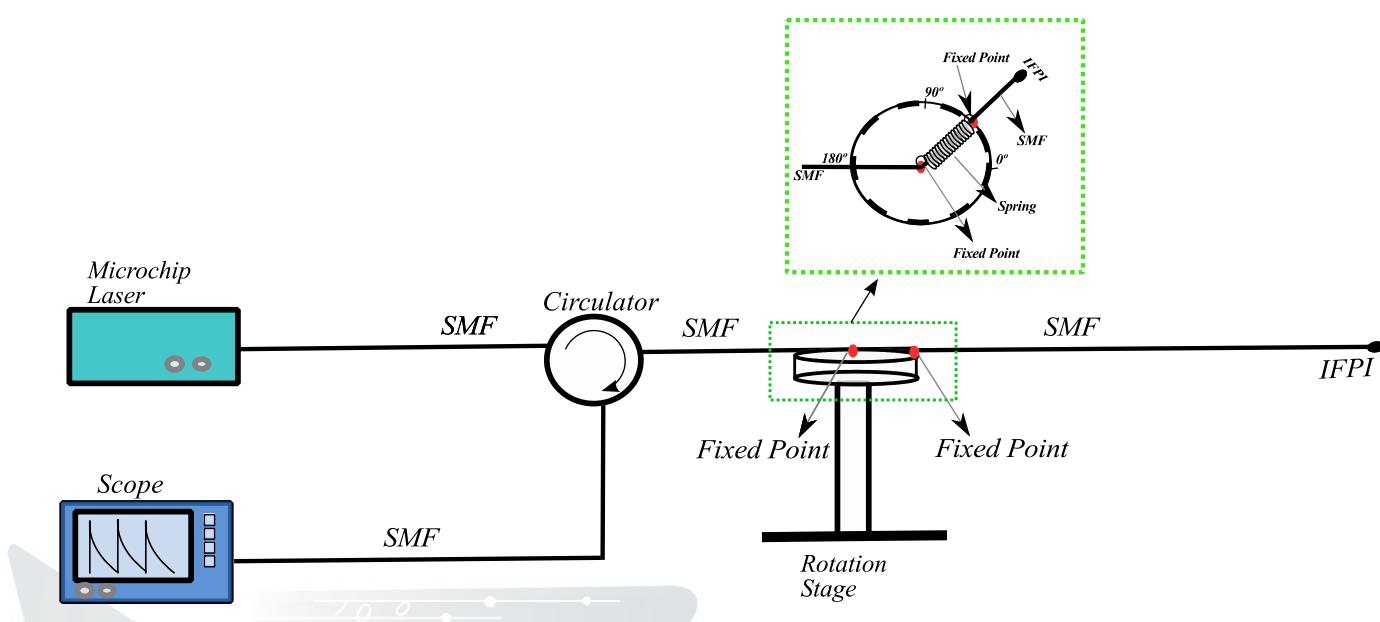


Figure. 2 Schematic configuration of the experimental setup.

To monitoring flexion, a segment of SMF was introduced into a spring which is set between two fixed points (see Figure 2) and by using a rotation stage, the one of the fixed point it is moved by the rotation stage, obtaining an angle flexion. Besides, the IFPI was located at a distance of 50 mm from the second fixed point. Here, in order to apply the angle, it was necessary to move the fixed point over the rotation stage with respect to the fixed point into the rotation stage step-by-step 1° angle.

4. Results and Discussion.

In this sensing setup the microchip laser provide an optical signal of 9kHz at 1064 nm wavelength peak, using a photodetector and scope (with sampling of 25Ms/seg.) an intensity signal reflection when the source provided 12,9 and 6 and V it was detected in the scope. When the angle it is applied the pulse reflected decrease when the angle increase. This effect it is observed by the scope (see Figure 3) in which the pulses of the microchip laser decrease. Here the spectral effects it was not consider only the power intensity variations when the angle flexion it was applied. As it can be appreciated, in Figure 3, the sensing setup, it is affected when the light source it is modified, however the response of the sensing setup it is the same, this undesirable effect can be solved using a classification method such as support vector machine (Burges, 1998). This point will be discussed in a future work; in this

manuscript we only focus when the source provided a 12 V of maximal intensity signal using the photodetector.

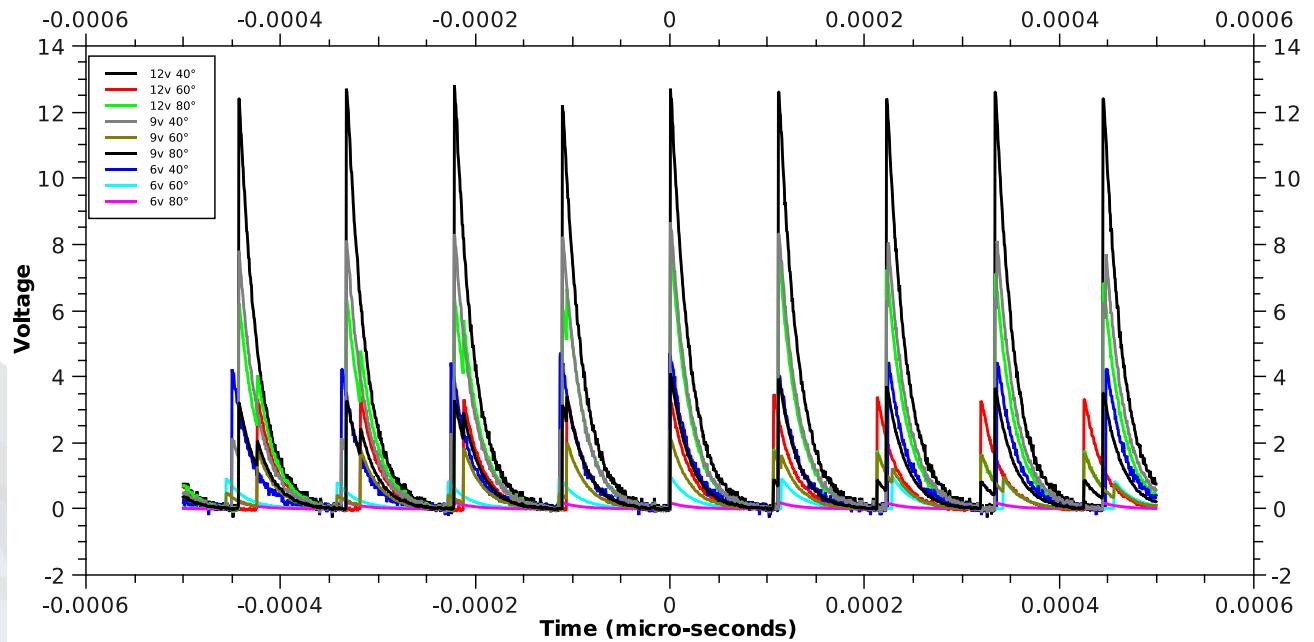


Figure. 3 Spectral signal response of the sensing setup.

In order to minimize the errors in the sensing setup by the use of the scope it can be estimated the RMS-Voltage. Analyzing its response in the range from 0° to 120° , in forward and backward direction it can be observe that we have not several changes (see Figure 4). According to the results, the best range operation will be from 30° to 90° , nevertheless the sensitivity sensing setup it can be estimated using all the range obtaining $0,037 \text{ Vrms}^\circ$ and the presision will depend of the configuration scope device.

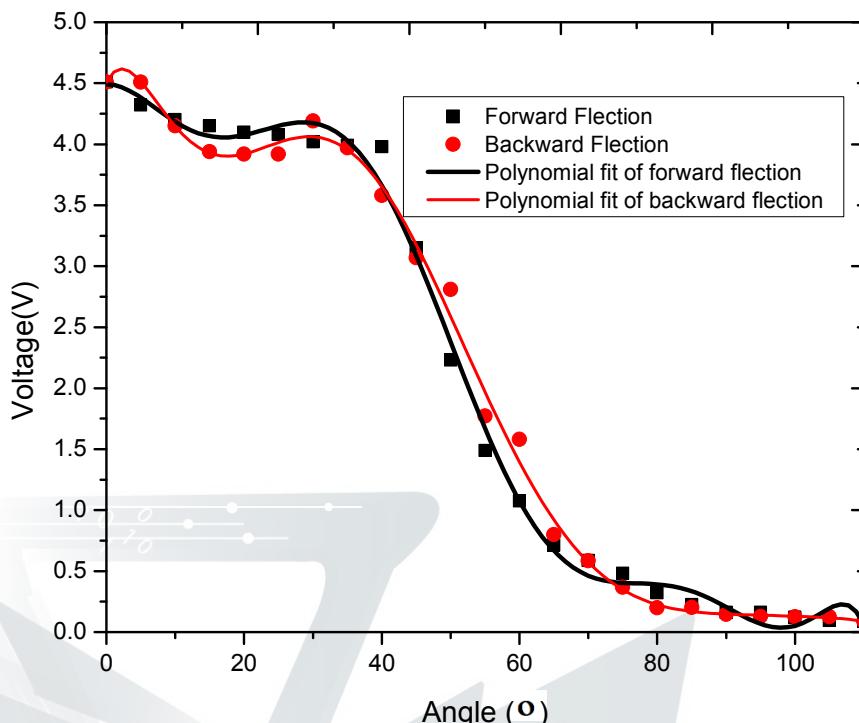


Figure. Schematic configuration of the experimental setup.

5. Conclusions.

In this work a flection arrangement based on a IFPI was demonstrated. In this arrangement a segment of a SMF was used to form angle variations. These changes were determined by monitoring power intensity voltage using a simple photodetector. Finally the system has a flexion sensitivity of 0.037 Vrms/°.

Acknowledgments

D. Jauregui-Vazquez is grateful to PIFI 2012 División de ingenierías campus Irapuato Salamanca Universidad de Guanajuato. This project was partially supported by the CONACYT under project No. 166361 and by Gobierno del Estado Guanajuato-CONACYT under project GTO-2012-C0-187434.

Bibliography

W. Zhou, Y. Z.-Y. (2012). Fiber-Optic Curvature Sensor Based on Cladding-Mode Bragg Grating Excited by Fiber Multimode Interferometer. *IEEE PHOTONICS JOURNAL*, 3, 1051-1057.

- Yuan Gong, T. Z.-J. (2011). All-Fiber Curvature Sensor Based on Multimode Interference. *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, 679-681.
- Burges, C. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining Knowledge Discovery*, 121-267.
- D. Jauregui-Vazquez, J. E.-A.-G.-L.-A.-R.-H.-R.-B. (2013). Highly sensitive curvature and displacement sensing setup based on an all fiber micro Fabry–Perot interferometer. *Optics Communications*, 289-292.
- D. Jáuregui-Vázquez, J. M.-A.-L.-R.-H.-G.-C. (2013). An All Fiber Intrinsic Fabry-Perot Interferometer Based on an Air-Microcavity. *Sensors*, 6355-6364.
- H. Sataka, H. Y. (2009). Wavelength tunability of L-band fiber ring lasers using mechanically induced long-period fiber gratings. *Optics Communications*, 1179-1182.
- Ming Deng, C.-P. T.-J. (2012). Highly sensitive bend sensor based on Mach–Zehnder interferometer using photonic crystal fiber. *Optics Communications*, 2849-2853.



Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

All Fiber Mach-Zehnder Interferometer Transfer Function via Semi-Physical Modelling.

S. E. Gonzalez-Reyna*, J. M. Sierra-Hernandez*, D. Jauregui-Vazquez*, J. G. Avina-Cervantes*, E. Gallegos-Arellano*, R. Rojas-Laguna* y I. Cruz-Aceves*

ABSTRACT

The Mach-Zehnder Interferometers are simple in configuration, highly sensitive designs. The main drawback to this arrangement lies in the transfer function model computation. System identification designs mathematical models for physical processes, fitting an existing model to the real data. In this paper, an all-fiber Mach-Zehnder interferometer is approximated using semi-physical modeling techniques.

RESUMEN

Recibido: 12 Enero 2012
Aceptado: 12 Febrero 2012

Los interferómetros Mach-Zehnder son diseños simples en configuración, altamente sensitivos. La principal desventaja de este arreglo yace en el cálculo del modelo de función de transferencia. La identificación de sistemas diseña un modelo matemático para procesos físicos, ajustando un modelo existente a los datos reales. En el presente artículo, un interferómetro Mach-Zehnder hecho completamente de fibra se aproxima usando técnicas de modelado semi-físico.

INTRODUCTION

In recent years, The Mach-Zehnder interferometers (MZIs) became particularly attractive due to their simple configuration and highly sensitive interference fringes. An MZI could be classified in two categories: extrinsic and intrinsic interferometers [1]. The intrinsic interferometer is constructed by cascaded $3dB$ couples [2, 3, 4]. The optical path difference varies when the certain perturbation is applied on either of the two arms. The MZI extrinsic is developed in the fiber itself [5, 6, 7, 8, 9]. For instance by using a section of fiber with thermally expanded core [5], multimode fiber [6], core offset technique [7], thin core fiber [8], and Photonic Crystal Fiber (PCF) with collapsed micro holes [9].

The potentials of MZI include support sensors systems, tunable fiber lasers, to name a few. However one of the principal hurdles is the lack of an appropriate model to describe the MZI transfer function with PCF collapsed micro holes. The most popular technique for the analysis of MZI spectrum is the one based on cascaded $3dB$ coupler [2, 3, 4]. Another work has reported a sinusoidal wave using a PCF interferometer [10], however the authors do not give an explanation about this method.

System identification is the process of designing mathematical models for a physical process, by using its input-output measurements. In Semi-physical modeling, there exists a certain prior knowledge about the dynamical system, named the model structure, and a parameter estimation is required in order to fit that model to real data. Fitting parameters may or may not have physical interpretation.

System Identification is defined in [11] as "the art and science of building mathematical models of dynamic systems from observed input-output data". [12] define semi-physical modeling as "the technique intended to combine the best of two worlds: knowledge-based modeling, whereby mathematical equations are derived in order to describe a process, based on a physical analysis, and black-box modeling, whereby a parameterized model is designed, whose parameters are estimated solely from measurements made on the process".

Palabras clave:

Interferometros Mach-Zehnder; Identificación de Sistemas; Modelado Semi-Físico.

Keywords:

Mach-Zehnder Interferometers; System Identification; Semi-physical Modeling

*Universidad de Guanajuato
*Universidad de Guanajuato

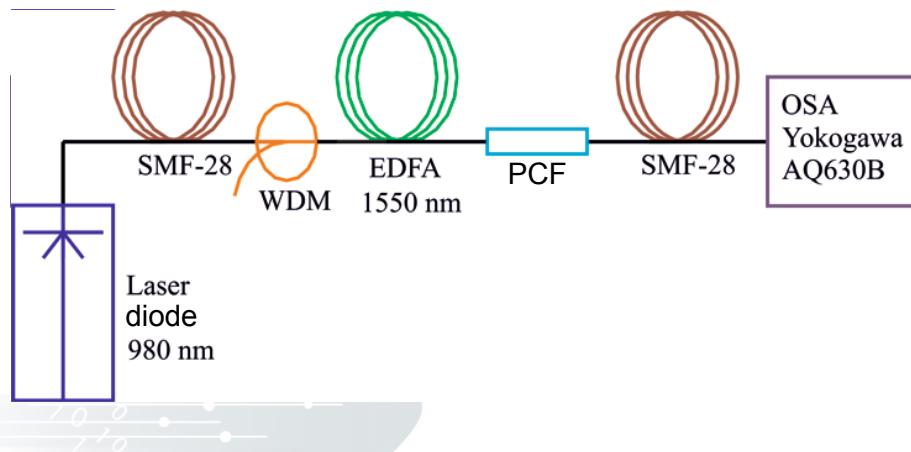


Figure 1 . Experimental Setup.

In semi-physical model system identification, several approaches have been proposed in the past years. Parameter estimation is the main difference between those studies, with Multi-Layer Perceptron Neural Networks [12], Radial-Basis Neural Networks (RBF), Multi-variable Splines, Wavelets, representing a few examples. In the present study, Levenberg-Marquardt algorithm (LM) [13] is applied for parameter estimation. The LM algorithm is an extension for non-linear least-squares problems, that iteratively locates the minimum of a multivariate function.

In this paper, an all-fiber Mach-Zehnder Interferometer transfer function will be approximated via semi-physical modelling system identification. Parameter estimation is achieved by LM.

EXPERIMENTAL SECTION

Fabrication of Interferometer

The experimental setup for torsion sensing is shown in Fig. 1. As gain medium 2.8m of C-band Erbium doped fiber (Thorlabs, model M5-980-125) with a doped concentration of 300ppm and absorption of 11.5dB/(m) was used, which was pumped by a 977nm central wavelength diode laser with 150mW maximum output power (QPhotonics, model QFBGLD-980-150J). This light beam was coupled into the MZI by using a 980/1550nm wavelength division multiplexer (WDM). The interferometer was fabricated by using a PCF, which has a core of 5 μ m, hole diameter of 6 μ m and spacing hole to hole of 2 μ m. The spectral response was monitored with an optical spectrum analyzer (OSA, Yokogawa model AQ630B). Figure 2 shows Scanning Electron Micrograph (SEM) of the cleaved face of a PCF. A segment of PCF was fusion spliced with two conventional optical fibers, head on head for both sides using a fusion splicer (Fitel S175). The insertion loss was ~ 14dB.

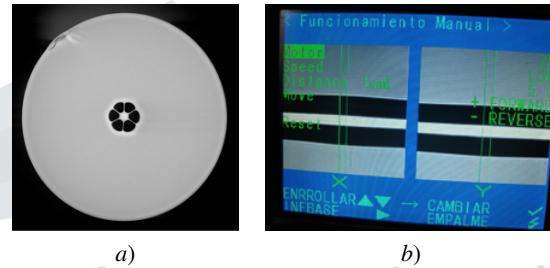


Figure 2 . a) PCF transversal section, b) splice between PCF and Single Mode Fiber (SMF).

Operation Principle

In our experiment, the MZI was achieved by fusion splicing the PCF between a SMF using electrical discharger splicer (Fitel S175). These electrical discharges induced a collapsed hole at the joint regions (Fig. 3) [9], where the fundamental mode of the SMF enters into the PCF. Therefore, both core and cladding modes will be excited. Since the PCF cladding has a lower effective index than the core index, a phase difference between the core and cladding modes are produced. In this configuration, the phase difference generates practically two paths and consequently some modes are propagated within the core and the remainder by the cladding of the PCF (Fig. 3).

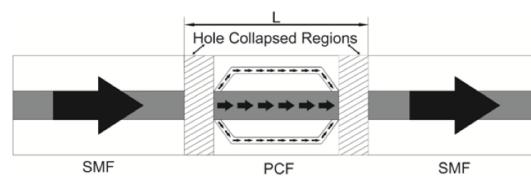


Figure 3 . Schematic diagram of the Mach-Zehnder Interferometer.

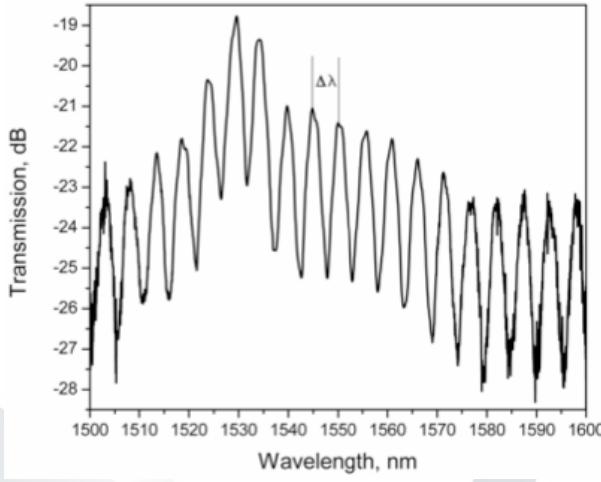


Figure 4 . Transmission response of the Mach-Zehnder interferometer.

Finally, at the second collapsed joint point cladding modes are re-coupled with the core mode. In this way, the PCF core and cladding form the two arms of the MZI (Fig. 3), while the collapsed point acts as a simple optical fiber coupler [14]. Figure 4 shows the spectrum of the implemented MZI. Clearly, an interference fringe has been obtained, the pattern range was from 1500 to 1600 nm, the separation between two spectral fringes was experimentally measured as $\Delta\lambda \sim 5\text{nm}$. The fringes spectrum of the MZI has a bandwidth of $\sim 4\text{nm}$.

System Identification

Hui et al [15] presented the transfer function of a conventional Mach-Zehnder Interferometer (Eq. (1)).

$$T(f) = \sin^2 \left[\frac{\pi f}{c} (n_2 L_2 - n_1 L_1) \right], \quad (1)$$

where $f = c/\lambda$, c is the speed of light, n is the effective refractive index and L is the interferometer arms length.

Figure 5 shows initial input/output measurements. Since the data are already logarithmic, the transfer function is then represented by the arithmetic difference between output and input. When both, real and modelled (using Eq. (1)) transfer functions are compared, it becomes obvious the need of fitting parameters. Figure 6 shows that both are sine functions, but with different amplitudes, offset levels, frequencies and phase values.

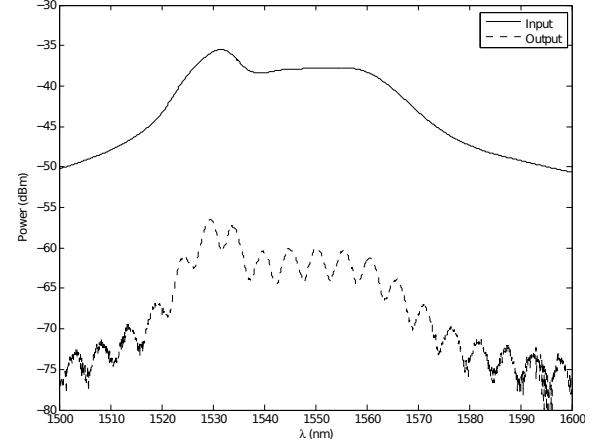


Figure 5 . Input and output data for an all-fiber MZI measurements.

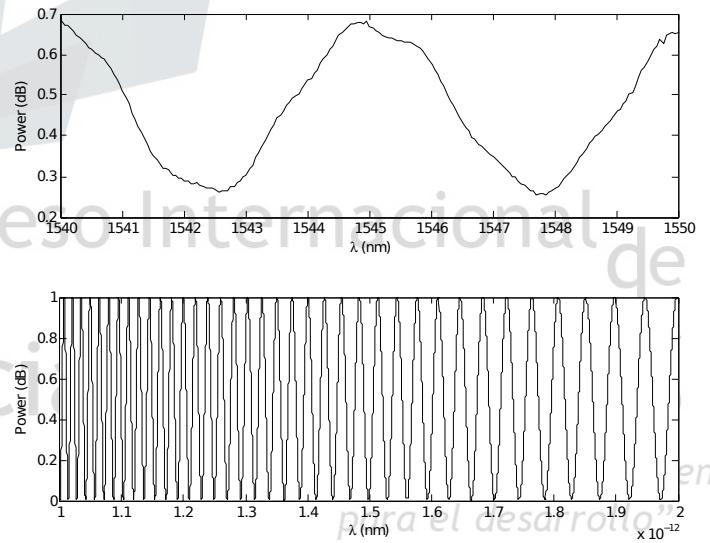


Figure 6 . Real (up) and modelled (down) transfer function comparison.

In this study, Eq. (1) was taken as the initial model structure. For an all-fiber MZI, $L_1 = L_2 = L$, and $n_1 \neq n_2$ due to the core and cladding materials. Moreover, fitting parameters are considered in order to adjust the model. As a consequence, Eq. (1) is modified to Eq. (2).

$$T(f) = \mathbf{a}_0 \sin^2 \left[\mathbf{a}_1 \frac{\pi f}{c} L (n_2 - n_1) + \mathbf{a}_2 \right] + \mathbf{a}_3, \quad (2)$$

where $\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ are the parameters to estimate. In order to simplify the problem, all L , n_1 and n_2 were treated as constants. Therefore, the fitting model structure was momentary modified as shown in Eq. (3).

$$T(f) = \mathbf{b}_0 \sin^2(\mathbf{b}_1 f + \mathbf{b}_2) + \mathbf{b}_3 \quad (3)$$

where \mathbf{b}_i are again the parameters to estimate, which values are related to \mathbf{a}_i as shown in Eq. (4). The constant α is a normalization value that scales the original signal to the range [0, 1].

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_0 &= \frac{\mathbf{a}_0}{\alpha} \\ \mathbf{b}_1 &= \mathbf{a}_1 \frac{\pi f}{c} L(n_2 - n_1) \\ \mathbf{b}_2 &= \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{b}_3 &= \frac{\mathbf{a}_3}{\alpha} \end{aligned} \quad (4)$$

The LM algorithm approximates the real measured data obtained for an all-fiber MZI to the proposed Eq. (3), by following the next steps:

1. Consider $y(f)$ as the real measured data in dB.
2. Find the normalization parameter, $\alpha = \max(y(f))$.
3. Normalize real data, $y_N(f) = y(f)/\alpha$.
4. Perform LM to find the parameters \mathbf{b}_i , by minimizing the error $\epsilon = (T(f) - y_N(f))^2$.
5. Compute the parameters \mathbf{a}_i from Eq. (4), and apply them on Eq. (2) to complete the model.

RESULTS AND DISCUSSION

The LM algorithm approximates the solution to the \mathbf{b}_i parameters. In this study, $L = 5\text{cm}$, $n_1 = 1.0$, $n_2 = 0.45$, and $\alpha = 0.0089$. Both \mathbf{a}_i and \mathbf{b}_i estimated values are displayed on Table 1. The parameter \mathbf{a}_1 was expected to be too large, due to the difference in frequencies showed in Fig. 6. However, the remainder parameters $\mathbf{a}_i, i \in \{0, 2, 3\}$ have smaller values.

Table 1.

LM estimation for parameters \mathbf{b}_i .

Parameter	Estimated \mathbf{b}_i	Estimated \mathbf{a}_i
0	0.3958	0.003509
1	1.4322×10^6	6.07865×10^{15}
2	1.3589	1.3589
3	0.2633	0.002334

Figure 7 shows both, real and modelled transfer functions displayed in different active ranges. It is clearly stated that the best approximation lies in the λ active range [1540, 1560]nm. The mean squared error (MSE) for the adjusted curve within this range is 3.5136×10^{-4} .

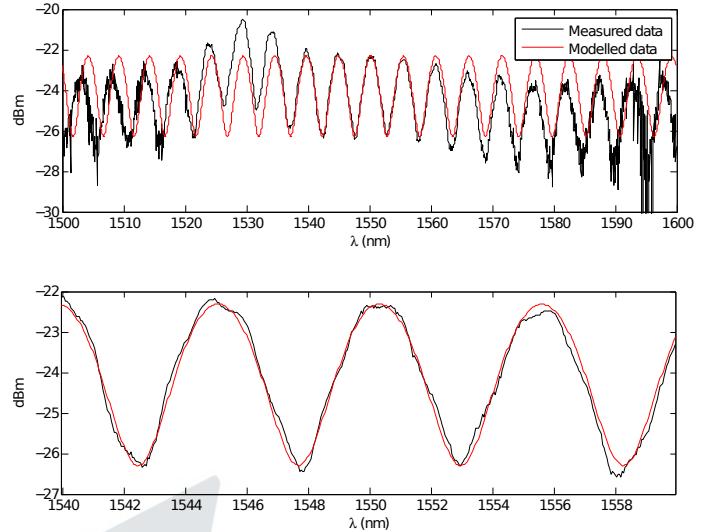


Figure 7 . Real measured and modeled transfer functions displayed in different active ranges.

CONCLUSIONS

In this study, a semi-physical modelling system identification was presented in order to compute a mathematical model for an all-fiber Mach-Zehnder interferometer. The original model was taken from [15] and after a comparison between real and simulated data, it was observed that the frequency, amplitude, phase and offset were different for both curves, therefore fitting parameters were needed.

Levenberg-Marquardt algorithm was applied using MATLAB® function lsqcurvefit, to fit the simulated data to the real desired behavior. It is demonstrated that by using semi-physical modeling, an accurate approximation to the original curve can be achieved, having for this particular case, a $MSE = 3.5136 \times 10^{-4}$. During this experiments, MATLAB® LM implementation was used, however, it is expected to obtain similar results independently from the fitting algorithm.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT) under Grant number 329483/229696, and for Universidad de Guanajuato through PIFI-2012.

REFERENCES

- [1] Liu, Y., Liu, B., Zhang, H., Miao, Y., 2010. Mach-zehnder interferometer based on core-cladding mode coupling in single mode fibers. Frontiers of Optoelectronics in China 3(4):364–369.

- [2] Tu, C., Guo, W., Li, Y., Zhang, S., Zhu, H., Lu, F., 2008. Multiwavelength yb-doped fiber ring laser based on a mach-zehnder interferometer. *Microwave and Optical Technology Letters* 50(3):723–725.
- [3] Tu, C., Guo, W., Li, Y., Zhang, S., Lu, F., 2007. Stable multiwavelength and passively mode-locked yb-doped fiber laser based on nonlinear polarization rotation. *Optics Communications* 280(2):448 – 452.
- [4] Zhang, J., Qiao, X., Liu, F., Weng, Y., Wang, R., Ma, Y., Rong, Q., Hu, M., Feng, Z., 2012. A tunable erbium-doped fiber laser based on an mz interferometer and a birefringence fiber filter. *Journal of Optics* 14(1):015402.
- [5] Nguyen, L. V., sun Hwang, D., Moon, D. S., Chung, Y., 2008. Tunable comb-filter using thermally expanded core fiber and ytterbium doped fiber and its application to multi-wavelength fiber laser. *Optics Communications* 281(23):5793 – 5796.
- [6] Nguyen, L. V., Hwang, D., Moon, S., Moon, D. S., Chung, Y., et al., 2008. High temperature fiber sensor with high sensitivity based on core diameter mismatch. *Opt. Express* 16(15):11369–11375.
- [7] Tian, Z., Yam, S. S. H., Loock, H., 2008. Single-mode fiber refractive index sensor based on core-offset attenuators. *Photonics Technology Letters, IEEE* 20(16):1387–1389.
- [8] Xia, T.-H., Zhang, A. P., Gu, B., Zhu, J.-J., 2010. Fiber-optic refractive-index sensors based on transmissive and reflective thin-core fiber modal interferometers. *Optics Communications* 283(10):2136–2139.
- [9] Deng, M., Tang, C.-P., Zhu, T., Rao, Y.-J., 2011. Highly sensitive bend sensor based on mach-zehnder interferometer using photonic crystal fiber. *Optics Communications* 284(12):2849 – 2853.
- [10] Wang, J.-N., Tang, J.-L., 2012. Photonic crystal fiber mach-zehnder interferometer for refractive index sensing. *Sensors* 12(3):2983–2995.
- [11] Ljung, L., 2008. Perspectives on system identification. *Annual Reviews in Control* 34(1):1–12.
- [12] Oussar, Y., Dreyfus, G., 2001. How to be a gray box: dynamic semi-physical modeling. *Neural Networks* 14(9):1161–1172.
- [13] Lourakis, M. I., 2005. A brief description of the levenberg-marquardt algorithm implemented by levmar. Institute of Computer Science, Foundation for Research and Technology 11.
- [14] Chen, W., Lou, S., Feng, S., Wang, L., Li, H., Guo, T., Jian, S., 2009. Switchable multiwavelength fiber ring laser based on a compact in-fiber mach-zehnder interferometer with photonic crystal fiber. *Laser physics* 19(11):2115–2119.
- [15] Hui, R., O'Sullivan, M., 2009. *Fiber Optic Measurement Techniques*. USA: Elsevier Academic Press.

Recognition and authentication of handwritten signatures based on Geometric Attributes.

J. G. Aguilera-Gonzalez*, S. E. Gonzalez-Reyna**, J. I. Yanez-Vargas*** y S. E. Ledesma-Orozco **

ABSTRACT

Signature Recognition is one of the most widely used behavioral biometric recognition methods. In the present paper, a methodology for offline handwritten signature identification is proposed. The proposed system is capable to identify and authenticate an individual's handwritten signature from an existent group, based on a set of geometric attributes. A Multi-Layer Perceptron, the original implementation of an Artificial Neural Network was used as a classification tool. The proposed approach is compared to competitive methods on identification of the written signature. The Caltech Vision Group Signature Database was used to prove the algorithms results.

RESUMEN

El Reconocimiento de firmas es uno de los métodos de reconocimiento de comportamiento biométrico más utilizados. En el presente artículo, se propone una metodología para la identificación de firmas off-line. El sistema propuesto es capaz de identificar y autenticar la firma escrita de un individuo de entre un grupo, basándose en un conjunto de atributos geométricos. Un Perceptrón Multicapa, que es la implementación original de una Red Neuronal Artificial, se utilizó como herramienta de clasificación. El método propuesto es comparado con métodos competitivos en la identificación de la firma escrita. La base de datos Caltech Vision Group Signature Database fue utilizada para comprobar los resultados del algoritmo.

Recibido: 12 Septiembre 2012

Aceptado: 26 Septiembre 2012

INTRODUCTION

Biometric recognition refers to an automatic recognition of individuals based on a feature vector derived from their physiological and/or behavioral characteristics. Biometric recognition systems should provide a reliable personal recognition scheme to either confirm or determine the identity of an individual. Biometric systems can operate in two modes: verification or identification. **Identification** consists in comparing the acquired biometric information against templates corresponding to all users in the database; **verification** involves the comparison with only those templates corresponding to the claimed identity.

Biometric recognition via signature is a simple, concrete expression of the unique variations in human hand geometry. The way a person signs his or her name is known to be a characteristic of that individual [1, 2, 3].

Palabras clave:

Perceptron Multicapa; Reconocimiento de Patrones; Firma Escrita; Reconocimiento On-line; Reconocimiento Off-Line

Keywords:

Multi-Layer Perceptron; Pattern Recognition; Handwritten Signatures; On-line recognition; Off-line recognition

Written signature is probably one of the oldest biometric recognition methods, with high legal acceptance. Technological advances have made possible new perspectives for signature recognition, by the means of capturing devices which provide more than the simple signature image: pressure, acceleration, etc. Signature recognition can be split in two categories [4, 5]:

1. *Static “off-line”*: in this mode, users write their signature on paper, digitize it through an optical scanner or a camera, and the biometric system recognizes the signature by analyzing its shape.
2. *Dynamic “on-line”*: users write their signature in a digitizing device.

*Universidad Politécnica de Juventino Rosas

**Universidad de Guanajuato

***CINVESTAV Unidad Guadalajara

**Universidad de Guanajuato

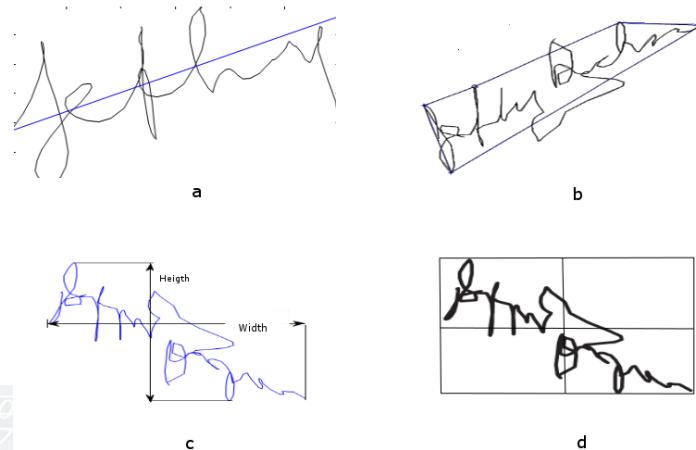


Figure 1 . Handwritten signatures characteristics.

During the last years, the most important problem in computer security systems is the individual's recognition and authentication, specially when trying to legitimate the user in a cashier's check, bank transfers and other official documents.

In this paper, we proposed a system with a set of nine geometrical features, including graph length, area, writing angle, writing dimension (width and height) and pixel density (Divided into four regions each signature). A Multi-Layer Perceptron (MLP) is used as pattern recognition tool due to its robustness to noise, and generalization abilities. Experiments were performed on the Caltech Vision Group Signature Data, to demonstrate the validity of the method [6, 7].

This paper is organized as follows. Section 2 describes some concepts and the methodology followed to obtain the features in the proposed approach. Section 3 presents experimental results. Finally, Section 4 gives final conclusions and directions for future work.

METHODOLOGY

Signatures Training Set

The system presented here was tested using the database of Caltech Vision Group Signature Data, version 1.0 by Mario E. Munich and Pietro Perona of the California Institute Of Technology, 1998 – 2002, which contains the handwritten signatures of individuals with 25 genuine and 10 false signatures for each one.

The database consists in a set of coordinates the user follows in order to write his signature. Therefore, when all the coordinates are displayed together, the result is the binary image of the signature.

Feature Generation

Feature Generation plays a very important role in all pattern recognition systems. It is preferable to extract those features which will enable the system to correctly discriminate one class from the others. In an off-line signature image, there are two kinds of features: static features and pseudo-dynamic features. The static features include the length and width of the signature, calibration, proportion, spacing, behavior guideline and base behaviors as well as pixel density, pixel distributions. The pseudo-dynamic features are used to detect skilled forgeries, because it is possible to recover pressure information from the image of the signature using the pseudo-dynamic features [8].

In the present experiment, a set of geometric characteristics is proposed in order to discriminate the existing signatures. These characteristics are shown in Fig. 1 and described as follows:

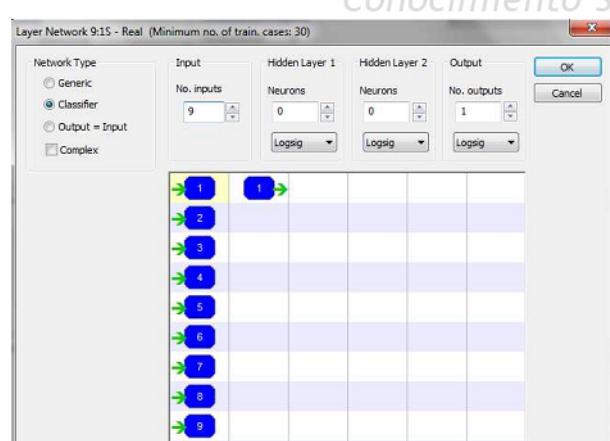


Figure 2 . Artificial Neural Network in Neural Lab v3.1

- *Length*: using the signature as a binary image, the length corresponds to the number of black pixels,
- *Writing angle*: (Fig. 1.a) using the mean square linear regression in order to find the angle of the graphism,
- *Area* (Fig. 1.b): Using the “cross product” choosing one of the vertices from the graphism, forming all the possible triangles who contains the vertices previously selected and finally calculating the determinant of each triangle and performing the sum of every determinant.
- *Dimensions of the graphism*(Fig. 1.c) : obtaining the height and width of the graphism, in pixels, and
- *Pixel density* (Fig. 1.d): counting the number of black pixels by area unit, in this case, each graphism is divided into four regions, obtaining therefore four density features.

Each one of these features are used to create a Training Set, obtaining nine characteristics in total: width, height, angle, four characteristics of density, length, area and the individual to whom it corresponds, as class label for individual's identification. This training set is then linearly adjusted to the range $[-3, 3]$ and used to train a MLP, with nine inputs (one neuron for each characteristic), and one output that scores wether the handwritten signature is original or false. The MLP was created, trained and tested using NeuralLab v.3.1 (Fig. 2).

The same training set was used for two different purposes: 1) indicate wether or not a signature is authentic, without taking into account who wrote it, and 2) to identify the person whose sign is being analyzed. The only difference is in the target's labels.

Finally, Fig. 3, describes the proposed algorithm as a flow chart.

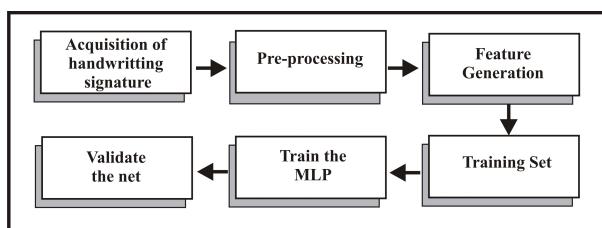


Figure 3 . Proposed Method's Flow Diagram.

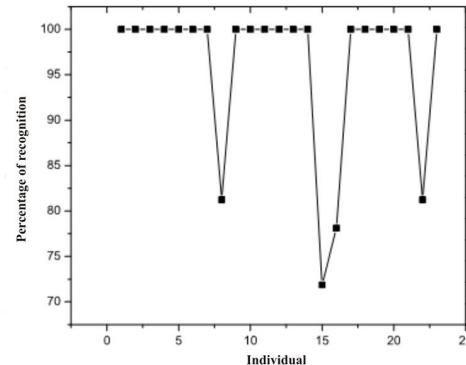


Figure 4 . Individual's Authentication performance.

RESULTS

Three different experiments were performed in order to validate the set of features proposed in this study. Full explanations and results are provided below.

Individual's Authentication

During this experiment, a different dataset was created, one for each individual, composed with both authentic and false signatures. The purpose was to validate the authenticity of the written signature.

A MLP was then trained and tested for each individual dataset using Leave One Out Cross Validation (LOOCV). The MLP had nine input neurons, one for each attribute, zero hidden units and one output. Figure 4 shows that in most cases the MLP reached 100% accuracy and only in the case of 4 individuals the net could not authenticate the signature, this recognition or Learning of the MLP involves nine characteristics that are required to perform a personal identification with very acceptable results.

On individual's authentication, a 96.71% of accuracy was reached, corresponding to 846 out of the 874 cases to identify. A different approach was proposed by [9] et al, in this paper, a set of dynamic and static features was used with two classifier nets, obtaining a 92.86% of accuracy.. Another work, [10] reached a 97.8% of authentication accuracy, but using a set of 48 features based on the envelopes of signatures.

Individual's Identification from a Database

In identification, we attempted to recognize a certain individual from the rest of those in the database, based on his handwritten signature. For this purpose, a new MLP was created, but now there existed 23 different people to distinguish, so the MLP had 23 output neurons.

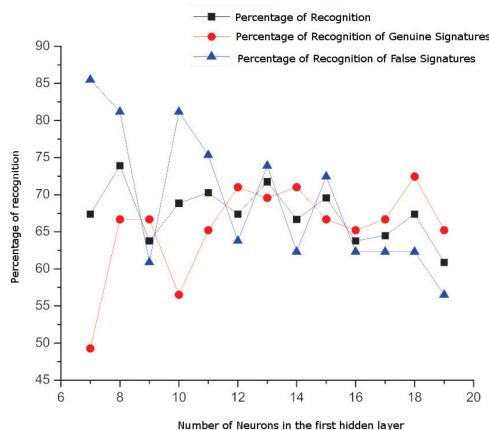


Figure 5 . Identification of each individual percentage of recognition.

In order to find the optimal configuration on the network, the number of hidden neurons was successively incremented. Figure 5 shows the performance test results, where PRF is the average Percentage of Recognition between the PRFG (Percentage of Recognition of Genuine Handwritten Signatures) and the PRFF (Percentage of Recognition of False Handwritten Signatures). For this test, we obtained an individual identification of 76.81% while in [11] a 70.5% was reached.

Authenticity

The third performed experiment consisted in written signatures authentication. Therefore, the system would indicate if the signature was authentic, without individual's identification. The resulting MLP was conformed with nine input neurons, one output and varying number of hidden units in order to know the MLP optimal configuration.

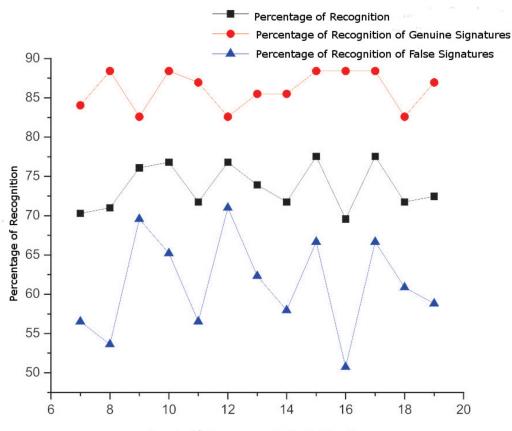


Figure 6 . Authentication of each individual percentage of recognition.

Figure 6 shows the results for varying number of neurons in the hidden layer. Highest accuracies were obtained for both, 11 and 15 hidden units, with a 89.86% recognition. The system can therefore distinguish between genuine and forged signatures, with an acceptable performance.

If it is taken into account the percentage of counterfeit signature recognition, it has the best result with 19 neurons, with 75.00% of recognition.

CONCLUSION

In this paper we proposed an off-line signature verification system, based on a novel set of geometric features, to characterize the written signatures. The geometrical features were chosen according to the capability to distinguish signatures from different people in a set of signatures. Although the simplicity in the feature generation process, the robust generalization abilities were demonstrated through a series of experiments, where a MLP performed the classification given its robustness to noise and generalization abilities.

The set of geometric attributes is conformed by width, height, angle, four attributes of density, length and area. During the experiments presented here, it is stated that the best use for the set of attributes is individual's authentication. For individual's identification, it might be a good idea to complement the dataset with additional information in order to increase accuracy.

In the case of signature authentication using MLP, it was possible to obtain satisfactory results using only the characteristics of a genuine signature and a forged signature, without distinction between the signers and forged signatures.

The system is robust and have the able to detect forgery attempts.

“Conocimiento Sistémico para el desarrollo”

REFERENCES

- [1] Delac, K., Grgic, M., 2004. A survey of biometric recognition methods. In Electronics in Marine, 2004. Proceedings Elmar 2004. 46th International Symposium, pages 184–193.
- [2] Dubey, R., Agrawal, D., 2012. Comparative analysis of off-line signature recognition. In Information and Computing Technology. 2012 International Conference on Communication, pages 1–6.
- [3] Schafer, B., Viriri, S., 2009. An off-line signature verification system. In IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications, pages 95–100.
- [4] Faundez-Zanuy, M., 2005. Signature recognition state-of-the-art. Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE 20(7):28–32.

- [5] Porwik, P., Para, T., 2007. Some handwritten signature parameters in biometric recognition process. In Information Technology Interfaces, 2007. Proceedings of the ITI 2007 International Conference, pages 185–190.
- [6] Haykin, S., 1999. NEURAL NETWORKS: A Comprehensive Foundation. Pearson Prentice Hall, second edition.
- [7] Ribert, A., Stocker, E., Lecourtier, Y., Ennaji, A., 1999. A survey on supervised learning by evolving multi-layer perceptrons. In Computational Intelligence and Multimedia Applications, 1999. ICCIMA'99. Proceedings. Third International Conference on, pages 122–126.
- [8] Hou, W., Ye, X., Wang, K., 2004. A survey of off-line signature verification. In Intelligent Mechatronics and Automation, 2004. Proceedings of the 2004 International Conference, pages 536–541.
- [9] Molina, M., Arias, N., Gualdrón, O., 2007. Identificación de personas por medio de firmas escritas a mano. In Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Basicas, pages 61–66.
- [10] Nakano, M., Toscano, K., G., S., Perez, H., 2000. Reconocimiento de firmas usando un arreglo de perceptrones multicapas. In Congreso Nacional de Instrumentacion, Memorias SOMI XV.
- [11] Jabbour, R., Marquez, R., L., M., 2010. Off-line signature recognition using support vector machines. In Revista Ciencia e Ingeniería, pages 43–52.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

**Analysis of a Fabry-Perot interferometer using both silicon and germanium wafers
for gas sensing.**

**Análisis de un Interferómetro Fabry-Perot utilizando obleas de silicio y germanio
para el sensado de gases.**

ABSTRACT

In this paper an analysis to determine the viability of implementing a Fabry-Perot interferometer using a silicon wafer or germanium wafer for the design of a gas sensor based on correlation spectroscopy is presented. For instance we consider a acetylene gas (C_2H_2) as target to be detected and the results show that the thicknesses for silicon wafer to be used to implemented the sensor could be of 271.28 μm o 539.14 μm and germanium wafers of 237.375 μm o 471.75 μm . Finally, through optimization processes is determined that the thickness of 471.75 μm germanium wafer provides improved selectivity to the target gas.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis para determinar la viabilidad de implementar un interferómetro Fabry-Perot (FPI) utilizando una oblea de silicio o una oblea de germanio para el diseño de un sensor de gas basado en espectroscopía correlacional. Como ejemplo consideramos como gas objetivo acetileno (C_2H_2) para el cual por medio de simulaciones, los resultado muestran que los espesores para las obleas de silicio que se utilizarán para implementar el sensor pueden ser de 271.28 μm o 539.14 μm y para las obleas de germanio de 237.375 μm o 471.75 μm . Finalmente por medio de procesos de optimización se

determina que el espesor de $471.75\mu\text{m}$ de la oblea de germanio proporciona la mejor selectividad al gas objetivo.

Keywords: Gas sensor, Fabry-Perot Interferometer, Correlation, Spectroscopy.

Palabras claves: Sensor de gas, interferómetro Fabry-Perot, correlación, espectroscopia.

INTRODUCCIÓN

Existen diversas formas de medir la concentración de un gas, dependiendo del principio de aplicación, por ejemplo los sensores ópticos miden cambios en la luz cuando interactúan las moléculas y éstos se reflejan en un cambio en la transmisión. Los sensores ópticos de gas tienen diferentes arreglos y aplicaciones pero de forma general pueden clasificarse en Dispersivos y no Dispersivos (Vargas, 2007). Los dispersivos miden la transmisión de la luz cuando interactúa con las moléculas del gas para cada una de las longitudes de onda de la luz proveniente de la fuente, en cambio los no dispersivos lo miden para todas las longitudes de onda. Es decir en los no dispersivos todas las longitudes de onda llegan al detector al mismo tiempo ocasionando que la luz vista por el detector este en función de la concentración del gas.

El funcionamiento del sensor de gas no dispersivo basado en un interferómetro Fabry-Perot (FPI) es relativamente simple y se basa en el método de la correlación espectroscópica. Así mismo los sensores de gas basados en espectroscopía correlacional que usan un Interferómetro fabry-Perot (FPI) como modulador han sido propuestos por diferentes autores desde hace muchos años, los trabajos presentados por las referencias (Barrett y Myers, 1971), (Jin, Stewart, Culshaw, Murray y Pinchbeck, 1993), Mohebati y

King, 1998), (Dakin, 1988), (Kebabian et. al., 2000) y (Vargas y Rutt, 2005) son solo unos ejemplos. En este tipo de sensores su configuración óptica es sencilla, también tienen alta sensibilidad y selectividad pero son muy sensibles a vibraciones (Vargas, 2007). La figura 1 muestra una configuración óptica de un sensor de gas basado en espectroscopia correlacional con un modulador FPI, usualmente en este tipo de sensores se utiliza un FPI para inducir modulación, esto es obtenido primeramente seleccionando la longitud de la cavidad del FPI de tal manera que sus franjas de transmisión espectrales coincidan con las líneas de absorción del gas en estudio (figura 2 (a)). En segundo lugar la longitud de la cavidad del FPI es desplazada $\lambda/2$ produciendo un corrimiento spectral en los límites de la transmisión del FPI (figura 2 (b)). Este corrimiento producirá un cambio en el paso de la potencia total a través de la celda de gas (Vargas y Rutt, 2009). El diseño de este tipo de sensores de gas puede ser simplificado mediante el empleo del método de convolución (Vargas et. al., 2005) y (Vargas y Rutt 2007). Con este método los parámetros óptimos del FPI, como son la longitud de la cavidad y la reflectividad, pueden ser fácilmente determinados.

Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
en el desarrollo”*

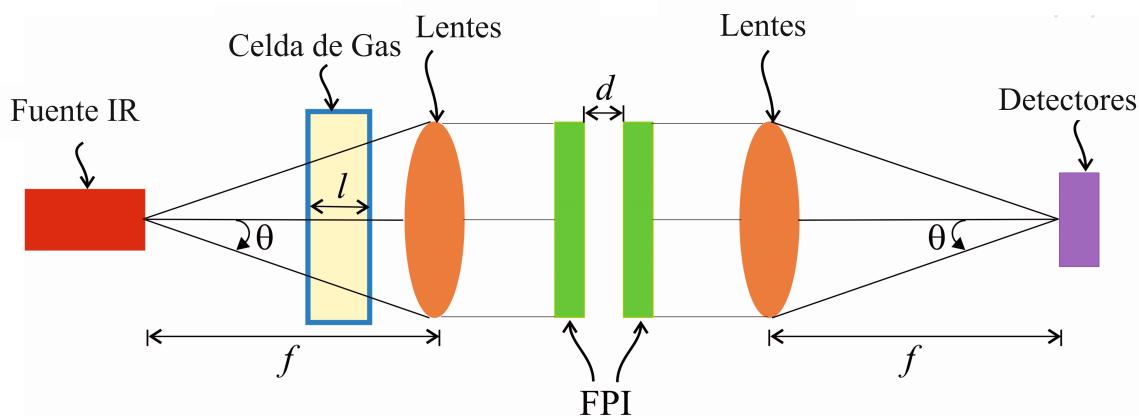


Figura 1- Configuración óptica de un Sensor de Gas basado en espectroscopia correlacional con un Modulador FPI.

En este trabajo se introducirá una oblea de Si o Ge que realizará la función del FPI, para esto se requiere determinar el espesor de la oblea que permita que sus franjas de transmisión espectrales coincidan con las líneas de absorción del gas en estudio y determinar que oblea y espesor proporcionan la mejor selectividad al gas objetivo.

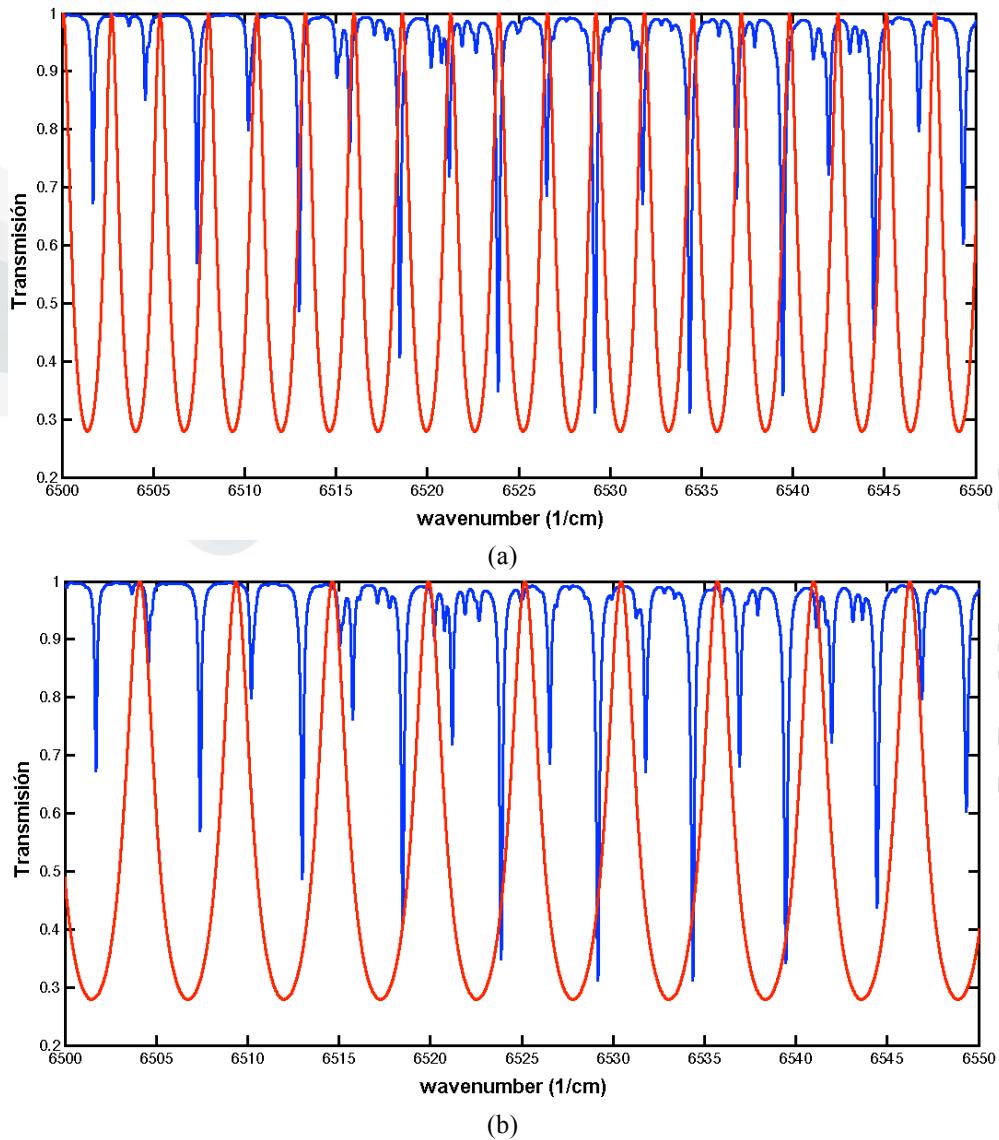


Figura 2. Transmisión del gas objetivo y franjas espectrales del FPI

METODOLOGÍA

La metodología a utilizar es de acuerdo al método propuesto por E. Vargas-Rodríguez y H. N. Rutt (2007), donde para encontrar los parámetros óptimos en detectores de gas basado en espectroscopía correlacional usando FPI se debe analizar la información desde el punto de vista de la transformada de Fourier. El método muestra que la transformada de Fourier del patrón de líneas espectrales del FPI consiste de pulsos centrados en frecuencias $\xi = m2nd$, a incidencia normal. Tales frecuencias se deben al periodo de las franjas dado por el FSR. Por lo tanto el primer armónico tiene una frecuencia 2nd, el segundo 4nd y así sucesivamente (Figura 3). Nótese que las amplitudes de los pulsos son iguales para los dos valores de nd. Las magnitudes $A_m / 2$ de los pulsos son función del coeficiente de Reflectividad R, dada por

$$A_m = \left(\frac{1-R}{1+R} \right) 2R^m \quad (1)$$

para $m = 1, 2, \dots, \infty$ y $(0 \leq R \leq 1)$. Esta ecuación es obtenida de la expansión en series de Fourier de la función de Airy.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

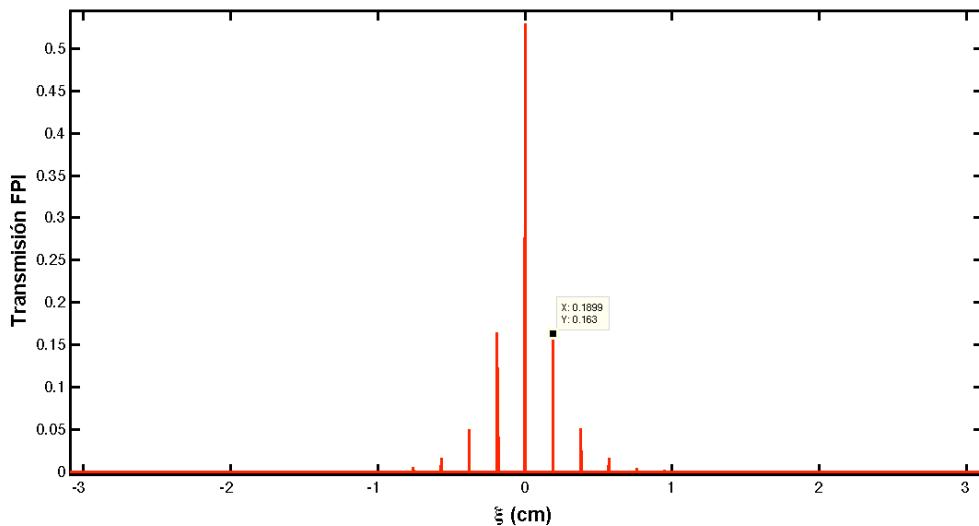


Figura 3. Magnitud de la transformada de Fourier del patrón de franjas de transmisión del FPI

Para iniciar con el método se analiza la transmisión de energía a través de un gas dada por la ley de Beer-Lambert (Vargas, 2007).

$$T(\nu) = e^{-l\alpha(\nu)c} \quad (2)$$

donde l es la distancia (cm) que recorre la luz a través del gas, $\alpha(\nu)$ es el coeficiente de absorción monocromática ($1/\text{molecula cm}^2$) y C es la concentración del gas (moléculas/cm^3). De la ecuación 2 se deduce que a medida que aumenta la concentración del gas menor será la cantidad de energía que logra atravesar el gas. De igual manera la transmisión disminuye con respecto a la distancia que recorre la luz por el gas. La figura 4 muestra el espectro de transmisión del acetileno utilizando la ecuación 2, en ella se puede observar que se tiene dos picos, analizando su espectro de transmisión en el primer pico (figura 5) se puede observar el patrón de franjas, debido a que las líneas espectrales del FPI deben coincidir con las líneas de absorción ro-vibracional del gas en cuestión y ya que estas

no son equidistantes en su banda de absorción se recurre a la transformada de Fourier para determinar la separación promedio efectiva entre las líneas de absorción ro-vibracional del gas. Ya que el espectro de transmisión del acetileno tiene dos ramas se puede aplicar un filtro en alguna de las ramas para analizar el espectro en donde se vean las líneas de absorción mas equidistantes y así el sensor responda a dichos cambios (figura 6), después nuevamente se aplicará la transformada de Fourier y se analizaran sus características (figura 7).

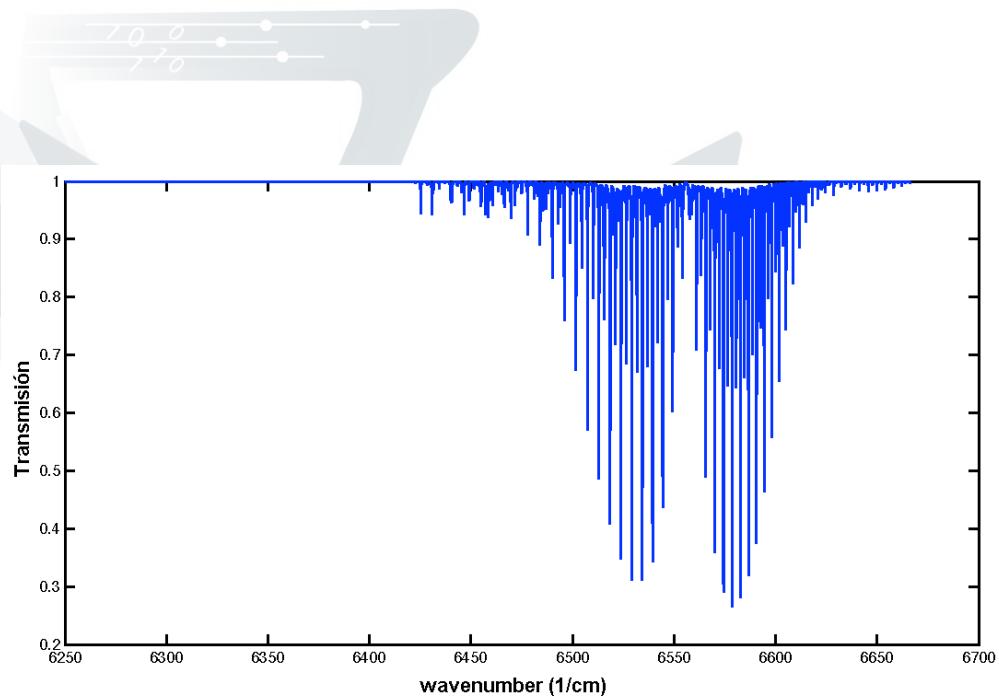


Figura 4. Espectro de Transmisión del acetileno

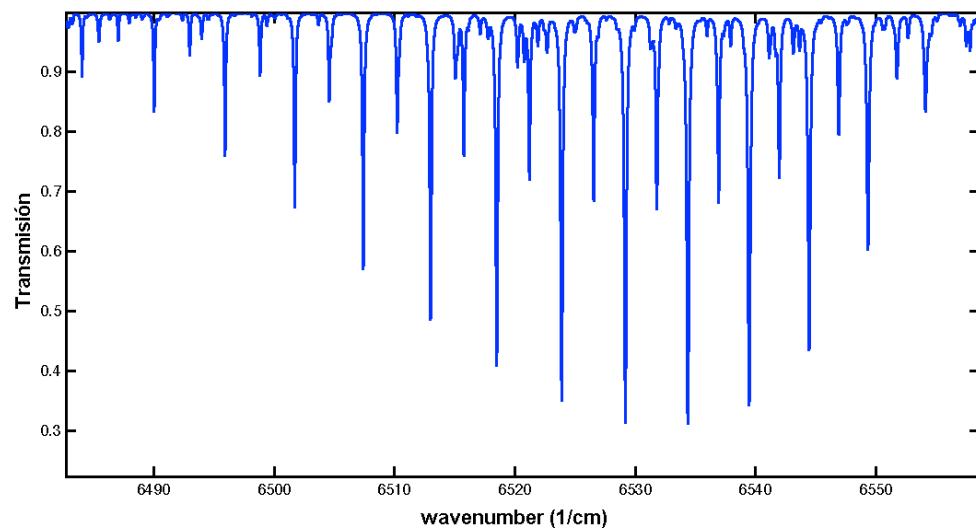


Figura 5. Transmisión del acetileno en el primer pico.

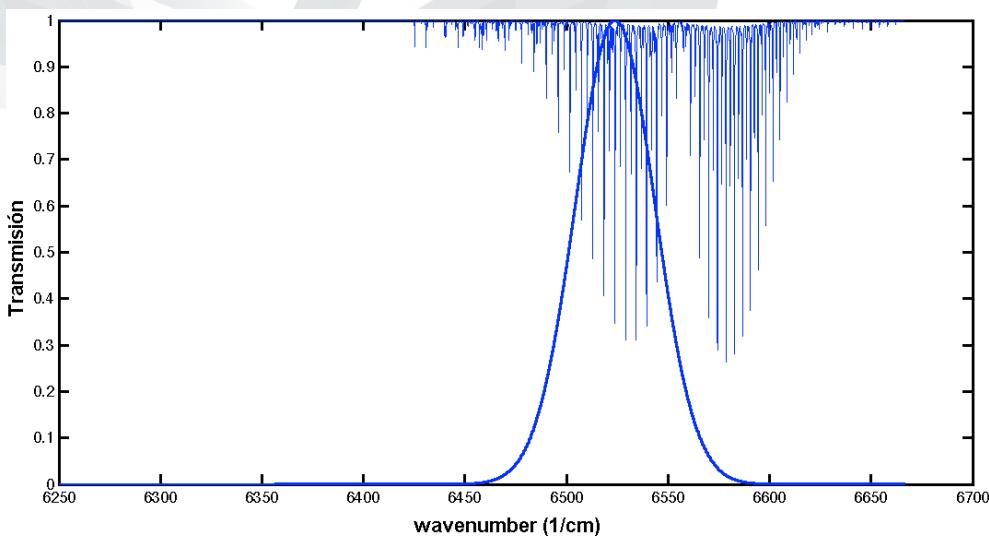


Figura 6. Transmisión del acetileno y filtro pasabandas

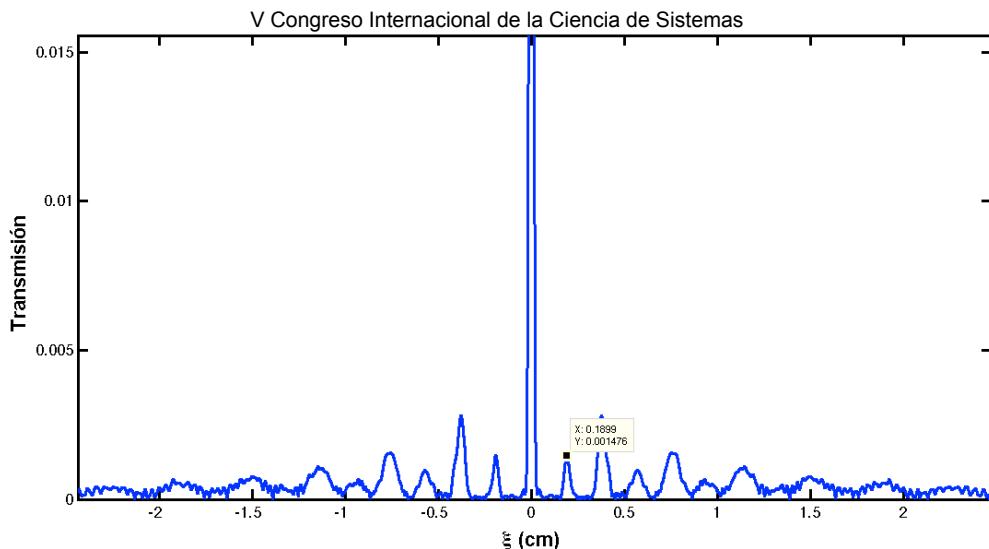


Figura 7. Magnitud de la transformada de Fourier de las líneas de absorción de gas filtradas.

Las características que podemos estudiar con el acetileno y que nos ayudan para el diseño de nuestro sensor, son los picos que se muestran en la figura 7 porque con ellos podemos seleccionar el grosor de una oblea de silicio o germanio que nos sirva o haga la función de un FPI.

Para realizar el cálculo del grosor de la oblea de silicio tenemos que:

$$\varepsilon_m = m^2 n d \quad (3)$$

Donde $m = 0, 1, 2, \dots$

n es el índice de refracción del material y d es la distancia de la cavidad del FPI o en este caso el grosor de la oblea de silicio y germanio. ε_m lo tomamos de la figura 7 donde se muestra el valor en el pico. Así la formula a utilizar para calcular el grosor es:

$$d = \frac{\varepsilon_m}{m^2 n} \quad (4) \qquad FSR = \frac{1}{2nd} \text{ (Rango espectral libre)} \quad (5)$$

Una vez calculado el grosor de la oblea se simulará la respuesta del sensor.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos al analizar el espectro de transmisión del acetileno y aplicándole la transformada de Fourier para el cálculo del grosor de la oblea utilizando la ecuación 4. Se muestran en la tabla 1. En ella tenemos los posibles grosores de las obleas en la columna de la d.

TABLA 1. Análisis de la magnitud de la transformada de Fourier de la transmisión del gas .

Datos	Material	$\varepsilon_m (cm)$	d (μm)	n	m	nd (cm)	R	FSR (cm^{-1})
Primer Pico	Si	0.1923	274.7	3.5	1	0.09615	0.3086	5.2002
Segundo Pico	Si	0.2404	343	3.5	1	0.12019	0.3086	4.16
Primer pico	Ge	0.1923	240.375	4	1	0.09615	0.36	5.2002
Segundo Pico	Ge	0.2404	300.5	4	1	0.12019	0.36	4.16

Se analizó la primera rama utilizando un filtro pasa bandas y aplicando nuevamente la transformada de Fourier para ver el comportamiento del sensor, los resultados se muestran en la tabla 2.

TABLA 2. Análisis de la magnitud de la transformada de Fourier de la transmisión del gas aplicando un filtro pasa bandas.

Datos	Material	$\varepsilon_m(cm)$	d (μm)	n	M	nd (cm)	R	FSR (cm^{-1})
Primer Pico	Si	0.1899	271.28	3.5	1	0.09494	0.3086	5.2659
Segundo Pico	Si	0.3774	539.14	3.5	1	0.18869	0.3086	2.6497
Primer pico	Ge	0.1899	237.375	4	1	0.09494	0.36	5.2659
Segundo Pico	Ge	0.3774	471.75	4	1	0.18869	0.36	2.6497

Para saber la respuesta de mi sensor evaluamos la profundidad de modulación (Dm), conforme varía la concentración del gas, con la siguiente formula (Vargas et. al., 2009) :

$$D_m = \frac{2(B-A)}{B+A} \quad (6)$$

En donde para nuestro análisis y nuestro caso B es la integración de la transmisión del gas y el filtro y A la integración de la transmisión del gas, el filtro y el FPI. La figura 8 muestra la profundidad de modulación de nuestro sensor conforme varia la concentración utilizando los datos del grosor de la oblea mostrados en la tabla 2 tanto para silicio en la parte de abajo y germanio en la parte de arriba. Para nuestro análisis de la figura 8 la que presente mayor pendiente es la que tiene mayor Dm y es la que nos proporciona mejor selectividad de nuestro gas objetivo puesto que nos va a permitir observar cambios en la concentración aunque sean pequeños.

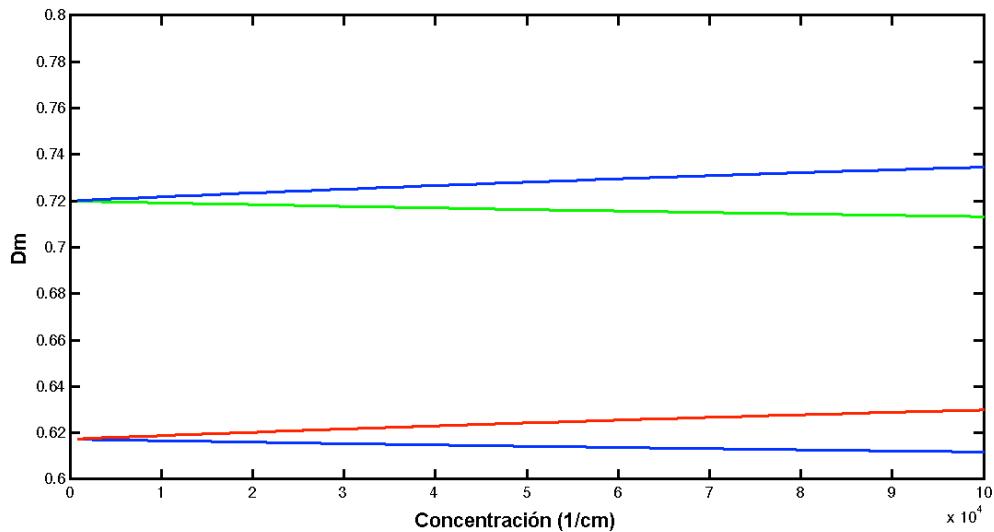


Figura 8. Grafica de la profundidad de la modulación conforme varia la concentración con germanio (arriba) y silicio (abajo) utilizando las dos cavidades y la transmisión en el FPI.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos aplicando la ecuación 6, en la cual la oblea que proporciona mejor selectividad es la de germanio con un espesor de $471.75\mu\text{m}$.

Tabla 3. Resultados Evaluando la Profundidad de modulación

Datos	Material	$\varepsilon_m(\text{cm})$	ΔDm
Primer Pico	Si	0.1899	0.0055
Segundo Pico	Si R=0.3086	0.3774	0.0125
Primer pico	Ge	0.1899	0.0067
Segundo Pico	Ge R=0.36	0.3774	0.0144

*Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas
“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”*

CONCLUSIONES

Al analizar los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde los espesores de las obleas de silicio que se pueden utilizar para implementar un interferómetro Fabry-Perot (FPI) para el diseño de un sensor de gas basado en espectroscopia correlacional son de

271.28 μm o 539.14 μm , en cambio si se requiere implementar con obleas de germanio se pueden utilizar con espesores de 237.375 μm o 471.75 μm aproximadamente. Sin embargo cuando se analizo la profundidad de modulacion del sensor por medio de simulariones los resultados determinaron que el espesor de 471.75 μm de la oblea de germanio proporciona la mejor selectividad al gas objetivo.

REFERENCIAS

- Dakin, J. P. (1998). Rewiev of fiber optics gas sensors. *The Plessey Company PLC* .
- J. J Barret and S. A, M. (1971). New interferometric Metod for Studying Periodic Sprectra using a Fabryt-Perot Interferometer. *J. Opt. Soc. Am.* , 1246-1251.
- king, A. M. (1998). Remote detection of gases by diode laser spectroscopy . *Journal of Modern Optics* , 319-324.
- P. L. Kebabian, K. D. (2000). Nitrogen dioxide sensing using a novel gas correlation detector. *Meas. Sci. Tecnol.* , 103002-1.
- Rutt, C. D. (1999). Evaluation of Multiple beam interference effects in infrared gas spectroscopy. *Meas. Sci. Technol.* , 206-210.
- Rutt, E. V.-R. (2007). An Analytical Method to Find the optial parameters for gas detectors based on correlation spectroscopy using a Fabry-Perot interferometer. *App. Opt.* , 4625-4632.
- Rutt, E. V.-R. (2009). Design of Co, CO2 and CH4 gas sensors based on correlation spectroscopy using a Fabry-Perot interferometer. *Sensor and Actuatiors B* , 410-419.
- Rutt, E. V.-R. (2005). Method to minimize spurious background signals in gas detectors base on correlation spectroscopy using a Fabry-Perot band pass filter shape optimization. *Opt. Engineering* , 103002-1.

Vargas-Rodriguez, E. (Abril de 2007). Optical Gas Sensors based on correlation Spectroscopy using a Fabry-Perot Interferometer. Southampton, United Kingdom.

W. Jun, G. S. (1998). Absorption measurement of methane gas with a broadband light and interferometric signal processing. *Opt. Lett.*, 319-324.



EL SENSOR KINECT SU USO Y APLICACIONES.

Francisco J. Rangel Butanda*, Ana L. Quintanilla Olvera*, José. J Hernández López*, Mario A. Ibarra Manzano*, Sergio E. Ledesma Orozco* y Dora L. Almanza Ojeda**

ABSTRACT

This paper proposes a general study of the characteristics of the sensor Kinect developed by Microsoft® and its applications in the area of visual identification. Also, the origin and operation of both sensor and the patent processor PS1080 by PrimeSense Company, are described. Moreover, we introduce the concept of Natural Interaction which makes possible the interaction wireless with the machines. In addition, it is described a comparison between the software tools provided by the opensource community or by Microsoft®. Finally, it is presented the main current applications that take advantage of the hardware and software of Kinect device.

RESUMEN

Este trabajo propone un estudio general de las características del dispositivo Kinect desarrollado por Microsoft® y sus aplicaciones en el área de identificación visual. Se presenta el origen y funcionamiento tanto del sensor como del procesador patentado PS1080 de la compañía PrimeSense, contenido en dicho dispositivo. Por otra parte, se introduce el concepto “Natural Interaction (NI)” el cual hace innecesario el uso de cables para comunicarse con la máquina. Además, se realiza una comparación de las herramientas de software proporcionadas de manera libre o por Microsoft®. Finalmente, se presentan las principales aplicaciones desarrolladas hasta el momento aprovechando las ventajas del hardware y software del dispositivo Kinect.

Recibido: 8 Septiembre 2013

Aceptado: 22 Septiembre 2013

INTRODUCCION

Actualmente, existen varios grupos de investigación que intentan desarrollar nuevas tecnologías, software o diseños físicos innovadores para su aplicación en diversas áreas como lo son: medicina, topología, sistemas autónomos, arquitectura, entretenimiento, entre otras. Es precisamente el área de entretenimiento una de las más importantes, debido a su gran rentabilidad, lo que permite continuar innovando e investigando. Una de las compañías que han apostado por esta área ha sido precisamente Microsoft®, quien invirtió veinte años a la creación de un nuevo dispositivo que ofreciera una nueva forma de juego.

Palabras clave:
Kinect, Skeleton Tracking, Reconstrucción 3D, Segmentación 3D
Keywords:
Kinect, Skeleton Tracking, 3D Reconstruction, 3D Segmentation

Con este objetivo, realizó una alianza con la empresa israelí PrimeSense®, la cual, es una empresa orientada a la fabricación de semiconductores y principal proveedor B2B (Business to Business) de bajo costo y alto rendimiento de las tecnologías de visión 3D [1]. Esta empresa de alta tecnología ofrecía lo necesario para la consolidación de los objetivos establecidos por Microsoft®, dando origen al procesador patentado PS1080 (Figura 1). Este procesador permitió a las computadoras y a la consola Xbox 360 realizar una percepción en tres dimensiones del ambiente físico.

El 1 de junio de 2009, se anunció el lanzamiento del “Project Natal”, dentro de las actividades del evento “Electronic Entertainment Expo” (E3) realizado en Japón. Posteriormente, el 4 de Noviembre del 2010 este proyecto salió a la venta en Estados Unidos y México convertido en el controlador de juego, conocido comercialmente como sensor Kinect.

*Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km 3.5+1.8 Comunidad Palo Blanco, Salamanca, Guanajuato, 36885, México

**Universidad Politécnica de Guanajuato, Departamento de Robótica, Av. Universidad Norte SN, Comunidad Juan Alonso, Cortazar, Guanajuato, 38483, México



Figura 1 . Procesador PS1080 de PrimeSense.

Este dispositivo permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola de video juegos Xbox 360, sin la necesidad de tener una conexión alámbrica entre ambos. A este nuevo concepto se le conoce como NI (Natural Interaction) y consiste en reconocer gestos, comandos de voz, objetos e imágenes, haciendo referencia al usuario como una interfaz natural y permitiendo la comunicación hombre-máquina. Gracias a la alta capacidad del procesador PS1080, es posible implementar en tiempo real el reconocimiento de imágenes y otros datos de entrada de la escena.

COMPONENTES DEL KINECT

Con el fin de entender el funcionamiento del Kinect es necesario conocer su hardware. En la Figura 2 se pueden observar los principales componentes del sensor los cuales se describen a continuación.

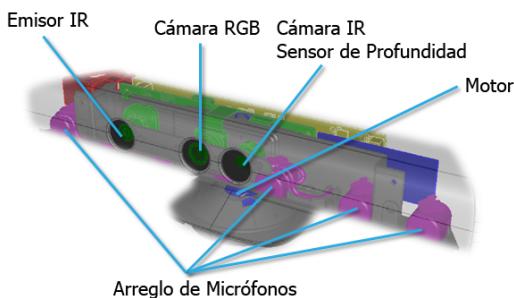


Figura 2 . Principales componentes físicos del Sensor Kinect.

- **Motor:** El Kinect está integrado con un motor de corriente directa controlado por el driver "Allegro Microsystems A3906 - Low Voltage Stepper and Single/Dual DC Motor Driver". Además, cuenta con un sistema de reductores de velocidad que le otorgan un grado de libertad [2].
- **Sistema de audio:** Al interior del Kinect también se tiene un arreglo de micrófonos. La señal de audio es recibida por el procesador Marvell 88AP102-B0-BJD2C008 que mediante convertidores analógico-digital de 24 bits proveen un procesamiento de señal en alta resolución.

Gracias a este arreglo de micrófonos es posible implementar algoritmos de reducción de ruido y cancelación de eco, mejorando considerablemente la calidad de audio. Otra ventaja de este arreglo es la localización del origen del sonido, que se basa en el hecho que una onda sonora particular llega a cada micrófono con un retraso ligeramente pequeño. Finalmente es importante señalar que este sistema puede hacer el reconocimiento de múltiples voces.

- **Sistema óptico:** es el encargado de la captura de las imágenes de color RGB y de profundidad, para lo cual se utilizan los siguientes componentes:

- Una cámara VGA (Video Graphics Array) con una resolución de 640*480 RGB, capaz de capturar hasta 30 cuadros por segundo. La cámara utiliza un filtro Bayer, también conocido como RGBG [4], que consiste de un filtro óptico que permite el paso de una sola longitud de onda por pixel, correspondiente a cada color primario.
- Un emisor de infrarrojos que consiste de un diodo laser con longitud de onda de 830nm no modulado, con una salida constante, regulado en temperatura mediante una bomba termoeléctrica, y con una potencia del emisor aproximadamente de 60mW.
- Una cámara de infrarrojos también conocida como sensor de profundidad, con una resolución de 320*240 pixeles. Éste utiliza el sensor MT9M001C12STM de Micron, el cual es de tipo monocromático y trabaja a 30 cuadros por segundo, contiene un filtro pasa bandas a la longitud de onda del emisor IR y se comunica al procesador bajo el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit).

La Tabla 1 muestra más datos en específico de los componentes anteriores.

Tabla 1 .

Características importantes del Kinect.

Propiedad	Especificaciones
Campo de visión	Horizontal: 58° Vertical: 45° Diagonal: 70°
Rango de inclinación física	±27°
Rango de operación	0.8 a 3.5 m
Resolución espacial x – y	3 mm
Resolución de profundidad z	1 cm
Dimensiones	Ancho: 14 cm Alto 3.5 cm Profundidad:5 cm

INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y EL PROCESADOR PS1080

El Kinect utiliza el protocolo USB 2.0 para transmitir los datos al dispositivo de procesamiento (PC, consola, etc.). Los algoritmos para la adquisición de profundidad son ejecutados en el Kinect, por lo cual no se utilizan recursos del dispositivo de procesamiento. Esta característica permite que un dispositivo de procesamiento con recursos limitados pueda utilizar la información de profundidad. El Kinect es capaz de realizar el procesamiento de las imágenes y del audio gracias al procesador patentado PS1080. En la Figura 3 se muestra el diagrama de conexión del procesador con los componentes principales del Kinect.

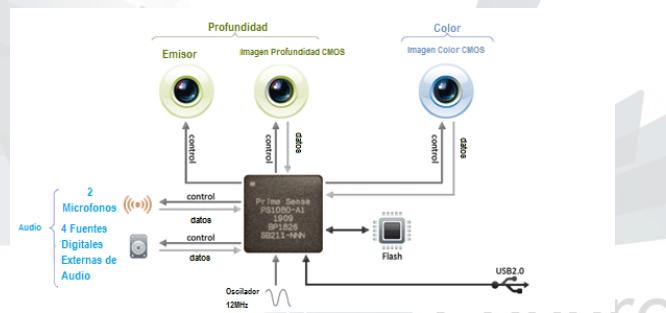


Figura 3 . Componentes controlados por el procesador PS1080.

FUNCIONAMIENTO DEL KINECT

El Kinect tiene las mismas características que una cámara normal con un filtro Bayer (RGBG), siendo su principal innovación, la integración del sensor de profundidad junto a su procesador. Se utiliza el emisor infrarrojo para emitir una matriz o nube de puntos sobre la escena, con el fin de detectar la profundidad a la que se encuentra el objeto o persona de interés. Este proceso se observa en la Figura 4.

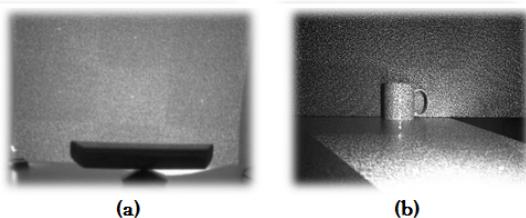


Figura 4 . (a) Nube de puntos proyectada por el emisor IR del Kinect. (b) Imagen de puntos adquirida desde Kinect.

Los puntos rebotan en los objetos que se encuentran frente al dispositivo, cuando la cámara IR detecta la nube de puntos, se calcula la disparidad para cada

pixel (diferencia entre donde estaba el punto al ser proyectado y donde se encuentra en la proyección) y es almacenada en una matriz. Esta matriz permite determinar la distancia del objeto a la cámara (profundidad de campo), como se observa en la Figura 5. La cámara recibe los pixeles con una variación en su intensidad, dependiendo de la distancia en que cada punto rebota sobre el objeto. De esta forma, los objetos más cercanos son captados con un valor de intensidad alto y los objetos más lejanos con un valor de intensidad bajo.

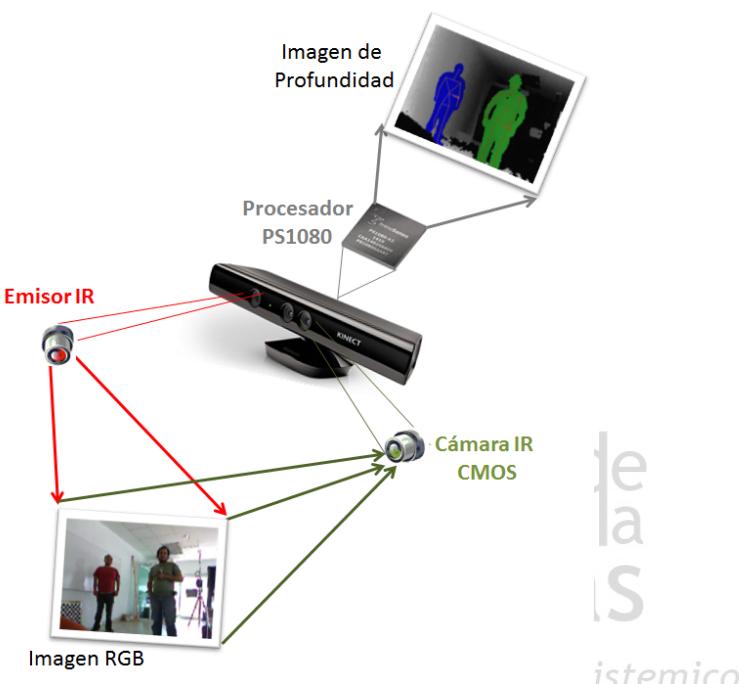


Figura 5 . Adquisición de la imagen de profundidad

El proceso anterior permite obtener una imagen en escala de grises conocida como imagen de profundidad (Figura 6), en la cual los objetos lejanos están representados en tonos claros, mientras que los cercanos en tonos oscuros. Puede presentarse el caso que algún punto no sea detectado, lo cual principalmente ocurre debido a dos situaciones: la primera es que el haz de infrarrojo no sea visible por la cámara debido a su posición, y la segunda es debido a la superficie del objeto. En la primera situación los puntos son representados en color blanco, por ejemplo, en el caso de una ventana. En la segunda situación, los puntos son representados en color negro, que puede ser en el caso de una obstrucción del objeto. Finalmente, si el objeto se encuentra demasiado cerca, dichos puntos serán representados en color negro.



Figura 6 . Imagen de profundidad

CONTROLADORES PARA EL USO DE KINECT EN LAS DIFERENTES PLATAFORMAS

Con el objetivo de desarrollar aplicaciones usando el Kinect, es posible utilizar software libre que nos permita comunicarnos directamente con el dispositivo y extraer la información de sus sensores. Actualmente existen diferentes tipos de controladores desarrollados, entre los más importantes se encuentran:

1. Libfreenect controlador desarrollado por Héctor Martín y soportado por el grupo de Open Kinect [3]. Este controlador cuenta con una serie de librerías en distintos lenguajes de programación.
2. OpenNI controlador desarrollado por PrimeSense compatible con el framework de OpenNI (Open Natural Interaction). OpenNI es una organización no lucrativa, que tiene como propósito la certificación y promoción de la compatibilidad e interoperabilidad de sistemas de interacción natural, aplicaciones y middleware. Una importante ventaja de este framework es que cuenta con librerías capaces de procesar las imágenes obtenidas con el Kinect y de esta forma adquiere la información del usuario, tal como la posición de sus extremidades o la identificación de los usuarios en la escena. Cabe mencionar que el Kinect no es el único dispositivo capaz de trabajar con este framework, diversas empresas han desarrollado dispositivos con características similares o incluso mejoradas, para realizar aplicaciones con la computadora, como el caso de Xtion Pro de Asus [4].
3. Kinect SDK (Software Development Kit) es la versión oficial del controlador que Microsoft lanzó al mercado en Febrero del 2012. Consiste en un framework utilizado para la comunicación del sensor Kinect con la computadora el cual puede trabajar con C++ y C#. Recientemente, Microsoft

inicia su participación con la venta de un dispositivo Kinect enfocado a la PC, con ciertas características que permiten su funcionamiento en ambientes diferentes de una sala de juego.

La Tabla 2 muestra de forma resumida los principales controladores, sistemas operativos y los “software” en los cuales se han probado cada uno de los controladores.

Tabla 2 .

Comparación de los tres controladores principales.

	Libfreenect	OpenNi	Kinect SDK
Desarrollador	Open Kinect	PrimeSense	Microsoft
Plataformas	Windows,	Windows,	Windows 7 y
Compatibles	Linux y OSX	Linux y OSX	Windows 8
Lenguaje de programación	Python, C++, C# y Java	C++, C# y Java	C++, C#.
Compatibilidad con otros dispositivos NI	No determinada	Si	No
Bibliotecas Adicionales	No	Si	Si
Software Evaluado	LabView	MatLab	Visual Studio

INTERACCIÓN NATURAL (NI NATURAL INTERACTION)

Hoy en día, Kinect es uno los dispositivos más utilizados en los juegos de NI. La palabra Natural Interaction viene de Natural User Interfaz (NIUI) donde se considera al usuario como la interfaz natural. Además, utiliza la interacción del cuerpo humano y la voz, es decir, la comunicación no verbal y verbal, permitiendo así la interacción Hombre-Máquina (HCI, Human-Computer Interaction) [5].

El objetivo de la NI es inventar, diseñar y crear sistemas que actúen recíprocamente con la gente, mediante el uso de gestos, movimientos y expresiones. Bajo este contexto, el espacio físico se convierte en la interfaz e idealmente no es necesario aprender un procedimiento específico de funcionamiento. Así, la interacción debe ser intuitiva permitiendo una comunicación natural con la máquina, es decir, sin ratón, teclado, cables y demás conexiones de los sistemas convencionales.

Los campos de aplicación son muy variados: el entretenimiento (como es el caso del Kinect para Xbox 360), educación y cultura (haciendo referencia a las salas interactivas), militares y comerciales (esparates virtuales, regularmente aplicado al mundo de la moda), etc [6].

APLICACIONES

En esta sección se muestran algunas aplicaciones que aprovechan el hardware y software desarrollado para el Kinect.

Skeleton Tracking proporcionado por el Kinect.

La tecnología que el Kinect lleva integrada permite reconocer el cuerpo humano mediante un algoritmo de reconocimiento llamado "Skeleton Tracking". Este algoritmo ha sido entrenado con muchas imágenes con el fin de lograr una gran precisión al identificar los principales puntos en la morfología del esqueleto humano [7]. Dicha identificación se lleva a cabo partiendo de la imagen de profundidad, en la cual el procesador PS1080 es el encargado de buscar las formas con similitud al cuerpo humano.

El sistema sigue un esquema básico de reconocimiento tomando en cuenta que una persona tiene dos brazos, dos piernas, que el cuerpo tiene un rango de altura determinado, entre otras cosas. Además el sistema es capaz de reconocer si la persona utiliza ropa holgada o si el cabello es largo, entre otras características. Una vez que las distintas siluetas han sido detectadas se realiza una clasificación por zonas de las partes del cuerpo y se obtienen e identifican los "joints" o articulaciones, que indican los distintos puntos que componen el esqueleto. Se unen estos "joints" y de esta forma se obtiene el esqueleto del usuario. Con el fin de generar un modelo del esqueleto del cuerpo humano, el Kinect puede tomar un número variable de articulaciones. En la Figura 7 se muestran las 19 articulaciones principales que permiten identificar 14 huesos, considerados necesarios en la descripción de un esqueleto completo [8].

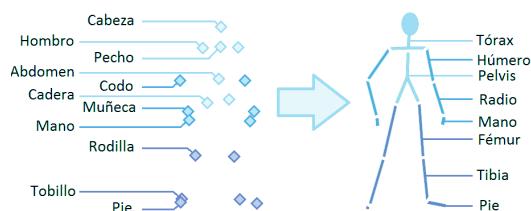


Figura 7 . Articulaciones principales para la identificación de los 14 huesos más descriptivos del esqueleto humano.

Una característica importante de este algoritmo es que permite al dispositivo Kinect detectar a más de dos personas (o hasta 6 personas según las especificaciones). Sin embargo, solo puede conseguir las partes del cuerpo de dos personas (activas), los criterios de elección que aplica son por orden de detección, en

caso de tener varias personas al momento de iniciar el procesamiento, solo se eligen las que estén más cerca de la cámara. Con el fin de lograr una correcta detección de las articulaciones pertenecientes a los dos usuarios, es necesario que ninguna parte del cuerpo de ellos se encuentre oculta entre sí.

Entre las desventajas que presenta este algoritmo se encuentra que, la capacidad del Kinect para reconocer un cuerpo varía según la intensidad de luz en la habitación, es decir, con gran cantidad de luz la imagen de profundidad falla y esto no le permite detectar correctamente el cuerpo humano.

La función Skeleton Tracking realiza el seguimiento del esqueleto virtual en tiempo real. El movimiento del cuerpo humano es la parte no-verbal de la interacción, que es interpretado como un comando u orden que va del mundo real al mundo virtual. Además, la interacción con la computadora se vuelve más dinámica desde el mundo real y cada vez más importante para los académicos, investigadores y desarrolladores de la industria de los videojuegos. Más aún, ésta identificación de movimientos del esqueleto humano, puede adaptarse a otros campos como la ingeniería mecánica para la interacción humano-computadora.

Seguimiento de las manos en tiempo real para la interacción con un robot

Esta aplicación fue propuesta por Michael Van den Bergh et al [9], en ella se implementó en tiempo real un algoritmo de reconocimiento de gestos utilizando la cámara RGB y sensor de profundidad del Kinect.

Uno de los principales problemas que presentaba este proyecto consistía en detectar la mano, el cual fue resuelto usando la función hand-tracking proporcionada por OpenNI. Esta función lo único que requiere es un gesto o movimiento de la mano que le indique el inicio y con ello se sea posible localizarla a lo largo de la interacción con la aplicación. Una vez que la localización de la mano es conocida y normalizada, se determina la postura de la mano, es decir, la orientación es encontrada creando un vector del punto central de la mano hacia la mitad del brazo.

El procedimiento anterior permite obtener la posición, sin embargo, se necesita distinguir la mano del resto de la escena. Con este fin, se aplica una segmentación por profundidad, generando una imagen que sólo contiene la mano. Enseguida, se realiza un muestreo de la imagen segmentada, las muestras son comparadas con gestos predefinidos durante el entre-

namiento del sistema, generando instrucciones para la interacción con el robot. La Figura 8 muestra un ejemplo de un gesto manual indicado a un robot.

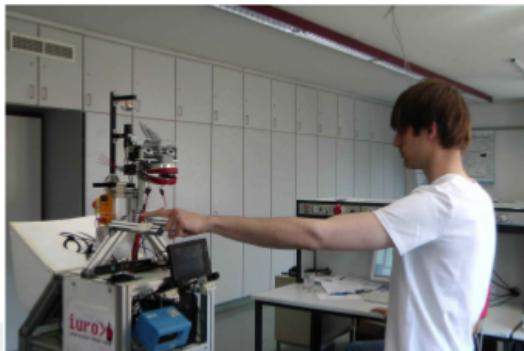


Figura 8 . Robot prototipo con Kinect y una escena típica de interacción.

Detección de objetos usando segmentación por color y profundidad utilizando el sensor Kinect.

La propuesta de Hernández-López et al. [10] utiliza el sensor Kinect para la detección e identificación de objetos con el fin de proporcionar cierto nivel de autonomía a un robot. El sensor Kinect proporciona una imagen RGB y una imagen de profundidad, a partir de estas imágenes se realiza la segmentación, en la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo propuesto:

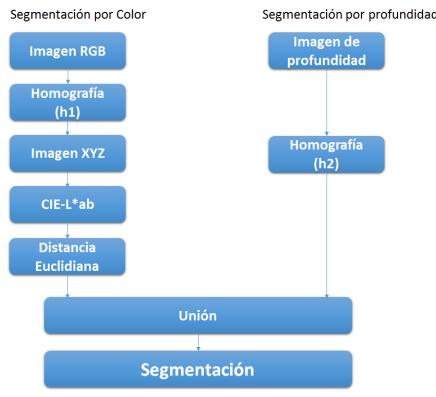


Figura 9 . Algoritmo de la segmentación utilizada para la detección de objetos.

La propuesta comienza con el tratamiento de las imágenes RGB y la de profundidad, sin embargo, debido a que las cámaras de cada una de ellas se encuentran físicamente distantes, es de esperarse que las imágenes no correspondan entre ellas pixel a pixel, un ejemplo de ello puede observarse en Figura 10.a y Figura 11.a. Para lograr que correspondan, es necesario aplicar una serie de operaciones de homografía, las cuales comienzan con la ecuación 1:

$$X' = RX + T \quad (1)$$

Donde R es una matriz de rotación de 3×3 , T es el vector de traslación 3×1 y el plano X y el plano X' se escriben como se muestra en la ecuación 2:

$$X = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ 1 \end{bmatrix}, X' = \begin{bmatrix} x'_a \\ y'_a \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Si se tiene que la homografía se define matemáticamente como en la ecuación 3, por medio de una serie de operaciones matemáticas la ecuación 1, puede ser escrita como se observa en la ecuación 4.

$$H = R + T(xyz) \quad (3)$$

$$X' = HX \quad (4)$$

Finalmente esta matriz permite transformar un punto X en el plano P_a a un punto X' en el plano P_b (ecuación 5).

$$P_b = H_{ab} \times P_a \quad (5)$$

Enseguida, se realiza la segmentación por color usando el espacio de color CIE-Lab para minimizar los cambios de iluminación, las coordenadas son calculadas mediante una serie de ecuaciones que permiten pasar del espacio RGB al espacio lineal XYZ (ecuación 6):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (6)$$

Las coordenadas de color de cada pixel en el espacio CIE-Lab son obtenidas mediante una transformación no lineal aplicada sobre las coordenadas XYZ usando las ecuaciones 7,8 y 9:

$$L^* = 116 \left[f \left(\frac{Y}{Y_w} \right) \right] - 16 \quad (7)$$

$$a = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_w} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_w} \right) \right] \quad (8)$$

$$b = 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_w} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_w} \right) \right] \quad (9)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{if } t > \left(\frac{6}{29} \right)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6} \right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{if } t \leq \left(\frac{6}{29} \right)^3 \end{cases} \quad (10)$$

Las componentes cromáticas a, b y L son usadas para obtener los valores delta y de esta manera calcular la distancia euclídea usando la ecuación 11:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (11)$$

Esta ecuación ayuda a obtener la máscara inicial la cual permite eliminar todos los objetos que no estén dentro del rango del color seleccionado (Figura 10.b). Finalmente, se implementa la segmentación por profundidad para distinguir el objeto de interés de los demás objetos que tienen un color similar, dando una máscara final que elimina todos los objetos que no se encuentren a la distancia determinada (Figura 11.b). Una de las ventajas más importantes de este tipo de implementación es el bajo costo computacional y monetario que representa el llevarlo a cabo con el dispositivo Kinect, en comparación con otras tecnologías similares como LADAR o SICK.



Figura 10 . (a) Imagen RGB, (b) Máscara obtenida por la segmentación de color



Figura 11 . (a) Imagen de Profundidad, (b) Máscara obtenida por la segmentación de profundidad Reconstrucción 3D

Reconstrucción 3D

La Reconstrucción 3D ha sido un tema tratado por diversos investigadores desde hace varios años, debido a que es un problema importante en diversos campos, tales como: Topografía, Arqueología, Medicina, Video Juegos, etc. En la reconstrucción 3D se pueden emplear diferentes modelos y metodologías siendo las principales de ellas la estereovisión, la monovisión con un sensor de posición o con un patrón óptico de referencia. Esta última es la empleada por el Sensor Kinect, el cual, aprovecha la imagen de color y profundidad y proporciona una reconstrucción en 3D en un menor tiempo de cómputo. Un ejemplo de la combinación de estas imágenes es mostrada en la Figura 12.



Figura 12 . Reconstrucción 3D del DSPlab de la Ugtu utilizando Kinect

DISCUSIONES

Con lo mencionado anteriormente se puede concluir que el Kinect no sólo es un dispositivo para videojuegos sino que también es productivo para diversas áreas del conocimiento estableciendo el concepto de interacción natural y permitiendo a los desarrolladores implementar nuevas ideas o variados proyectos a bajo costo. Sin embargo, como todo en la tecnología, el sensor presenta ciertas deficiencias que lo limitan a expandirse a otras áreas de interés. Un ejemplo de ello es la microcirugía, donde debido a que la precisión del sensor de profundidad del Kinect es mayor a 1 cm, no es suficiente para la precisión que requiere esta área. Otro inconveniente del Kinect es que requiere una cierta cantidad de luz lo cual lo limita a trabajar en interiores. A pesar de lo anterior, desde sus inicios, este sensor ha puesto sobre la mesa sus ventajas, así como sus limitantes, y las grandes posibilidades de desarrollo de algoritmos, dando paso a la explotación de metodologías y técnicas consolidadas de más fácil y directa implementación en tiempo real.

REFERENCES

- [1] Prime Sense. <http://primersense.com/>. [Octubre 2011].
- [2] Allegromicro. <http://www.allegromicro.com/>. [Noviembre 2011].
- [3] OpenKinect. <http://www.openkinect.org/>. [Noviembre 2011].
- [4] Open Natural Interaction. <http://http://http://www.openni.org> . [Noviembre 2011].
- [5] bin Mohd Sidik, M., bin Sunar, M., bin Ismail, I., bin Mokhtar, M., Jusoh, N., 2011. A study on natural interaction for human body motion using depth image data. In Digital Media and Digital Content Management (DMDCM), 2011 Workshop on, pages 97–102.
- [6] Sergi Jorda. Taller de Sistemes Interactius. Universidad de Pompeu Fabra [2004 – 2005].

- [7] Padilla, D. Y., 2012. Sistemas de reconocimiento de gestos para un visor de imágenes. Ph.D. thesis, Universidad Politécnica de Cataluña.
- [8] Oliden, H. G., 2011. Captura de movimiento multicámara mediante hardware de bajo coste. Master's thesis, Universidad del País Vasco.
- [9] Van den Bergh, M., Carton, D., de Nijs, R., Mitsou, N., Landsiedel, C., Kuehnlenz, K., Wollherr, D., Van Gool, L., Buss, M., 2011. Real-time 3d hand gesture interaction with a robot for understanding directions from humans. In RO-MAN, 2011 IEEE, pages 357–362.
- [10] Hernández-López, J.-J., Quintanilla-Olvera, A.-L., López-Ramírez, J.-L., Rangel-Butanda, F.-J., Ibarra-Manzano, M.-A., Almanza-Ojeda, D.-L., 2012. Detecting objects using color and depth segmentation with kinect sensor. Procedia Technology 3(0):196 -- 204. The 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science.



Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

La Evaluación de la Calidad en el Servicio: Caso de Estudio “Restaurant Familiar Los Fresnos”

Por Artemiza Guzmán López¹ Dra. María de Lourdes Cárcamo Solís²



¹ Pasante de la Licenciatura de Gestión Empresarial del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, sede Yuriria, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. Av. Universidad s/n, Col. Yacatitas, Yuriria, Gto. C.P. 38940, Tel. (445) 458 9040. Emails: a.guzmanlopez@ugto.mx, philton_25@hotmail.com

² Profesora-Investigadora del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. Av. Universidad s/n, Col. Yacatitas, Yuriria, Gto. C.P. 38940, Tel. (445) 458 9040, ext. 1728. Emails: carmacolum@gmail.com, mlcarmacamo@ugto.mx

The Assessment of Quality in Service: Case Study "Los Fresnos Family Restaurant"

La Evaluación de la Calidad en el Servicio: Caso de Estudio “Restaurant Familiar Los Fresnos”

Abstract:

Introduction: Quality service must be understood as a global conception of superiority or excellence of a service, which at the same time represents an abstract concept, approached by multiple authors throughout the time. The **purpose** of the study is to evaluate the perception of quality in the customer's service in “Los Fresnos” restaurant. The **methodology** is based on a quantitative and multidimensional model known as DINESERV, developed by Stevens, Knutson and Paton (1995), derived from SERVQUAL methodologies of Parasuraman, Zeithaml and Berry (1988). The **results** give the conclusion that service' quality adds value to the restaurant and establishes a multidimensional and systemic construct. Therefore, to diminish the gap between expectations and perceptions of the customers of “Los Fresnos” restaurant, it will be necessary to **implement a constant and evolutionary capacitration** according to the different needs of the clients, in order to improve the quality of the service.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Keywords: Service Quality, SERVQUAL, DINESERV, Restaurant industry.

Resumen:

Introducción: Por calidad del servicio debe entenderse aquel juicio global sobre la superioridad o excelencia de un servicio, lo cual a su vez representa un concepto bastante abstracto, abordado por múltiples autores a lo largo del tiempo. **El objetivo** de este estudio

es evaluar la “percepción” de calidad en el servicio de los clientes del restaurante “Los Fresnos. **La metodología** se basa en un modelo cuantitativo multidimensional conocido como DINESERV desarrollado por Stevens, Knutson y Paton (1995), derivado de la metodología SERVQUAL de Parasuraman, Zeithaml y Berry (1988). **Los resultados** permitieron concluir que la calidad del servicio agrega valor al restaurante y constituye un constructo multidimensional y sistémico. Por tanto, para disminuir la brecha entre las expectativas y las percepciones de los clientes del restaurante “Los Fresnos” será necesario **implementar una constante y evolutiva capacitación** acorde con las necesidades de los diversos clientes para elevar la calidad en el servicio.

Palabras Clave: Calidad en el servicio, SERVQUAL, DINESERV, Industria restaurantera.

1. Introducción

El propósito de la presente investigación es evaluar la calidad en el servicio “percibida” por los clientes del “Restaurant Familiar Los Fresnos”, ubicado en el Km. 7, de la carretera “La Cinta-Santa Ana Maya”, en el estado de Michoacán, México. Por calidad del servicio debe entenderse la actitud o juicio global sobre la superioridad de un servicio, lo cual representa al mismo tiempo, un concepto bastante abstracto con diversas predisposiciones, el cual ha sido abordado por múltiples autores a lo largo del tiempo.

1.1 La Calidad en el Servicio de Restaurantes

El paso del tiempo y diversos factores tales como el desarrollo de la tecnología, el acceso a la información, el descubrimiento de nuevos alimentos y/o recetas así como las cambiantes necesidades del cliente han influido en el desarrollo y evolución de la industria del servicio de los alimentos, razón por la cual los restaurantes han tenido que irse ajustando a las

demandas y requerimientos de cada época, y es precisamente por ello que la calidad en el servicio ha ido adquiriendo un papel preponderante para los negocios restauranteros, ya que se ha convertido en una estrategia que permite satisfacer al cliente, contar con su lealtad y facilitar el proceso de fidelización de los mismos a la par de la atracción de nuevos comensales.

La calidad del servicio depende esencialmente de dos aspectos, primeramente responderá al tipo de industria y al contexto cultural.

Respecto al tipo de industria, Bolton y Drew (1994); Heung, Wong y Hailin (2000) explican que cada industria posee sus particularidades puesto que las características respectivas de un servicio, así como las expectativas de los clientes, cambian de una industria a otra. Además, de que aunque en cada industria se pretende partir de una serie de dimensiones o variables comunes que conforman la calidad en el servicio, se llegan a requerir dimensiones adicionales particulares en cada caso, dada la naturaleza específica de los servicios en cada sector (Dabholkar, Thorpe y Rentz, 1996).

El segundo aspecto a considerar es el contexto cultural. Tal y como lo expone Raajpoot (2004), dentro de ésta perspectiva se han encontrado que las expectativas del cliente hacia la calidad de los servicios, así como algunas dimensiones, varían de forma importante dependiendo del entorno cultural, ya que, aunque se refiera a un mismo tipo de industria, la percepción de sentirse “bien atendido”, responde en muchos casos a elementos regionales de idiosincrasia, tendiendo hasta cierto punto, a conformar concepciones particulares de lo que se entiende por calidad en el servicio.

Didácticamente hablando, se considera que los restaurantes se encuentran a la mitad del paradigma de **producto-servicio**, es decir, se encuentran a la mitad de ser un **producto puro** (un servicio que no involucra alguna forma de atención o servicio adicional) y un **servicio puro** (un servicio que no involucra ningún tipo de tangible). Por ello, la entrega del bien al cliente está compuesta tanto por elementos tangibles, como lo son los alimentos y bebidas, así como de elementos intangibles como la atención y el servicio (Kotler, Bloom y Hayes, 2004; Jain y Gupta, 2004). Esta dualidad puede considerarse particularmente interesante debido a la complejidad multidimensional del concepto.

Como se ha expuesto con anterioridad, se considera que la experiencia culinaria que oferta un restaurante se integra tanto de elementos tangibles e intangibles. Mientras que los elementos tangibles (alimentos y bebidas) se pueden mejorar con mayor facilidad, la parte intangible de un restaurante (servicio), requiere de una mayor atención. Variados estudios e investigaciones señalan que la capacidad de una organización para brindar un servicio de calidad proporcionará a la misma de una viabilidad financiera a largo plazo, así como de un desarrollo corporativo sostenible (Keiser, 1988).

Las primeras conceptualizaciones referentes a la calidad percibida en los “servicios fueron aportadas por los múltiples estudios de Grönroos (1978, 1982, 1984 y 1990) realizados en Suecia. Grönroos evidencia que el consumidor es la principal fuente de información al momento de evaluar la calidad en los servicios.

Tanto Grönroos (1984), como Parasuraman, Zeithaml y Berry (1985) son considerados como los primeros investigadores que abordaron la investigación de la calidad de los servicios con un **enfoque sistémico**, así mismo concuerdan en definir a la calidad del

servicio como un constructo complejo, el cual se ha determinado en base a los resultados obtenidos de la discrepancia entre las expectativas y percepciones de un servicio, es decir, la distancia existente entre las expectativas del cliente en relación al servicio y el nivel de percepción que realmente se aprecia en la entrega del mismo.

Y son precisamente Stevens *et al.* (1995) quienes abordan específicamente a la calidad en el servicio dentro de la industria de la restauración, definiéndola como aquella percepción que tiene el cliente de la superioridad en el servicio que se recibe, abarcando dos grandes dimensiones, intangibles como la atención del personal, y tangibles como las instalaciones físicas o el arreglo físico del personal de contacto.

Resulta interesante de acuerdo con lo anterior, que las expectativas gastronómicas de los consumidores han venido evolucionado con mayor rapidez en los últimos años, esto debido a los múltiples cambios en el entorno social tales como las mejoras en la educación, la globalización, las influencias culturales y finalmente por el incremento en la concientización respecto a una alimentación sana.

Wishna (2000) pronosticó que en el futuro, los clientes se tornarían más sofisticados en sus decisiones gastronómicas, debido principalmente a su voluntad de ampliar sus horizontes para comer y probar cosas nuevas, perfilando así a los actuales clientes, como individuos ávidos en búsqueda constante de nuevas experiencias gastronómicas que satisfagan sus expectativas siempre cambiantes, y es precisamente ahí, donde radica la importancia de conocer, comprender y satisfacer las expectativas de los clientes actuales y de los futuros.

Las expectativas se definen como las creencias que posee el cliente sobre el nivel de servicio que será entregado por un proveedor de servicios, mismas que deberán de

constituir los estándares o normas de referencia contra los cuales se deberá de evaluar el desempeño real del servicio prestado o entregado, Zeithaml y Bitner (2003). Según estos autores, existen cinco niveles o tipos de expectativas de los clientes: 1) las expectativas mínimas tolerables, 2) las expectativas aceptables, 3) las expectativas basadas en la experiencia, 4) las expectativas de lo que el cliente cree que “debiera ser”, y 5) las expectativas ideales o deseos.

El término de expectativas se utilizará para definir lo que los clientes esperan que sea el ideal del servicio ofrecido por el “Restaurant Familiar Los Fresnos”, a su vez, la formación de dichas expectativas se constituye básicamente por las experiencias pasadas, sus necesidades conscientes y la comunicación de las mismas. Resulta importante señalar que durante el proceso en el cual el cliente emita un juicio, surgirá la retroalimentación hacia la empresa referente a la percepción del cliente sobre la calidad del servicio obtenido. Por otro lado, respecto a la percepción, ésta deberá ser entendida como la estimación del cliente respecto a la entrega del servicio, es decir, a las valoraciones que el cliente realice del servicio una vez recibido.

Según Zeithaml, Parasuraman, y Berry (1990), la calidad percibida de un servicio se puede definir como el grado en que una empresa cumple satisfactoriamente con su propósito. Por tal, se advierte que la percepción de calidad en el servicio que se formule en los clientes de un restaurante, será el resultado de la evaluación de su experiencia culinaria y del servicio esperado (expectativas de servicio).

Sin embargo, existen varios factores que pueden influir en las valoraciones de los clientes respecto a la calidad de un restaurante. No obstante, la mayoría de las investigaciones y de

la literatura contemporánea aluden que la eficacia del servicio, la excelencia de los alimentos y bebidas y el ambiente físico, son los principales componentes de la calidad de un restaurante (Dulen, 1999; Susskind y Chan, 2000).

Por esta razón se acentúa la importancia de la calidad de los servicios dentro de la industria de restauración, ya que la misma siempre se alinearán con el nivel de satisfacción percibido por los clientes, además de que dentro de la estructura sistémica de un restaurante, la calidad del servicio resulta un factor crítico y determinante, dado que las impresiones de un servicio de calidad derivan en un mayor número de clientes satisfechos, en la intención de retorno al restaurante, así como en publicidad de “boca en boca”, misma que los clientes generan y distribuyen a otros en base a las impresiones que adquirieron del servicio para finalmente, iniciar el proceso de fidelización de los mismos.

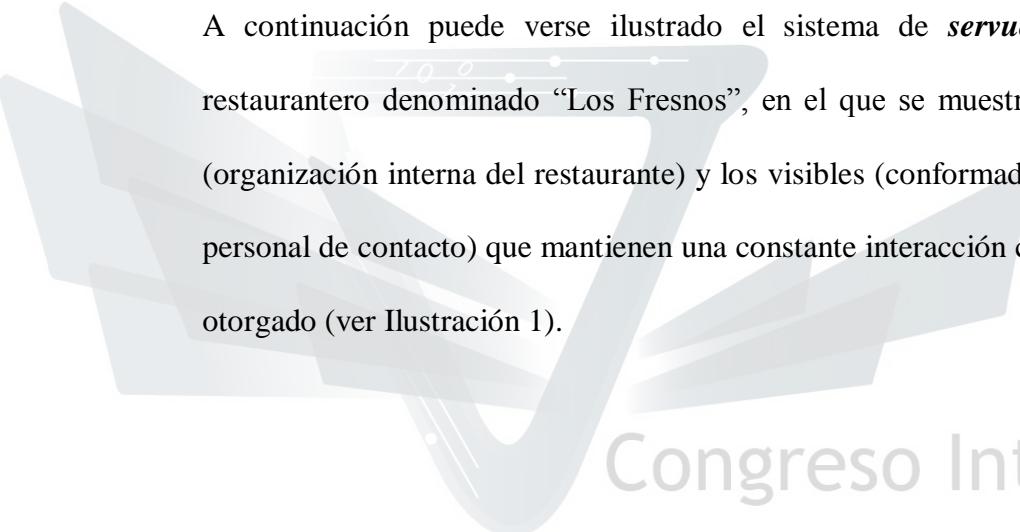
1.2 El Sistema de Servucción aplicado a las empresas de Servicios Restauranteros

La **Servucción** es un término o neologismo propuesto por los profesores franceses Eigler y Langeard (1989) basado en definir, primero, el servicio que se quiere dar y para qué tipo de cliente; y a partir de aquí se pueden establecer qué tipo de soportes físicos se necesitan y qué personal establecerá los contactos con el cliente para que, finalmente, se pueda crear un sistema organizativo que asegure el buen funcionamiento del método, todo ello considerando a la organización como un sistema de fabricación de un servicio.

Acorde con Eigler y Langeard (1989), la **servucción** en la empresa de servicios puede definirse como aquella organización sistemática y coherente de todos los elementos físicos y humanos de la relación cliente-empresa, necesaria para la prestación de un servicio bajo indicadores de calidad del servicio. En otras palabras, el concepto de **servucción** es

utilizado para designar al proceso de “fabricación” por el cual se genera un servicio. El gran aporte de este enfoque es el análisis metodológico de los servicios mediante la teoría general de sistemas, ya que en sí, los servicios son generados por un sistema de producción que enfatiza en la calidad de los servicios como resultante del sistema, característica diferencial cada vez más importante para la supervivencia de las organizaciones o empresas, que para fines de esta investigación, se referirá a las empresas restauranteras.

A continuación puede verse ilustrado el sistema de **servucción** aplicado al negocio restaurantero denominado “Los Fresnos”, en el que se muestran los aspectos no visibles (organización interna del restaurante) y los visibles (conformados por el soporte físico y el personal de contacto) que mantienen una constante interacción con los clientes y el servicio otorgado (ver Ilustración 1).



Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

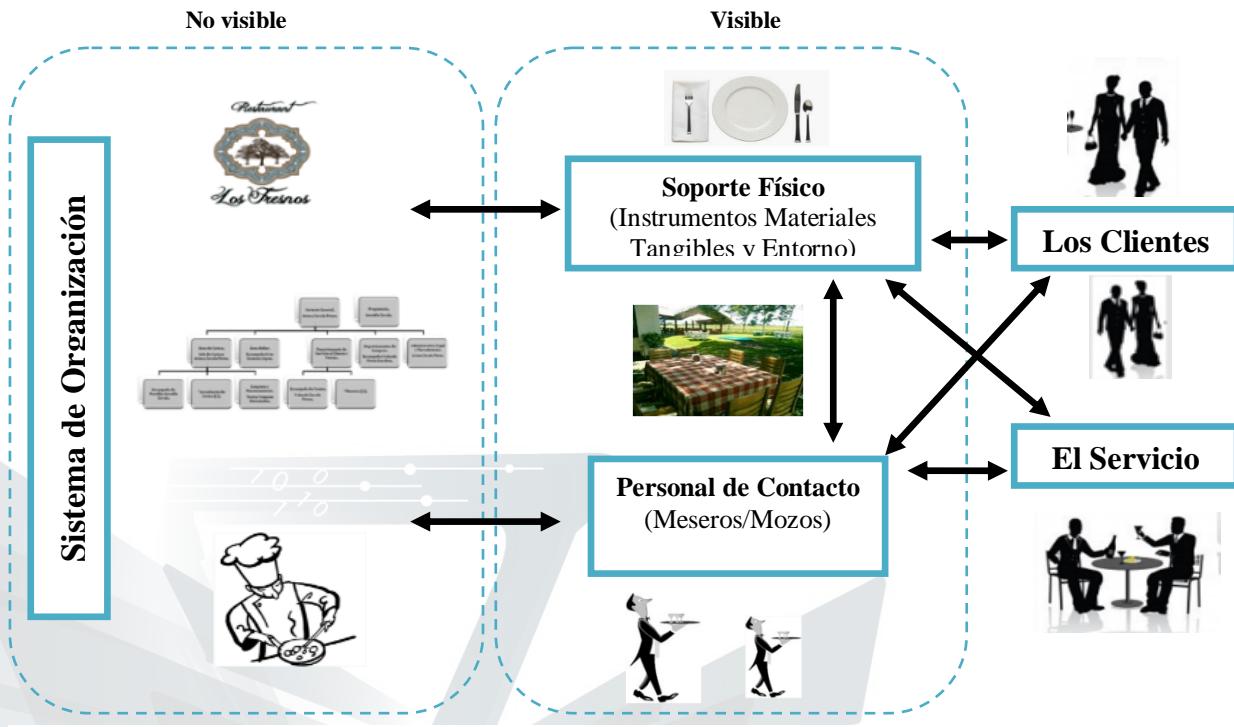


Ilustración 1: Sistema de Servucción aplicado al "Restaurant Familiar Los Fresnos"

Fuente: Elaboración propia en base a Eigler y Langearel (1989).

En consecuencia, el sistema de *servucción* nos permite visualizar a la empresa de servicios restauranteros con un enfoque sistémico que permite desglosar y analizar todas y cada una de las interacciones que configuran la “satisfacción de las expectativas del cliente”, mostrando a la calidad del servicio como fuente de creación de valor, entendida como el grado de satisfacción de las expectativas de todos los grupos clave de interés en la organización; este concepto configura exhaustivamente el dominio de la calidad de los servicios, referido a la empresa restaurera en su conjunto, y a su sistema de generación de valor.

Posteriormente, una vez identificados los aspectos del servicio que requieren de correcciones y/o mejoras, se perseguirá el objetivo de diseñar estrategias y

recomendaciones acordes a los resultados obtenidos, permitiendo eficazmente, aumentar el nivel de percepción y satisfacción de los comensales concernientes a la calidad del servicio otorgado en el restaurante, a la par de crear la sinergia necesaria para facilitar el proceso fidelización de los mismos, lo cual permita fortalecer la imagen de dicho negocio restaurantero así como las impresiones positivas de la calidad del servicio percibido que los clientes transmiten a otros.

2. Metodología

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), la perspectiva y la orientación de la metodología de este trabajo de investigación posee un enfoque netamente **cuantitativo**, fundamentado en un esquema deductivo y basado en un análisis factorial y en el cálculo de la desviación estándar y la media aritmética entre expectativas y percepciones de los clientes, con la finalidad de determinar las áreas de oportunidad a mejorar por el restaurante. Dichos cálculos fueron trabajados utilizando la aplicación del software denominado **Excel** 2010 (hojas de cálculo) del paquete de **Microsoft Office** en conjunto con el paquete estadístico **SPSS** (*Statistical Package for the Social Sciences*) Versión 19.0.

La presente investigación posee también un enfoque **descriptivo**, ya que de acuerdo con Hernández, *et al* (2010) una investigación descriptiva evalúa o mide diversos aspectos del fenómeno a investigar. Este estudio pretende evaluar el nivel de percepción y satisfacción de los clientes del negocio restauranero “Los Fresnos”. Así mismo, la investigación es de tipo **transversal no experimental**, puesto que acorde con los estudios de los autores en cuestión, una investigación no experimental pretende observar los fenómenos tal y como se dan en su ambiente natural para posteriormente analizarlos, sin alterar ninguna variable.

Para la realización de este proyecto de investigación se tomaron como sujetos de estudio a los clientes/comensales de “Los Fresnos”, puesto que las percepciones y las expectativas referentes a la calidad del servicio del negocio, son evaluaciones que realizan exclusivamente los clientes.

Por consiguiente, se tomó una muestra representativa del total de la clientela que asistió a comer al restaurante durante el periodo del mes de junio (del domingo 02 de junio al sábado 29 de junio) del presente año, para posteriormente poder determinar el tamaño de la muestra para la investigación. Las cantidades totales, tanto de mesas como de los clientes fueron proporcionadas por la gerencia del restaurante dando como resultados las siguientes cantidades, las cuales pueden ser observadas en la Tabla 1.

Semana		Total de Mesas	Total de Clientes
1 semana:	Domingo 02 de Junio al Sábado 08 de Junio	17	91
2 semana:	Domingo 09 de Junio al Sábado 15 de Junio	36	189
3 semana:	Domingo 16 de Junio al Sábado 22 de Junio	23	112
4 semana:	Domingo 23 de Junio al Sábado 29 de Junio	32	133
TOTALES		108	525

Tabla 1: Muestra representativa del total de mesas y clientes del Restaurant Familiar “Los Fresnos”, correspondientes al mes de Junio del 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la gerencia del Restaurant Familiar “Los Fresnos”.

El tamaño de la muestra fue obtenida utilizando la fórmula estadística relacionada con las poblaciones finitas, tal y como puede apreciarse a continuación:

$$\text{Fórmula: } n = (\sigma)^2 (N) (p) (q) / (e)^2 (N-1) + (\sigma)^2 (p) (q)$$

En la que cada variable significa:

- **n** = Tamaño de la Muestra

- σ = Nivel de Confianza (a través de los valores proporcionados en la Tabla de Distribución Normal Z).
- N = Tamaño de la población.
- p = Probabilidad a favor.
- q = Probabilidad en contra.
- e = Error de estimación, número de posibles equivocaciones permisibles en cada 100 resultados (error máximo admisible en términos de proporción).

La utilización de la fórmula conforme a los datos obtenidos y las decisiones respecto al nivel de confiabilidad y del porcentaje aceptable respecto al error de estimación quedarían planteadas de la siguiente manera:

- $n = ?$
- $\sigma = 95\% \div 100 = 0.95 \div 2 = 0.475 \rightarrow$ Valor en la Tabla de Distribución Normal equivalente 1.96
- $N = 525$
- $p = 50\% = 0.5$
- $q = 50\% = 0.5$
- $e = 6.5\% = 0.065$

Sustituyendo los valores en la fórmula se obtienen los siguientes resultados:

$$n = (\sigma)^2 (N) (p) (q) / (e)^2 (N-1) + (\sigma)^2 (p) (q)$$

$$n = (1.96)^2 (525) (0.5) (0.5) / (0.065)^2 (525-1) + (1.96)^2 (0.5) (0.5)$$

$$n = 158.8413193$$

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

De esta forma, el tamaño de la muestra asciende a: 158.8413193, es decir, se deberán de aplicar no menos de **159 encuestas**, con un **error de estimación del 6.5% y un nivel de confiabilidad del 95%**, para poder cumplir con el objetivo de la investigación.

Para realizar la evaluación de la calidad se utilizó el modelo cuantitativo multidimensional denominado “DINESERV” (Tabla 2) desarrollado por Stevens, Knutson y Paton (1995), derivado de la metodología SERVQUAL o *Service Quality* (Tabla 3) de los autores Parasuraman, Zeithaml y Berry (1988).

Modelo DINESERV	
Dimensión	Definición
1. Aspectos Tangibles:	Relacionados con la apariencia de las instalaciones físicas, equipo, personal y material de comunicación. Son los aspectos físicos que el cliente percibe, tales el diseño físico del restaurante, la apariencia del personal de contacto y la limpieza del lugar.
2. Confiabilidad:	Implica cuestiones relacionadas con la frescura y temperatura de los alimentos, la facturación precisa y recibir específicamente, la comida y bebidas ordenadas por el cliente.
3. Respuesta (ante las demandas del cliente):	Referente a la asistencia personal con la carta- menú de alimentos y/o bebidas o la respuesta adecuada y rápida respecto a las necesidades y peticiones de los clientes.
4. Garantías (aseguramiento o cumplimiento):	Entendido como que los clientes del restaurante deben de ser capaces de confiar en las recomendaciones del personal de contacto, tener la seguridad de que los alimentos y/o bebidas están preparados sin contaminación alguna, así como poder expresar alguna preocupación, inquietud o pregunta sin temor alguno.
5. Empatía:	Concerniente a la capacidad de brindar una atención personalizada a los clientes mediante la previsión de necesidades (dietéticas, especiales) o por la disposición del personal de ser comprensivo hacia los problemas de los clientes.

Tabla 2: Las 5 Dimensiones del Modelo DINESERV

Fuente: Elaboración propia en base a Stevens *et al.* (1995).

Modelo SERVQUAL		
Dimensión:	Definición:	Relativos a:
1. Aspectos Tangibles:	Relacionados con la apariencia de las instalaciones físicas, equipo, personal y material de comunicación. Son los aspectos físicos que el cliente percibe en la organización, cuestiones tales como personas, infraestructura, objetos limpieza y modernidad son evaluadas en los elementos.	Calidad física o a los aspectos tangibles del servicio.
2. Confiabilidad:	Habilidad para realizar el servicio prometido de forma fiable y precisa	Concernientes al proceso o calidad interactiva.
3. Respuesta (ante las demandas del cliente):	Referente a la capacidad de respuesta a las demandas, la buena voluntad de ayudar a los clientes y a la velocidad de respuesta del servicio.	
4. Garantías (aseguramiento o cumplimiento de las mismas):	Entendido como el conocimiento y la cortesía de los empleados, así como su capacidad de transmitir confianza y seguridad al cliente.	
5. Empatía:	Concerniente a la capacidad de prestación de una atención personalizada a los clientes.	

Tabla 3: Las 5 Dimensiones del Modelo SERVQUAL

Fuente: Elaboración propia en base a Parasuraman *et al.* (1988).

El uso y adaptación de los dos anteriores modelos permitió realizar un análisis estadístico

para establecer patrones de comportamiento de los clientes, identificando esencialmente la percepción sobre la calidad del servicio restaurantero brindado en el negocio en cuestión.

El modelo SERVQUAL sugiere que la comparación entre las expectativas generales de los clientes y sus percepciones respecto al servicio que presta una organización, constituyen una medida de la calidad de los servicios, y que a la vez, la brecha existente entre ambas muestran indicadores fehacientes para mejorar la percepción del cliente respecto de la calidad en el servicio. Aspectos que también concuerdan con las ideas de Grönroos, 1984; Parasuraman *et al.* 1985, 1988; Lehtinen y Lehtinen, 1982; Barrington y Olsen, 1987.

La versión final de la herramienta DINESERV contiene un total de 29 ítems: 10 afirmaciones que representan los aspectos tangibles, 5 representando a la confiabilidad, 3 más para la capacidad de respuesta, 6 referentes a las garantías y finalmente 5 que hacen referencia a la empatía; todos ellos medidos con una escala Likert de siete puntos (Tabla 4).

Puntajes	Escala
1	Totalmente en Desacuerdo.
2	En Desacuerdo.
3	Algo de Acuerdo.
4	Indiferente.
5	Algo de Acuerdo.
6	De Acuerdo.
7	Totalmente de Acuerdo.

Tabla 4: Escala de Likert y puntuaciones utilizadas en el Instrumento de Medición.

Fuente: Elaboración propia con la información recopilada de la investigación.

En la Tabla 5 se observa el formato original (traducido y adaptado) de la entrevista o cuestionario del modelo DINESERV, también conocido como “*DINESERV.per Interview*”, así como sus 5 dimensiones y los 29 elementos o sentencias que la conforman.

DIMENSIONES	ELEMENTOS DE MEDIDA
El restaurante...	
Tangibles	1) ... tiene instalaciones exteriores y un área de estacionamiento visualmente atractivas. 2) ... tiene un área de comedor visualmente atractiva 3) ... tiene personal que luce limpio, bien cuidado y propiamente vestido 4) ... tiene una decoración acorde con su imagen y nivel de precio. 5) ... tiene una carta-menú que es fácil de leer. 6) ... tiene un menú visualmente atractivo, que refleja la imagen del restaurante. 7) ... tiene un área de comedor que es cómoda y que facilita el moverse alrededor de ella. 8) ... tiene baños que son muy limpios. 9) ... tiene áreas de comedores que son muy limpias. 10) ... tiene asientos cómodos en el área de comedores.
Confiabilidad	11) ... le sirve la comida/bebida en el tiempo prometido. 12) ... corrige rápidamente todo lo que está mal. 13) ... es confiable y consistente. 14) ... proporciona al cliente la cuenta/facturación precisa. 15) ... sirve las comidas/bebidas exactamente como fueron ordenadas.
Respuesta (ante las demandas del cliente):	16) ... durante los horarios más concurridos, posee empleados que se ayudan unos a otros para mantener la velocidad y la calidad del servicio. 17) ... proporciona un servicio oportuno y rápido. 18) ... brinda un esfuerzo extra para manejar sus peticiones especiales.

Garantías (aseguramiento o cumplimiento):	19) ... tiene empleados que pueden responder a sus preguntas de forma completa. 20) ... lo hace sentir cómodo y confiado en su trato con el personal. 21) ... tiene personal que sea capaz y esté dispuesto a darle información sobre los elementos de la carta-menú, ingredientes y métodos de preparación de los platillos/bebidas. 22) ... lo hace sentir personalmente seguro respecto a la preparación higiénica de los alimentos. 23) ... tiene personal que parecen bien capacitado, competente y experimentado. 24) ... parece dar a sus empleados el apoyo para que puedan realizar bien su trabajo.
Empatía	25) ... tiene empleados que son sensibles a sus necesidades y deseos, en vez de seguir las políticas y procedimientos estándar. 26) ... lo hace sentir especial como cliente brindándole una atención personalizada. 27) ... anticipa sus necesidades individuales y deseos. 28) ... tiene empleados que son comprensivos y que siempre verifican si algo está mal. 29) ... parece tener siempre en cuenta los intereses de los clientes.

Tabla 5: Los 29 elementos de la entrevista DINESERV (DINESERV.per Interview).

Fuente: Traducido y adaptado de Stevens *et al.* (1995) P. 59.

El nivel de calidad de servicio esperado y percibido (expectaciones y percepciones) se evaluó sobre la base de 35 atributos. Los primeros 29 atributos fueron adaptados del estudio de Stevens *et al* (1995), es decir, del modelo DINESERV y SERVQUAL, los cuales representan los atributos correspondientes a las cinco dimensiones de la calidad en los servicios restauranteros (aspectos o elementos tangibles, confiabilidad, respuesta, garantías y empatía). Los 6 atributos restantes fueron seleccionados de la investigación realizada por Andaleeb y Conway (2006), los cuales representan dos importantes dimensiones relacionadas con la calidad en los servicios restauranteros correspondientes a las variables de Precio y la Satisfacción total del servicio recibido.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

A continuación se representa un diagrama que permite ilustrar de manera general, el proceso de la evaluación de la calidad del servicio percibida, permitiéndonos ejemplificar visualmente, las etapas por las cuales atraviesa la evaluación de la calidad en los servicios restauranteros.

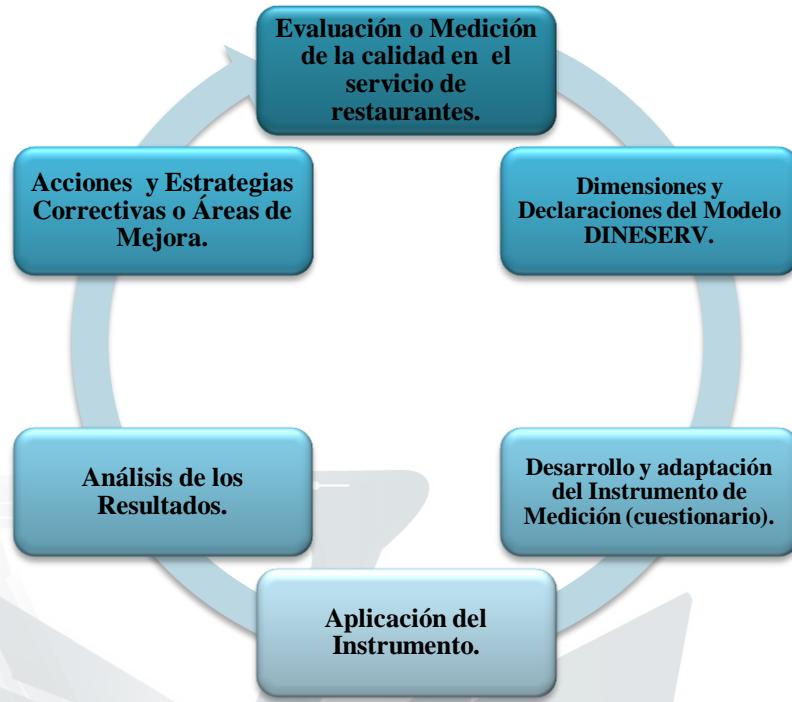


Ilustración 1: Diagrama General del Proceso de Evaluación de la Calidad en el Servicio percibida por el Cliente.

Fuente: Elaboración propia con base a la exploración literaria revisada en el desarrollo de ésta investigación.

Finalmente, se distingue que la misión suprema de todo establecimiento restaurantero debe

ser el lograr el mayor nivel de satisfacción para sus clientes, pues son precisamente ellos, los que permiten que la empresa siga existiendo y creciendo, generando de tal forma, beneficios para sus todos sus integrantes (propietarios y empleados).

3. Resultados y Discusión de la Investigación

3.1 Análisis del Perfil Demográfico

De acuerdo con la Tabla 6, se observó que la edad promedio de los comensales osciló entre los 40 años de edad. Igualmente se examina que del total de la muestra (160 encuestadas), respecto al género de los comensales, el sexo femenino superó al masculino por sólo un 6.25%, además se señala que las mujeres se mostraron más rigurosas que los hombres a la hora de enjuiciar características referentes a los alimentos y/o bebidas. Respecto a la ocupación de los comensales, se percibió que tanto los comerciantes, los profesionistas y los trabajadores de la industria textil representaron el 86.25% del total de la muestra (138 clientes). Con relación al origen o procedencia de los comensales, la mayoría de los encuestados (86.3%) resultaron ser originarios de las ciudades de Moroleón, Uriangato, Yuriria y Celaya, Guanajuato, pero también se tuvieron clientes provenientes de otras entidades como Michoacán, Jalisco y el Distrito Federal, además del vecino país de los Estados Unidos. Por último, se observó que el 90% de los comensales encuestados, ya habían visitado el restaurante “Los Fresnos”, y que de los 144 que afirmaron dicha cuestión, el 70.83% confirmaron haber visitado el restaurante entre 2 y 3 veces en un lapso correspondiente a los últimos 3 meses.

ELEMENTOS	CLIENTES	%	ELEMENTOS	CLIENTES	%
Rangos de Edades			Procedencia		
18 a 24 años	12	7.50%	Moroleón, Guanajuato.	89	55.63%
25 a 34 años	45	28.13%	Uriangato, Guanajuato.	44	27.50%
35 a 44 años	53	33.13%	Morelia, Michoacán.	7	4.38%
45 a 54 años	39	24.38%	Santa Ana Maya, Michoacán.	5	3.13%
Mayor de 55 años	11	6.88%	Yuriria, Guanajuato.	4	2.50%
TOTAL	160	100.00%	Cuitzeo, Michoacán.	4	2.50%
ELEMENTOS	CLIENTES	%	Distrito Federal (D.F.)	2	1.25%
Género			Guadalajara, Jalisco.	2	1.25%
Femenino	85	53.13%	Extranjeros (E.U.A.)	2	1.25%
Masculino	75	46.88%	Celaya, Guanajuato.	1	0.63%
TOTAL	160	100.00%	TOTAL	160	100.00%
ELEMENTOS	CLIENTES	%	ELEMENTOS	CLIENTES	%

Ocupación			Visitas previas a "Los Fresnos"		
Comerciantes	59	36.88%	SI	144	90.00%
Profesionistas	55	34.38%	NO	16	10.00%
Industria Textil	24	15.00%	TOTAL	160	100.00%
Amas de Casa	8	5.00%	ELEMENTOS	CLIENTES	%
Estudiantes	4	2.50%	<i>No. de visitas a "los Fresnos" en los 3 últimos meses</i>		
Carpintero	2	1.25%			
Industria de la Construcción	2	1.25%	1 vez	14	9.72%
Herreros	2	1.25%	2 veces	64	44.44%
Pensionados	2	1.25%	3 veces	38	26.39%
Funcionarios Públicos	1	0.63%	4 veces	16	11.11%
Obreros Textiles	1	0.63%	Más de 5 veces	12	8.33%
TOTAL	160	100.00%	TOTAL	144	100.00%

Tabla 6: Perfil Demográfico de los Clientes/Comensales encuestados.

Fuente: Elaboración propia con los datos recopilados de la investigación.

De acuerdo con la metodología propia de las herramientas SERVQUAL y DINESERV, el comparar las expectativas con las percepciones resulta medular para establecer una medida de la calidad del servicio. En el caso que nos ocupa, se observó en la Tabla 7 (ver también Tabla 8 para los significados de las abreviaturas) que la desviación estándar de las expectativas es positiva y baja, lo cual indicó que las perspectivas que tuvieron los clientes fueron altas y no variaron mucho con respecto a su media aritmética, en cambio las percepciones mantuvieron una elevada dispersión con respecto a su promedio, calculándose enormes diferencias entre lo que esperó el comensal y lo que realmente se le ofreció como servicio, constituyéndose en aspectos críticos a mejorar por el restaurante (datos marcados con amarillo).

El ambiente económico, social y cultural tan cambiante explicado por la globalización, ha provocado la evolución de la industria de la restauración, por ello, la mejora constante de la calidad del servicio restaurantero se ha constituido en un factor importante para lograr la lealtad y la fidelización del cliente, además de incrementar el número de clientes. En este

sentido, el restaurante “Los Fresnos” tiene como principales indicadores para mejorar los relacionados con los Aspectos Tangibles vinculados con las instalaciones físicas, equipo, personal y material de comunicación, que en condiciones óptimas permitirían establecer una esfera de confianza, belleza, inocuidad y comunicación, que en principio son el primer contacto con el lugar a donde se va a disfrutar de una buena comida y bebida, como parte de la experiencia culinaria.

Con respecto a los factores de la dimensión de Confiabilidad, es necesario que el restaurante cuide los factores que aluden a la corrección inmediata de errores, así como la confiabilidad de que se prepararon y brindaron alimentos frescos y bebidas. Con relación a la dimensión de grado de Respuesta, se detectó la necesidad de contar con el personal suficiente para atender de manera rápida las demandas de los clientes a la par de brindar ese “esfuerzo adicional” para atender las peticiones especiales de los comensales. La importancia que cobran los bienes o elementos intangibles resulta medular, puesto que un restaurante no sólo se dedica a la oferta de alimentos y bebidas, sino que también deberá de cuidar todos aquellos aspectos inherentes a la calidad de la prestación del servicio al momento de proveer y crear a través de dicha prestación, una experiencia culinaria memorable para el cliente, lo que forje que el comensal repita la visita al restaurante.

En referencia al Aseguramiento del Cumplimiento del Servicio, es imprescindible que el restaurante mejore la capacitación del personal de contacto directo (meseros/mozos) y que posean la disposición de brindar toda la información correcta solicitada por los comensales referente a todos los aspectos concernientes con la carta-menú que se maneja dentro del restaurante; además de contar con *Chefs* y ayudantes de cocina calificados que contribuyan a otorgar una excelente comida. Otro punto a resaltar referente a la evaluación de la

calidad, fue el apoyo brindado por la gerencia del negocio para que aquello ocurra de una manera eficiente y el comensal o cliente se retire satisfecho por lo que comió, bebió y vivió en el restaurante, que hacen que en el futuro se regrese al mismo restaurante, se recomienda el lugar debido a que la calidad del servicio es excelente.

Respecto a la dimensión de Empatía resultó que es fundamental que los empleados hagan sentir especial a los clientes de una forma espontánea y sincera, al mostrarse sensibles por ofrecer un servicio personalizado, anticipándose, en base a la experiencia, a las preferencias de los comensales, verificando que todo salga bien y corregir los posibles errores en la inmediatez. Sin embargo, la cultura que tenga cada cliente que asista al lugar será una barrera para que aprecie con objetividad el esfuerzo del personal de servicio por atenderle con esmero. Las percepciones tienen un alto grado de subjetividad, pero aun así, se reconoce y se puede cuantificar un servicio que se caracteriza por un alto estándar de calidad, aunque existan sus variaciones en términos de las diferencias culturales, idiosincrasia, costumbres e ideas que posean los clientes.

Por otro lado, se excluyeron las variables 30 y 31 (claves PPREC31 y PPREC32), debido a que todos los elementos se midieron en una escala tipo ““**Likert**”” de siete puntos, donde a mayor puntuación, mayor es la expectativa y la percepción del cliente con respecto a la calidad del servicio en el contexto restaurantero, con la excepción de los 2 elementos antes mencionados, los cuales corresponden a la dimensión de ““**Precio**””, donde la escala ““**Likert**”” funcionó de manera inversa, es decir, a menor puntuación, menor es la expectativa y la percepción del cliente respecto a las dos anteriores declaraciones. Además, respecto a la dimensión de Satisfacción, los clientes o comensales únicamente consideraron como importante el factor que enuncia que ““*los comensales están completamente satisfechos con*

“la experiencia culinaria” (clave PSATIS35), por lo cual los demás factores de la dimensión de Satisfacción señalados en la Tabla no. 7 y 8, quedaron excluidos del análisis.

Dimensión	EXPECTATIVAS				Dimensión	PERCEPCIONES			BRECHA /GAP
	No.	Clave	\bar{X}	Σ		Clave	\bar{X}	σ	
Aspectos Tangibles:	1	EAT1	6.7938	0.4059	Aspectos Tangibles:	PAT1	6.6500	0.5517	-0.1438
	2	EAT2	6.8500	0.3753		PAT2	6.2563	0.8486	-0.5938
	3	EAT3	6.9625	0.1906		PAT3	6.5750	0.5669	-0.3875
	4	EAT4	6.7313	0.6216		PAT4	5.6250	1.3400	-1.1063
	5	EAT5	6.8938	0.3288		PAT5	6.3938	0.7190	-0.5000
	6	EAT6	6.7438	0.5854		PAT6	5.3375	1.5373	-1.4063
	7	EAT7	6.8938	0.3288		PAT7	6.4750	0.7847	-0.4188
	8	EAT8	6.9563	0.2338		PAT8	5.7438	1.4019	-1.2125
	9	EAT9	6.9438	0.2311		PAT9	6.3188	0.9137	-0.6250
	10	EAT10	6.7625	0.5076		PAT10	6.1625	0.9309	-0.6000
Media (Aspectos Tangibles) EXPECTATIVAS				6.8531	Media (Aspectos Tangibles) PERCEPCIONES			6.1538	-0.6994
Desv. Estándar (Aspectos Tangibles) EXPECTATIVAS				0.4143	Desv. Estándar (Aspectos Tangibles) PERCEPCIONES			1.0947	
Confiabilidad:	11	ECONF11	6.8750	0.3502	Confiabilidad:	PCONF11	6.4688	0.7433	-0.4063
	12	ECONF12	6.9375	0.2428		PCONF12	6.3813	0.9033	-0.5563
	13	ECONF13	6.8625	0.3632		PCONF13	6.3938	0.7697	-0.4688
	14	ECONF14	6.9438	0.2311		PCONF14	6.7250	0.4752	-0.2188
	15	ECONF15	6.9000	0.3009		PCONF15	6.6313	0.6307	-0.2688
Media (Confiabilidad) EXPECTATIVAS				6.9038	Media (Confiabilidad) PERCEPCIONES			6.5200	-0.3837
Desv. Estándar (Confiabilidad) EXPECTATIVAS				0.3035	Desv. Estándar (Confiabilidad) PERCEPCIONES			0.7299	
Respuesta (ante las demandas del cliente):	16	ERESP16	6.6125	0.7353	Respuesta (ante las demandas del cliente):	PRESP16	6.0875	1.0780	-0.5250
	17	ERESP17	6.6188	0.5480		PRESP17	6.35625	0.6279	-0.2625
	18	ERESP18	6.8563	0.4603		PRESP18	6.1250	0.9231	-0.7313
Media (Respuesta) EXPECTATIVAS				6.6958	Media (Respuesta) EXPECTATIVAS			6.1896	-0.5062
Desv. Estándar (Respuesta) EXPECTATIVAS				0.6020	Desv. Estándar (Respuesta) EXPECTATIVAS			0.9020	
Garantías (aseguramiento o cumplimiento):	19	EGAR19	6.8875	0.3170	Garantías (aseguramiento o cumplimiento):	PGAR19	6.3313	0.8594	-0.5563
	20	EGAR20	6.9188	0.2741		PGAR20	6.5438	0.6229	-0.3750
	21	EGAR21	6.8250	0.3973		PGAR21	6.1625	1.0333	-0.6625
	22	EGAR22	6.9188	0.2741		PGAR22	6.4938	0.6442	-0.4250
	23	EGAR23	6.8688	0.3387		PGAR23	6.2625	0.8723	-0.6063
	24	EGAR24	6.8063	0.4824		PGAR24	6.1813	0.8822	-0.6250
Media (Garantías) EXPECTATIVAS				6.8708	Media (Garantías) PERCEPCIONES			6.3292	-0.5417

Desv. Estándar (Garantías) EXPECTATIVAS				0.3566	Desv. Estándar (Garantías) PERCEPCIONES				0.8421	
Empatía:	25	EEMP25	6.8500	0.4075	Empatía:	PEMP25	6.3000	0.7754	-0.5500	
	26	EEMP26	6.8875	0.4342		PEMP26	5.9500	1.1481	-0.9375	
	27	EEMP27	6.7250	0.5713		PEMP27	5.8000	1.2173	-0.9250	
	28	EEMP28	6.8688	0.3568		PEMP28	6.3000	0.9098	-0.5688	
	29	EEMP29	6.8063	0.4120		PEMP29	5.9750	1.2232	-0.8313	
Media (Empatía) EXPECTATIVAS			6.8275		Media (Empatía) PERCEPCIONES		6.0650		-0.7625	
Desv. Estándar (Empatía) EXPECTATIVAS				0.4450	Desv. Estándar (Empatía) PERCEPCIONES				1.0862	
Precio:	30	EPREC30	1.5563	0.6319	Precio:	PPREC30	2.1438	0.7427	-0.5875	
	31	EPREC31	1.5688	0.6206		PPREC31	1.7563	0.6418	-0.1875	
Media (Precio) EXPECTATIVAS			1.5625		Media (Precio) PRECEPCIONES		1.9500		-0.3875	
Desv. Estándar (Precio) EXPECTATIVAS				0.6254	Desv. Estándar (Precio) PERCEPCIONES				0.7196	
Satisfacción:	32	ESATIS32	6.9688	0.1745	Satisfacción:	PSATIS32	5.9438	0.6369	-1.0250	
	33	ESATIS33	6.9688	0.1745		PSATIS33	6.3688	0.7148	-0.6000	
	34	ESATIS34	6.9625	0.1906		PSATIS34	6.4375	0.6007	-0.5250	
	35	ESATIS35	6.9813	0.1763		PSATIS35	5.9375	0.6313	-1.0438	
Media (Satisfacción) EXPECTATIVAS			6.9703		Media (Satisfacción) EXPECTATIVAS		6.1719		-0.7984	
Desv. Estándar (Satisfacción) EXPECTATIVAS				0.1788	Desv. Estándar (Satisfacción) EXPECTATIVAS				0.6864	
MEDIA GLOBAL DE LOS 35 ATRIBUTOS			6.0977		MEDIA GLOBAL DE LOS 35 ATRIBUTOS		5.6256		-0.4721	

Tabla 7: Cuadro Resumen de las Expectativas versus Percepciones de los Clientes/Comensales referentes a los aspectos de calidad en el servicio del “Restaurant Familiar Los Fresnos”

Fuente: Elaboración propia con los datos recopilados de la investigación.

Simbología: \bar{X} Media aritmética y σ Desviación Estándar.

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

ID	Clave	Significado	Clave	Significado	Elemento
1	EAT	Expectativas de la dimensión de Aspectos Tangibles	PAT	Percepciones de la dimensión de Aspectos Tangibles	Instalaciones Exteriores y Área de Estacionamiento visualmente atractivas.
2	EAT		PAT		Zona de Comedor visualmente atractiva.
3	EAT		PAT		Personal con buena presentación, apariencia personal limpia, bien vestidos.
4	EAT		PAT		Decoración acorde a la imagen y nivel de precios del restaurante.
5	EAT		PAT		Carta-Menú legible y de fácil entendimiento.
6	EAT		PAT		Carta-Menú visualmente atractiva acorde a la imagen del restaurante.
7	EAT		PAT		Zona de Comedor cómoda y que permita al cliente moverse con facilidad.
8	EAT		PAT		Servicio de Baños (W.C.) limpios y cómodos.
9	EAT		PAT		Zona de Comedor limpia.
10	EAT		PAT		Asientos cómodos en la Zona de Comedor.
11	ECONF	Expectativas de la dimensión Confiabilidad	PCONF	Percepciones de la dimensión Confiabilidad	Sirve alimentos y bebidas en el tiempo prometido.
12	ECONF		PCONF		Corrige rápidamente los errores cometidos.
13	ECONF		PCONF		Siempre brinda un servicio consistente y confiable al servir alimentos y/o bebidas.
14	ECONF		PCONF		Siempre proporciona la Cuenta y/o Facturación correcta.
15	ECONF		PCONF		Siempre sirve alimentos y/o bebidas exactamente como se ordenaron.
16	ERESP	Expectativas de la dimensión Respuesta	PRESP	Percepciones de la dimensión Respuesta	Durante los horarios pico, cuenta con personal que se ayuda unos con otros, para mantener la calidad y velocidad en la prestación del servicio.
17	ERESP		PRESP		Siempre brinda un servicio oportuno y rápido.
18	ERESP		PRESP		Siempre busca dar un esfuerzo extra para manejar sus peticiones especiales.
19	EGAR	Expectativas de la dimensión Garantías	PGAR	Percepciones de la dimensión Garantías	Posee personal con los conocimientos necesarios para responder a todas las preguntas de los clientes/comensales de forma completa.
20	EGAR		PGAR		El trato con el personal (meseros) hace sentir cómodo y confiado al comensal/cliente.
21	EGAR		PGAR		Posee personal (meseros), capaces y dispuestos a dar información sobre elementos de la Carta-Menú (ingredientes, métodos de preparación).
22	EGAR		PGAR		Hace sentir seguro al comensal/cliente respecto a la preparación higiénica de los alimentos y/o bebidas.
23	EGAR		PGAR		Cuenta con personal bien capacitado, experimentado y competente tanto en el Área de Cocina como en el Área de Prestación del Servicio (meseros).
24	EGAR		PGAR		Brinda apoyo a sus empleados y/o personal para que puedan realizar bien su trabajo.
25	EEMP	Expectativas de la dimensión Empatía	PEMP	Percepciones de la dimensión Empatía	Posee personal (meseros) que se muestra sensible al atender necesidades individuales y deseos de los comensales, en vez de seguir las políticas y procedimientos estándar.
26	EEMP		PEMP		Lo hace sentir especial como cliente brindándole una atención personalizada.
27	EEMP		PEMP		Anticipa las necesidades individuales y deseos de los comensales.
28	EEMP		PEMP		Posee personal (meseros) que son comprensivos y siempre verifican si algo está mal.
29	EEMP		PEMP		Siempre demuestra un real y sincero interés por sus comensales y/o clientes.
30	EPREC	Expectativas de la dimensión Precio	PPREC	Percepciones de la dimensión Precio	Los alimentos y bebidas tienen precios elevados (relación alimentos/bebidas vs. precio pagado).
31	EPREC		PPREC		Es donde se paga más de lo previsto.
32	ESATIS	Expectativas de la dimensión Satisfacción	PSATIS	Percepciones de la dimensión Satisfacción	Es aquel donde en general, los comensales están completamente satisfechos con la experiencia culinaria.
33	ESATIS		PSATIS		Es aquel restaurante donde sin duda, el comensal regresaría en el futuro.
34	ESATIS		PSATIS		Es aquel restaurante que el comensal recomendaría a otros.
35	ESATIS		PSATIS		Es aquel restaurante donde teniendo en cuenta el tipo de negocio, la calidad del servicio es excelente.

Tabla 8: IDs, Claves, Dimensiones y Elementos explicados. Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

Por otra parte, en el Gráfico 1, correspondiente al Gráfico de Sedimentación o *screen plot*, el método de extracción utilizado en el programa *SPSS* fue el de Componentes Principales. El *screen plot* muestra la extracción de 5 factores, entre ellos están los relacionados con el precio y con la satisfacción, pero la consideración de los otros 30 atributos fueron muy importantes como para ser incluidos como las dimensiones subyacentes para definir y medir la calidad del servicio restauranero. Estos atributos contribuyeron a explicar más del 90% de la varianza original en el conjunto de los 30 atributos.

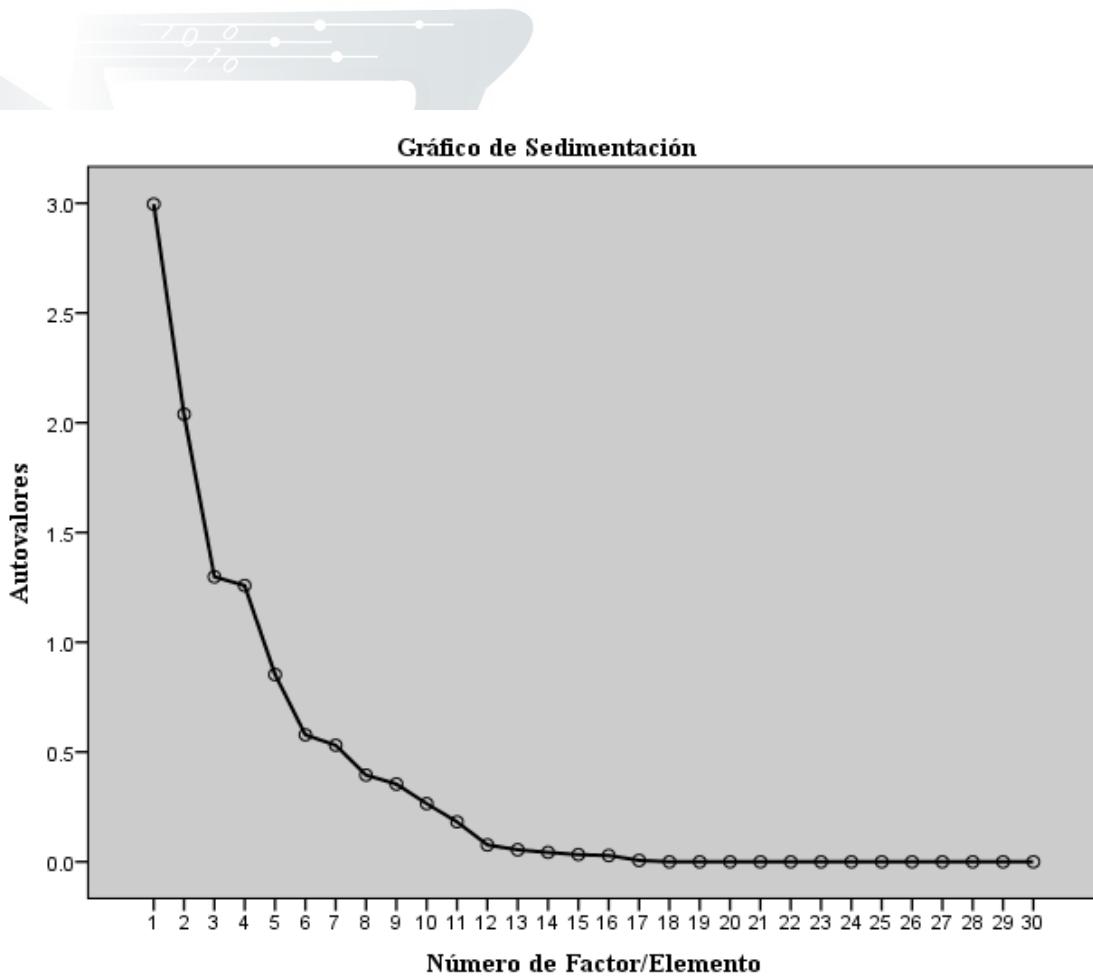


Gráfico 1: Sedimentación para la Evaluación de la multidimensionalidad del concepto de la calidad del servicio en base a la percepción de los clientes/comensales del restaurante “Los Fresnos”.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos de la investigación.

La varianza o **eigen-valor** (auto-valor) vinculado al primer atributo fue de 3, mientras que para el segundo atributo fue de 2.1, para el tercer atributo, 1.3, para el cuarto 1,25, y así sucesivamente se muestran los demás **eigen-valores** para el resto de los atributos. Si se observa el gráfico, se nota que los 10 atributos vinculados a la dimensión de los Elementos Tangibles son los que tienen los mayores auto-valores, lo que los coloca dentro de una de las dimensiones más valoradas por los comensales o clientes, esto conforme al análisis de las percepciones de los mismos.

Con respecto al resto de los factores a partir del 11° al 16° atributo, se observó que disminuye el **eigen-valor**, lo cual significa que los atributos de Confiabilidad tienen menos importancia que los Aspectos Tangibles. Por su parte, los factores del 17° al 30° mantienen un auto-valor casi constante e igual a 0.1, esto quiere decir que el Grado de Respuesta, Garantías, Empatía, Precio y Satisfacción como dimensiones intrínsecas de la calidad del servicio se mantienen sin variación, sin embargo, no implica que las mismas no tengan importancia para que los clientes perciban la existencia de calidad.

La cuestión de la calidad del servicio es un constructo multidimensional por lo que se tiene que considerar generalmente bajo un enfoque sistémico, puesto que “aunque existan variaciones en los auto-valores de cada uno de los 30 factores analizados, no implica que los clientes tienen que conceder una misma escala de **eigen-valor** a todos y cada uno de estos atributos de la calidad en los servicios restauranteros. Por tal, se enuncia que ello depende de cada individuo en función de su personalidad, cultura, lugar de residencia, edad, nivel de ingreso, creencias, religión, etc. tal y como lo expuso Raajpoot (2004), donde explica que la percepción de sentirse “bien atendido”, responde en muchos casos a

elementos regionales de idiosincrasia, tendiendo hasta cierto punto, a conformar concepciones particulares de lo que se entiende por calidad en el servicio.

En este sentido tenemos que recurrir a lo que Eigler y Langeard (1989) definen como ***servucción*** en la empresa de servicios, la cual se conceptualiza como aquella organización sistemática y coherente con los elementos físicos y humanos del vínculo cliente-empresa, necesaria para la prestación de un servicio bajo los indicadores de calidad del servicio. Por ello, la ***servucción*** se debe examinar bajo el análisis metodológico de los servicios mediante la Teoría General de Sistemas (TGS) debido a que el Sistema de ***Servucción*** de los servicios obedece a la ley de los sistemas propuesta por Von Bertalanffy (1968), ya que los servicios son producto de un complejo sistema de producción que se enfoca en la calidad de los servicios como resultante del mismo, lo que suministra una característica diferencial que define la supervivencia de muchas empresas, entre ellas, las empresas restauranteras, en las cuales el Sistema de ***Servucción*** funciona con un objetivo o finalidad al mismo tiempo que está constituido por elementos identificables y correlacionados (dimensiones de calidad en los servicios restauranteros), los cuales poseen la característica de tender a un estado de equilibrio, y donde cualquier cambio o modificación de los mismos, conllevará (por el juego de interrelaciones) a un cambio no directo del resultado del sistema, que en este caso aplica directamente a la percepción de la calidad en el servicio del restaurante por parte de los clientes o comensales.

Finalmente, la evaluación de la calidad de los servicios, que resulta complicada debido a la subjetividad con que los clientes valoran el ofrecimiento de un servicio, tiene que aminorar, y en el mejor de los casos, eliminar la brecha entre las expectativas y percepciones de los clientes.

Sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos en el análisis de las brechas entre las expectativas versus las percepciones de los comensales del restaurante “Los Fresnos”, y considerando las actuales condiciones económicas, políticas, culturales y sociales que caracterizan a nuestro país, resulta importante señalar que en base a la extensa revisión literaria realizada para la presente investigación, se reportaron varios casos de estudio en los cuales se ha evaluado la calidad de los servicios en restaurantes de países desarrollados (principalmente de la Unión Europea), en base a la utilización y/o adaptación de la metodología SERVQUAL y/o DINESERV, se reitera la existencia de brechas en la mayoría de las dimensiones consideradas por los investigadores en los casos de estudio, que aunque en la mayoría de los casos se perfilan como pequeñas variaciones donde las expectativas terminan superando a las percepciones de los comensales, pero de igual manera que en la presente investigación, se hacen presentes, por lo cual debe considerarse que en cuestiones de calidad en los servicios restauranteros, las expectativas de los clientes, siempre manifestaran grandes valores, a la hora de compáralas con las percepciones.

Para ubicar las dimensiones críticas en el concepto de calidad del servicio, se procedió a rotar la solución inicial empleando la rotación ortogonal *varimax*. La matriz factorial respectiva se localiza en la Tabla 9, en la cual se han iluminado con amarillo las cargas mayores que cada indicador tiene en los factores críticos para facilitar su interpretación.

- **Aspectos Tangibles:** Incluye la mayor parte de los reactivos inicialmente asignados a las dimensiones de comedor limpio, instalaciones exteriores, área de estacionamiento visualmente y la zona del comedor visualmente atractivas. Además de una decoración de acuerdo con la imagen, nivel de precios que maneja el restaurante, el personal con buena

presentación y la zona de baños limpios y cómodos. La carta-menú visualmente atractiva se coloca en el 7º componente como un elemento con menor rango de importancia.

- **Confiabilidad:** En este segundo factor se concentraron el 50% de los atributos como los más preferidos por los clientes: “servir alimentos y bebidas en el tiempo prometido”, “el servicio consistente y confiable a la hora de servir los alimentos y/o bebidas” y finalmente se refiere al elemento de “siempre sirve alimentos y/o bebidas exactamente como se ordenaron”.
- **Grado de Respuesta:** el factor que más resaltó entre los clientes encuestados fue el elemento correspondiente a “siempre brinda un servicio oportuno y rápido” y “siempre busca dar un esfuerzo extra para manejar sus peticiones especiales”.
- **Garantías:** sobresalieron por las preferencias que mostraron los comensales encuestados los siguientes elementos: “posee personal capaz y dispuesto a dar información sobre elementos de la carta-menú”, “hace sentir seguro al comensal al proporcionar higiene en los alimentos y bebidas” y finalmente el elemento correspondiente a si la gerencia del negocio “brinda apoyo a sus empleados para que éstos se desempeñen bien”.
- **Empatía:** resultaron mayormente valorados por los clientes los siguientes aspectos: “Los meseros son sensibles ante las necesidades individuales”, “se personaliza la atención a los clientes”, “hay anticipación a las necesidades individuales de los clientes”, “el personal se muestra comprensivo y siempre verifica si algo anda mal” y “existe real sinceridad por parte de los meseros al atender a sus clientes”.
- **Satisfacción:** en este rubro únicamente destacó el elemento concerniente a si “los comensales están completamente satisfechos con la experiencia culinaria vivida en el restaurante”, sin tener importancia los demás elementos que componen a dicha dimensión (ver Tabla 8).

Factor	Matriz Rotada							
	Componente							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Instalaciones Exteriores y Área de Estacionamiento visualmente atractivas.	0.6554	0.2419	0.5783	0.1862	-0.0580	-0.0108	0.0713	0.0145
Zona de Comedor visualmente atractiva.	0.5081	0.1729	0.7371	0.3372	0.0479	0.0384	0.0836	-0.0001
Personal con buena presentación, apariencia personal limpia, bien vestidos.	0.1420	0.0901	0.8793	0.3726	0.0628	0.0140	0.0805	0.0026
Decoración acorde a la imagen y nivel de precios del restaurante.	0.1242	0.5708	0.3846	-0.1355	-0.1784	-0.2472	0.4044	0.2857
Carta-Menú legible y de fácil entendimiento.	-0.0751	-0.1404	-0.0213	-0.0299	-0.0390	-0.1290	0.9633	0.1374
Carta-Menú visualmente atractiva acorde a la imagen del restaurante.	-0.3780	0.7691	-0.2447	-0.1875	0.3182	-0.1129	0.0974	0.1966
Zona de Comedor cómoda y que permita al cliente moverse con facilidad.	-0.0343	-0.0911	0.2418	0.4743	-0.0660	-0.1142	-0.0406	0.1515
Servicio de Baños (W.C.) limpios y cómodos.	0.0062	0.6969	0.1841	0.6668	0.0628	0.1199	0.0653	0.0048
Zona de Comedor limpia.	0.9199	0.2241	-0.1483	0.2535	-0.0178	0.0807	0.0435	-0.0097
Asientos cómodos en la Zona de Comedor.	0.1164	0.3129	0.1479	-0.0322	0.0032	0.8739	-0.0686	0.1094
Sirve alimentos y bebidas en el tiempo prometido.	0.5792	0.1587	0.1337	0.3537	0.0585	0.0820	0.4798	-0.0264
Corrige rápidamente los errores cometidos.	-0.0831	-0.2169	0.1176	-0.0028	-0.0272	0.9418	-0.0426	0.1026
Siempre brinda un servicio consistente y confiable al servir alimentos y/o bebidas.	0.5871	0.1398	0.1392	0.3540	0.6101	0.0517	0.0717	-0.0231
Siempre proporciona la Cuenta y/o Facturación correcta.	0.1317	0.0222	0.6369	0.3851	0.1557	0.0822	0.0655	-0.0175
Siempre sirve alimentos y/o bebidas exactamente como se ordenaron.	0.7780	0.0769	0.0866	-0.1532	0.0376	0.0197	-0.0811	0.0551
Durante los horarios pico, cuenta con personal que se ayuda unos con otros, para mantener la calidad y velocidad en la prestación del servicio.	0.4451	-0.0020	-0.0175	0.6851	-0.0611	-0.0827	-0.0819	0.1736
Siempre brinda un servicio oportuno y rápido.	0.5912	0.0807	0.3095	0.2208	0.0953	0.0536	0.3556	0.0208
Siempre busca dar un esfuerzo extra para manejar sus peticiones especiales.	0.1985	0.8162	-0.0865	-0.2003	0.0384	0.0117	-0.1440	0.1184
Posee personal con los conocimientos necesarios para responder a todas las preguntas de los clientes/comensales de forma completa.	-0.0781	-0.1699	-0.0671	-0.0992	-0.1001	-0.1238	-0.1024	-0.9530
El trato con el personal (meseros) hace sentir cómodo y confiado al comensal/cliente.	-0.0458	-0.1123	-0.1514	0.0709	-0.3384	-0.1571	-0.2094	-0.0096
Posee personal (mesero) capaz y dispuesto a dar información sobre elementos de la Carta-Menú (ingredientes, métodos de preparación).	0.1132	-0.0709	0.8590	-0.1676	-0.1004	0.3520	-0.0962	0.1510
Hace sentir seguro al comensal/cliente respecto a la preparación higiénica de los alimentos y/o bebidas.	0.0016	-0.1299	-0.0582	-0.0823	0.9042	-0.1267	-0.1213	0.0749
Cuenta con personal bien capacitado, experimentado y competente tanto en el Área de Cocina como en el Área de Prestación del Servicio (meseros).	-0.0383	-0.0796	-0.0182	-0.0660	-0.0145	-0.0492	-0.0298	-0.5441
Brinda apoyo a sus empleados y/o personal para que puedan realizar bien su trabajo.	0.1496	0.9338	-0.0086	0.2059	0.0631	0.0971	0.0185	0.0310
Posee personal (meseros) que se muestra sensible al atender necesidades individuales y deseos de los comensales, en vez de seguir las políticas y procedimientos estándar.	0.0645	0.0404	0.2381	0.8709	0.0301	0.0601	0.0766	-0.0108
Lo hace sentir especial como cliente brindándole una atención personalizada.	0.8492	0.1612	0.3384	0.2283	-0.0525	-0.0218	-0.0421	0.0738
Anticipa las necesidades individuales y deseos de los comensales.	0.4955	0.8246	0.1496	0.0173	-0.0338	0.0156	-0.0229	0.0716
Posee personal (meseros) que son comprensivos y siempre verifican si algo está mal.	0.8519	0.0939	0.1981	-0.2777	0.2910	-0.1070	-0.1351	0.1131
Siempre demuestra un real y sincero interés por sus comensales y/o clientes.	0.2660	0.8034	0.3451	0.0961	-0.0574	0.0362	-0.0076	0.0548
Es aquél donde en general, los comensales están completamente satisfechos con la experiencia culinaria.	0.1183	0.6376	-0.0488	0.1018	0.7032	-0.0155	-0.0732	0.0784

Tabla 9: Matriz de Factores Rotada de las Percepciones (Varimax)

4. Conclusiones

La brecha entre las expectativas y la percepción de los clientes respecto a los servicios ofertados se ha convertido en el principal indicador para determinar y evaluar la calidad de los servicio de cualquier proveedor. La aplicación y adaptación de la metodología DINESERV y SERVQUAL a la industria restaurantera local proporciona una visión holística con importantes conocimientos respecto al desempeño real de los servicios permitiendo conocer si los mismos cumplen con las expectativas de los comensales o clientes. Por ello, se justifica el empleo de la escala modificada propuesta en esta investigación para la evaluación de la calidad en los servicios ofertados por la industria restaurantera, en concordancia a si los servicios ofertados superan, cumplen o se encuentran por debajo de las expectativas de los clientes.

Para el caso específico del restaurante “Los Fresnos”, los resultados del análisis de las brechas implican que los servicios ofertados por negocio restaurantero se encuentran por debajo de las expectativas de sus clientes. La brecha global DINESERV/SERVQUAL asciende a -0.4721, lo que indica que la calidad del servicio de restaurante se encuentra ligeramente por debajo de las expectativas de los clientes, lo que implica que existen diversas áreas de oportunidad y mejora para mejorar y aumentar la percepción de la calidad del servicio del restaurante en cuestión.

Por ello se recalca que los atributos de las dimensiones con las mayores diferencias estadísticamente significativas (marcadas en amarrillo en la Tabla siguiente), representan deficiencias trascendentales que requieren atención significativa por parte de la gerencia de “Los Fresnos”, en términos de hacer esfuerzos de mejora continua, tal y como se puede observar en Tabla 10.

EXPECTATIVAS DEL CLIENTE (RESTAURANTE IDEAL)			PERCEPCIONES DEL CLIENTE ("LOS FRESNOS")			BRECHA /GAP
DIMENSIONES	\bar{X}	σ	DIMENSIONES	\bar{X}	σ	
ASPECTOS TANGIBLES	6.8531	0.4143	ASPECTOS TANGIBLES	6.1538	1.0947	-0.6994
CONFIABILIDAD	6.9038	0.3035	CONFIABILIDAD	6.5200	0.7299	-0.3837
RESPUESTA (ante las demandas del cliente):	6.6958	0.6020	RESPUESTA (ante las demandas del cliente):	6.1896	0.9020	-0.5062
GARANTÍAS (aseguramiento o cumplimiento):	6.8708	0.3566	GARANTÍAS (aseguramiento o cumplimiento):	6.3292	0.8421	-0.5417
EMPATÍA	6.8275	0.4450	EMPATÍA	6.0650	1.0862	-0.7625
PRECIO	1.5625	0.6254	PRECIO	1.9500	0.7196	-0.3875
SATISFACCIÓN	6.9703	0.1788	SATISFACCIÓN	6.1719	0.6864	-0.7984
MEDIA GLOBAL DE LAS EXPECTATIVAS DE LOS 35 ATRIBUTOS	6.0977		MEDIA GLOBAL DE LAS PERCEPCIONES DE LOS 35 ATRIBUTOS	5.6256		-0.4721

Tabla 10: Cuadro Resumen de las Expectativas versus Percepciones y las principales Brechas.
Simbología: \bar{X} Media aritmética y σ Desviación Estándar.

Se puede deducir que el instrumento DINESERV/SERVQUAL modificado y utilizado en esta investigación resulta adecuado para el uso de los gerentes de negocios restauranteros, puesto que facilita la obtención de datos de fácil interpretación. Mediante la administración del cuestionario DINESERV/SERVQUAL propuesto, los gerentes y/o administradores de restaurantes pueden obtener información útil respecto a la percepción de la calidad de los servicios por parte de los clientes, a la par de identificar las áreas de problemas y mejoras. El instrumento de medición propuesto en esta investigación también proporciona una medida cuantificable referente a lo que los clientes o comensales esperan de un restaurante y sus servicios.

Por otra parte, es importante resaltar que según lo expuesto por Eigler y Langeard (1989), la gestión de la calidad de los servicios dentro del sistema de *servucción*, se realiza conforme a la evaluación de 3 dimensiones: 1) el *output*, que hace referencia a la calidad del servicio en sí mismo, y se encuentra constituida por las expectativas del cliente; 2) los

Elementos del Sistema de *Servucción*, el cual se relaciona con la calidad global de los elementos de la servucción, ya que el cliente realiza una evaluación respecto a las experiencias y relaciones que genera directamente de su interacción con ellos, pudiendo expresarlos en dos vertientes, la primera relacionada con la calidad intrínseca de cada uno de los elementos por separado y en segundo lugar, la calidad y coherencia de las relaciones de los elementos en su totalidad; 3) el Proceso en sí mismo; ya que en efecto, las tres dimensiones son percibidas y adquiridas por el cliente, es decir, se relaciona al conjunto de interacciones necesarias para la fabricación del servicio, mismas que son expresadas por la fluidez y la facilidad de dichas interacciones, su eficacia y su secuencia, conforme al grado de adecuación de lo que los clientes buscan o esperan del servicio, lo cual se aplica al binomio de producto-servicio que es intrínseco a los negocios de restauración, en donde la variable clave de éxito puede estar relacionada a la vez con la calidad el producto (aspecto tangible) y con la calidad del servicio (aspecto intangible), sin efecto de dominación de uno sobre otro.

Se recalca el hecho de que hoy en día los establecimientos de restauración están experimentando un sinfín de retos, ya que en un escenario globalizado caracterizado por la constante competitividad, la apuesta por la calidad de los productos y/o servicios supone una ventaja competitiva difícil de superar, lo cual permite favorecer la imagen de la empresa y del servicio que los clientes transmiten a otros. Por ello, la importancia de ofrecer bienes y servicios de calidad es cada vez más necesaria y apremiante dadas las condiciones actuales del mercado, en consecuencia, los consumidores se muestran cada vez más exigentes y poseen una gran noción de lo que implica la calidad sobre un producto o servicio. Para poder cumplir con dichas expectativas, se han desarrollado numerosas

técnicas, modelos y herramientas que permiten evaluar y asegurar la calidad de los productos y/o servicios ofrecidos por una industria o sector en específico, a pesar de que en el caso de los servicios, esto implique un proceso aún más complejo, dada la naturaleza subjetiva que los caracteriza. Sin embargo, una de las herramientas que permite alcanzar el aseguramiento de la calidad de una empresa es a través de la capacitación constante y evolutiva.

La capacitación contribuye a aumentar el número de personas con los conocimientos específicos necesarios para trabajar y desarrollar las tareas asignadas dentro de una organización, puesto que la gestión del conocimiento, la especialización y la capacidad de investigación y desarrollo son claves para la competitividad de las empresas en cualquiera de sus funciones.

Los aspectos de la capacitación dentro de la industria restaurantera pueden incluir técnicas, habilidades, conocimientos, relaciones humanas, entre otros vinculados al servicio en restaurantes, lo que implica que un factor primordial es el de instruir y/o capacitar a los empleados de contacto (meseros) y a la gerencia del negocio para que puedan reconocer la importancia que representan los clientes para su empresa, ya que aquel capital humano que adquiera conocimientos y capacitación será capaz de brindar mejores soluciones a los problemas, incremento del nivel percibido en la calidad de los servicios, mayor satisfacción y fidelización del cliente, así como mejores resultados económicos a la organización.

5. Estrategia de Capacitación en el Restaurante

La capacitación es la principal recomendación concebida como un proceso continuo y un elemento cultural de una empresa, debe concebirse por todos los miembros de la organización como un apoyo indispensable para lograr el mejoramiento constante de los resultados. Asimismo, la capacitación debe actuar como un facilitador del cambio y del crecimiento individual que por ende, se verá reflejado en un desarrollo sólido de la empresa. Para reforzar estas perspectivas, la capacitación se debe enfocar a crear valores positivos y a establecer una cultura de productividad total enmarcada por la calidad (Siliceo, 2006).

Conforme con las investigaciones realizadas por Drummond (1990), la capacitación cumple con diversos propósitos, como los son los citados a continuación:

- Orientar al personal de nuevo ingreso en sus puestos y en la organización.
- Generar personal más calificado para puestos posteriores.
- Informar al personal acerca de cambios en la organización.
- Mejorar el desempeño del personal en sus puestos de trabajo actuales.
- Proporcionar oportunidades de desarrollo del personal.

De igual forma, Siliceo (2006) señala que otros de los propósitos a los que debe responder la capacitación son: crear, difundir, reforzar, mantener y actualizar la cultura y valores de la organización, clarificar, apoyar y consolidar los cambios organizacionales, elevar la calidad del desempeño y la resolución de problemas.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Es importante señalar que la capacitación se debe dar a tanto a los nuevos empleados como al personal con experiencia para así poder lograr un aumento de la productividad y elevar la calidad de la fuerza de trabajo.

En otro orden de ideas, Sikula y McKenna (1989) expresan que no todos los beneficios de la capacitación se reflejan en la organización, ya que a nivel personal, los empleados se benefician individualmente de experiencias educativas que le servirán para su desarrollo personal en el presente y en el futuro manteniéndose además, actualizados en cuanto a los avances y actualizaciones de su campo laboral.

En concordancia con Werther y Davis (1998), la capacitación a todos los niveles constituye una de las mejores inversiones en Recursos Humanos y una de las principales fuentes de bienestar para el personal y la organización que hace uso de la misma. Los principales beneficios que se desprenden de la implementar un programa de capacitación suelen dividirse en dos grandes grupos: beneficios generales y beneficios específicos. Los beneficios generales de la implementación de un programa de capacitación se ilustran en la Tabla 11.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Beneficios Generales de la Capacitación
Ayuda a mejorar las aptitudes y las actitudes.
Eleva los conocimientos de los ocupantes de los puestos en todos los niveles organizacionales.
Mejora la moral y la satisfacción de la fuerza de trabajo.
Guía al personal a identificarse con los objetivos de la organización.
Crea una mejor imagen tanto del personal como de la organización.
Mejora las relaciones entre jefes y subordinados.
Ayuda a sistematizar el trabajo.
Fluye de mejor manera la toma de decisiones y la solución de problemas.
Propicia el desarrollo y las promociones laborales.
Es la mejor herramienta para incrementar la productividad y la calidad.

Contribuye a mantener bajos los costos de operación en muchas áreas.
Favorece positivamente en el manejo de conflictos y tensiones.
Permite el establecimiento y logro de metas individuales.

Tabla 11: Beneficios Generales de la Capacitación.**Fuente:** Elaboración propia en base a Werther y Davis (1998).

Por otra parte y conforme a los anteriores autores, los beneficios específicos de la capacitación se subdividen a la vez en: beneficios a la organización y beneficios en el personal que la recibe. A continuación, se pueden observar detalladamente los beneficios de la capacitación para cada uno de los grupos.

Beneficios Específicos de la Capacitación		
A la Organización:	Al Personal Capacitado:	A las Relaciones Humanas, Relaciones Internas - Externas y Adopción de Políticas:
Conduce a rentabilidad más alta y a actitudes más positivas.	Ayuda al individuo para la toma de decisiones y solución de problemas	Mejora la comunicación entre grupos y entre individuos.
Mejora el conocimiento del puesto a todos los niveles.	Alimenta la confianza, la posición asertiva y el desarrollo.	Ayuda en la orientación de nuevos empleados.
Crea mejor imagen.	Contribuye positivamente en el manejo de conflictos y tensiones.	Proporciona información sobre disposiciones oficiales.
Mejora la relación jefes-subordinados.	Forja líderes y mejora las aptitudes comunicativas.	Hace viables las políticas de la organización.
Se promueve la comunicación a toda la organización.	Sube el nivel de satisfacción con el puesto.	Alienta la cohesión de grupos.
Reduce la tensión y permite el manejo de áreas de conflictos.	Permite el logro de metas individuales.	Proporciona una buena atmósfera para el aprendizaje.
Se agiliza la toma de decisiones y la solución de problemas.	Desarrolla un sentido de progreso en muchos campos.	Convierte a la empresa en un entorno de mejor calidad para trabajar.
Promueve el desarrollo con vistas a la promoción.	Elimina los temores a la incompetencia o la ignorancia individual.	
Contribuye a la formación de líderes y dirigentes.		

Tabla 12: Beneficios específicos de la Capacitación.**Fuente:** Elaboración propia en base a Werther y Davis (1998).

Los beneficios de la capacitación son extensos y pueden percibirse tanto para la organización en general, como de manera individual. Por ellos es que la función de la capacitación se inserta como parte integral de las empresas, tomando información del

entorno y del mismo centro laboral para poder cumplir con sus objetivos, así, la misión de la capacitación se manifiesta como un instrumento que enseña, desarrolla sistemáticamente y coloca en circunstancias de competencia a cualquier persona o colaborador de una empresa u organización.

En la actualidad, la capacitación es una respuesta a la imperante necesidad que tienen las empresas de contar con capital humano calificado, de alto rendimiento y eficaz. Una de las principales razones por las cuales la industria restaurantera se preocupa por formar y desarrollar a su personal, especialmente al personal de contacto con los clientes, es precisamente por mantener un competente nivel dentro de los estándares de calidad. Por medio de la formación y desarrollo del personal se logra actualizar el conocimiento, brindar nuevas técnicas y métodos de trabajo que garanticen la efectividad en la mejora de sus funciones, la estandarización en la prestación del servicio y la posibilidad de desarrollo personal y organizacional a corto, mediano y largo plazo.

Tal y como se ha expresado con detalle anteriormente, la calidad de los servicios en la industria restaurantera requiere de ser evaluada cuantitativamente, mediante la aplicación de un instrumento o modelo multidimensional que permitir al empresario “evaluar y mejorar la calidad de servicio percibida, por ello es que se señala que la comparación entre las expectativas generales de los clientes y sus percepciones respecto al servicio que brinda una organización, constituyen una medida de calidad del servicio, en donde la brecha existente entre ambas, muestra indicadores fiables para mejorar el desempeño del mismo.”

La función de la capacitación es fundamental para elevar la calidad y la productividad en las empresas, lo que permite estimular el logro de metas tanto del personal que labora en ella, como de la empresa misma (Rodríguez y Ramírez, 1991). Por ello, el ofrecer servicios restauranteros de calidad sólo puede lograrse con el empleo de gente capacitada, por lo que un proceso de capacitación se convierte en un punto fundamental en el desarrollo de la industria restaurantera y en la competitividad.

Por consiguiente, al hablar de capacitación en las empresas restauranteras se hace referencia al método o proceso mediante el cual, se busca obtener beneficios, puesto que para poder proporcionar capacitación debe existir una necesidad, una carencia o una mejora, mismas que se desprenderán de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo o herramienta de evaluación de la calidad de los servicios restauranteros desde la perspectiva de los clientes.

Cabe señalar que las empresas constituyen la principal fuente de formación laboral del personal que labora en ellas. Se ha calculado que dos tercios de la capacitación laboral que reciben los empleados se ofrecen en las empresas, esto acorde con lo expresado por Grados (2009). Dicho autor evidencia que la capacitación proporcionada por las empresas se efectúa a través de cursos estructurados (capacitación formal) o también a través de los superiores o compañeros en el mismo trabajo (capacitación informal), haciendo referencia ésta última como una característica propia de las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMES) restauranteras en México. En vista de esto, se ha podido comprobar que las empresas que capacitan a sus trabajadores generan niveles de valor agregado por trabajador, superiores en un 25% a las que no lo hacen, y que tanto las empresas como los empleados que se capacitan, poseen los más elevados niveles de retornos a la capacitación.

Por esta razón, se destaca que las empresas restauranteras tienen la responsabilidad de que el personal desarrolle habilidades específicas en las áreas de prestación de servicio, y para que este fin pueda cumplirse, se requiere de hacer uso de la capacitación a los empleados de contacto con los clientes.

Con relación al proceso de capacitación, diversos autores han abordado la temática, entre ellos destacan los estudios de Werther y Davis (1998); Valencia (2007); Chiavenato, Sacristán, Roa, Altamirano y Tepazano (2007); Grados (2009). Analizando los modelos de cada uno de los autores mencionados previamente, los cuales de alguna forma comparten una concepción generalizada y coinciden en cuanto a los pasos básicos del emprendimiento del proceso de capacitación, aunque con otros nombres, se optó por utilizar el modelo propuesto por Chiavenato et al. (2007), puesto que resulta más específico o preciso, a la par de que también es bastante sencillo de comprender.

Respecto al modelo seleccionado, resulta importante señalar que al estar haciendo referencia a un proceso concreto, el cual está íntimamente ligado a la mejora de las capacidades de desempeño de una organización, podemos ayudarnos de algunas de las herramientas diseñadas para gestión de la calidad o la mejora continua, tal y como es el caso del “Diagrama de *Shewhart*”, mejor conocido como el “Ciclo de Deming”, ya que se perfila que toda actividad sistematizada (en éste caso refiriéndonos al proceso de capacitación), debe basarse en los principios de planear, hacer, verificar y actuar, lo cual nos permitiría poder administrar las actividades que el mismo sugiere, con mayor efectividad. A su vez, el modelo propuesto por Chiavenato et al. (2007), ostenta similitudes con el ciclo de Deming. A continuación se ilustran las etapas del proceso de capacitación relacionadas con las actividades que sugiere la técnica de Deming, las cuales

estarán en función tanto del personal de contacto (meseros/mozos) y de la gerencia del restaurante.

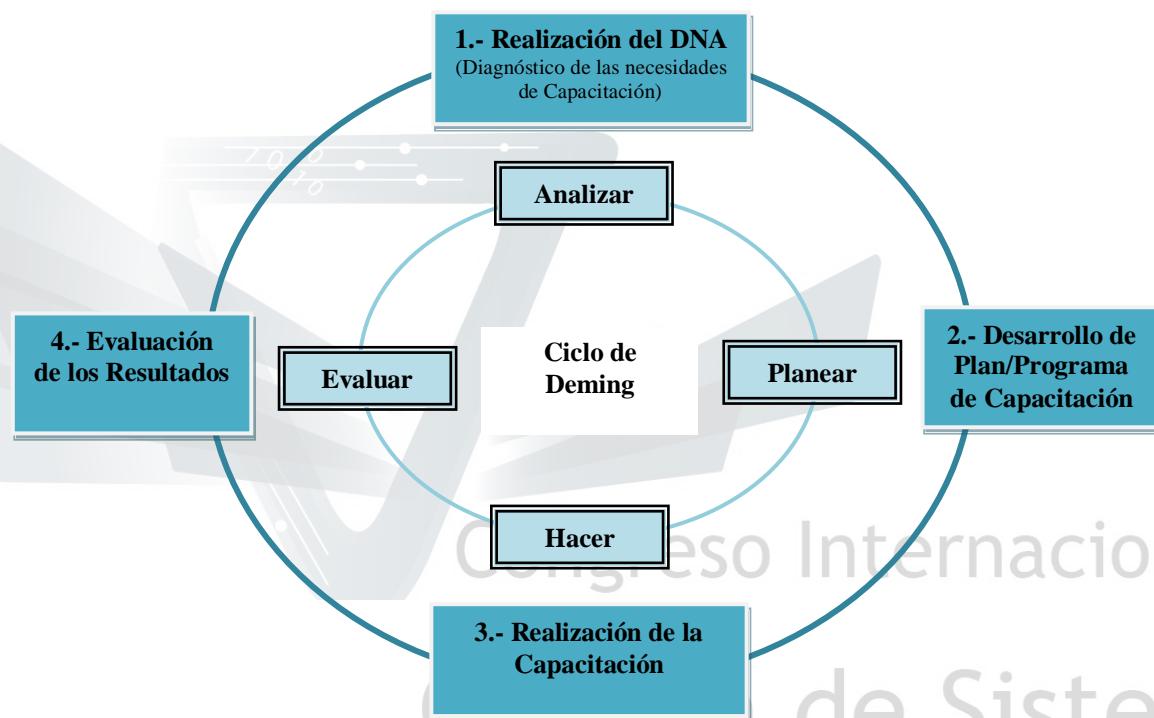


Ilustración 3: Etapas del Proceso de Capacitación.

Fuente: Elaboración propia y adaptación de Chiavenato *et al.* (2007).

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

De acuerdo con el modelo Chiavenato *et al.* (2007), las etapas principales por las cuales se realiza y atraviesa todo proceso de capacitación, son básicamente las siguientes descritas a continuación.

- 1) **Diagnóstico o Detección de las Necesidades de Capacitación (DNC).** Detectar o diagnosticar las necesidades de capacitación es el primer paso en el proceso de capacitación, ésta etapa contribuye a que la empresa no corra el riesgo de

equivocarse al ofrecer una capacitación inadecuada, lo cual redundaría en gastos innecesarios.

Respecto a éste primer paso, el **DNC** se determinará en base a los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa de la calidad percibida por los clientes del restaurante que es el estudio de caso de ésta investigación, a través del uso de la herramienta DINESERV modificada. Debe señalarse que los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa respecto a la calidad percibida de los servicios restauranteros de los “Los Fresnos”, primeramente serán comunicados a la gerencia del negocio, lo cual les permita tener una mayor comprensión y posteriormente, se facilite un proceso de colaboración para la realización de la siguiente etapa del proceso de capacitación.

2) **Desarrollo de planes y programas.** La segunda etapa del proceso de capacitación

se compone a su vez de cinco subprocessos, que son:

- a. Establecimiento de objetivos de la capacitación.
- b. Estructuración de contenidos de la capacitación.
- c. Diseño de actividades de instrucción.
- d. Selección de recursos didácticos.
- e. Diseño de un programa o curso de capacitación.

Con relación a esta particular etapa del proceso de capacitación, podemos señalar que se pretende que la gerencia del negocio se vea involucrada de manera sustancial en el desarrollo de la misma, ya que los resultados obtenidos y comunicados de la evaluación cuantitativa, darán precisamente pie, al desarrollo de ésta fundamental etapa, donde se pretendería, que en conjunto con la gerencia, se establezcan los objetivos, los contenidos, el diseño de las actividades y la disponibilidad de los recursos y horarios, para la planificación

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

y desarrollo del complejo proceso de elaborar el conveniente programa de capacitación a ejecutar.

Impartición o Ejecución del Programa de Capacitación. Prácticamente se refiere, tal y como su nombre lo indica, a la realización del programa o curso de capacitación, tal y como ha sido desarrollada y planeada. Esto implica realizar una serie de actividades que representan un buen porcentaje de las tareas del responsable de la administración de la capacitación en la empresa, una vez detectadas las necesidades de capacitación, desarrollados los cursos y elaborados los programas.

Con referencia a esta etapa, se procedería a corroborar las fechas, los horarios y las necesidades de recursos aprobados por la gerencia del negocio, para finalmente impartir el programa o curso de capacitación diseñado con anterioridad.

Determinación del Proceso de Evaluación de los Resultados. Desde que se diseña un programa de capacitación, debe quedar también establecida la forma de cómo se deberá verificar que los planes se hayan cumplido tales y como fueron planeados, por lo que se debe diseñar la forma en que se vayan a evaluar, tanto el proceso, como los resultados obtenidos.

Respecto al último paso, la forma de evaluar el proceso de capacitación requerirá del desarrollo de un instrumento que permita corroborar el grado de adopción de conocimientos por parte del personal del restaurante en cuestión (el personal de contacto con el cliente, es decir, los meseros/mozos). Con relación a la forma de evaluar los resultados obtenidos de la ejecución del programa de capacitación, se recurriría nuevamente a la aplicación de la herramienta DINESERV y SERVQUAL modificada, con el fin de verificar si los niveles de

calidad percibida por los clientes del negocio restaurantero “Los Fresnos”, han aumentado positivamente en todos aquellos aspectos y/o dimensiones que según los resultados, mantienen una brecha negativa, obviamente, con relación al personal de contacto (meseros/mozos) y a la gerencia del restaurante.

En definitiva, la importancia de la ejecución de un programa capacitación en el Restaurant Familiar “Los Fresnos” radicaría esencialmente en que el objetivo fundamental del despliegue de ésta compleja acción, respondería a la resolución de la problemática (o en su caso, puntos de mejora) que se reflejan en los indicadores de desempeño que proyectó la aplicación del modelo DINESERV y SERVQUAL modificado, a la par de efectuar una acción correctiva de manera inmediata, una vez detectadas las necesidades de capacitación.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

BIBLIOGRAFÍA.

- Andaleeb, S. S. y Conway C. (2006). Customer satisfaction in the restaurant industry: an examination of the transaction-specific model. *Journal of Services Marketing*. Vol. 20 (No. 1). P. 3-11.
- Barrington, M. N. y Olsen, M. D. (1987). Concept of service in the hospitality industry. *International Journal of Hospitality Management*. Vol. 6. P. 131-138.
- Bolton, R. N., y Drew, J. H. (1994). Linking customer satisfaction to service operations and outcomes. Service Quality: New directions in theory and practice. *Hospitality Research Journal*. P. 173-200.
- Chiavenato, I., Sacristán, P. M., Roa, M. D. C. H., Altamirano, F. S., y Tepezano, J. L. R. (2007). Administración de Recursos Humanos: El capital humano de las organizaciones. 8^a edición, Mc Graw-Hill, México.
- Dabholkar, P. A., Thorpe, D. I., Y Rentz, J. O. (1996). A measure of service quality for retail stores: scale development and validation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 24 (1), P. 3-16.
- Drummond, K. E. (1990). Human resource management for the hospitality industry. *Van Nostrand Publishing*.
- Dulen, J. (1999). Quality control. *Restaurant & Institutions*. Vol. 109 (No. 5). P. 38-52.
- Eigler, P., y Langeard, E. (1989). Servucción: El marketing de servicios. *Serie Management*. 1^{era} Edición en Español. Mc Graw Hill Editores. Madrid, España, Vol. 1.
- Grados E., J. (2009). Capacitación y desarrollo de personal. México. Trillas.

- Grönroos, C. (1978). A service-oriented approach to marketing for services. *European Journal of Marketing.*
- Grönroos, C. (1984). A service quality model and its marketing implications. *European Journal of Marketing.*
- Grönroos, C. (1990). Service Management and Marketing: Managing the Moments of Truth in Service Competition. Lexington, MA: Lexington Books.
- Grönroos, C. y Shostack, G. L. (1982). Strategic management and marketing in the service sector. Helsingfors: Swedish School of Economics and Business Administration.
- Hernández, S., R., Fernández, C., C. y Baptista, L., P. (2010). Metodología de la Investigación. 5ta. Edición. México: McGraw-Hill.
- Heung, V. C. S., Wong, M. Y. y Qu, H. (2000). Airport-restaurant service quality in Hong-Kong. Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly. P. 86-96.
- Jain, S. K. y Gupta, G. (2004). Measuring service quality: SERVQUAL vs. SERVPERF scales. *Vikalpa.* Vol. 29 (No. 2). P. 25-37.
- Keiser, T. C. (1988). Strategies for enhancing service quality. *Journal of Service Marketing,* 2, Summer, P. 65-70.
- Kotler, P., Bloom, P. N., y Hayes, T. J. (2004). El marketing de servicios profesionales/*The Marketing of Professional Services* (Vol. 100). Editorial Paidós.
- Lehtinen, U. y Lehtinen, J. R. (1982). Service Quality: A Study of Quality Dimensions. Helsinki: Service Management Institute.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. y Berry, L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for further research. *Journal of Marketing.*
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. y Berry, L. (1988). SERVQUAL: a multiple-item

scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*.

- Parasuraman, A., Zeithaml, V. y Berry, L. (1994). Alternative scales for measuring service quality: a comparative assessment based on psychometric and diagnostic criteria. *Journal of Retailing*.
- Rodríguez Estrada, M., y Ramírez-Buendia, P. (1992). Administración de la Capacitación. *Capacitación efectiva*. México: Editorial McGraw-Hill.
- Sikula, A. F., y McKenna, J. F. (1989). Administración de recursos humanos: conceptos prácticos. México: Editorial Limusa.
- Siliceo, A. (2006). Capacitación y desarrollo de personal. México: Editorial Limusa.
- Stevens, P., Knutson, B. y Patton, M. (1995). DINESERV: a tool for measuring service quality in restaurants. *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. *Journal of Retailing*.
- Susskind, A. M. y Chan, E. K. (2000). How restaurant features affect check averages: a study of the Toronto restaurant market. *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. Vol. 41 (No. 6). P. 56-63.
- Valencia, J. R. (2007). Administración moderna de personal. Cengage Learning Editores.
- Von Bertalanffy, L. (1968). General system theory: Foundations, development, applications. Revised Ed. New York: George Braziller.
- Werther Jr., W. B., y Davis, K. (1998). Administración de personal y recursos humanos, 3^a Edición. Editorial McGraw-Hill, P. 208.
- Wishna, V. (2000). Great expectations: The tastes of customers will become more diverse, more sophisticated-and harder to satisfy-than ever before. *Restaurant Business*, New York. Vol. 2. P. 27-37.

- Zeithaml, V. y Bitner, M. J. (2003). Services Marketing: Integrating customer focus across the firm. 3rd edition. New York: McGraw-Hill.
- Zeithaml, V., Parasuraman, A. y Berry, L. L. (1990). Delivering Service Quality. New York: The Free Press.



Calibración del Sensor Kinect.

Emmanuel Ortiz-López * , José Luis López-Ramírez ** y Mario Alberto Ibarra-Manzano ***

ABSTRACT

This paper presents a method for the stereo-calibration of the Kinect sensor. Since it is a particular vision stereo system, that has a VGA camera and infrared transceiver. The transceiver together with the integrated circuit of the company PrimeSense (PS1080) , delivers a depth image . This system compared to others, is relatively inexpensive. But has a major disadvantage, since there is no a calibration method. We presents a technique, which consists in creating an special calibration pattern then give a treat to the depth image, subsequently calculate its calibration parameters for each camera and finally obtain the stereo-calibration.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método para obtener la estéreo-calibración del sensor Kinect. Ya que es un sistema de estéreo visión particular, que cuenta con una cámara VGA y un emisor-receptor infrarrojo que junto con el circuito integrado PS1080 de la compañía PrimeSense, el cual entrega una imagen de profundidad. Este sistema en comparación con otros ,es relativamente económico. Pero presenta una desventaja importante, ya que no existen métodos de calibración. Se propone una técnica, la cual consiste en crear patrón de calibración especial, posteriormente, darle un tratamiento a la imagen de profundidad y así mismo obtener de manera clásica los parámetros de calibración simple para cada cámara y finalmente la estéreo-calibración.

Recibido: 1 Octubre 2013

Aceptado: 12 Octubre 2013

INTRODUCCION

Actualmente el estudio de la reconstrucción tridimensional. de objetos, escenas ,reconocimiento facial. Resulta de gran interés, debido a su amplia área de aplicaciones en las aéreas como: la medicina, topología, sistemas autónomos, aplicaciones de realidad aumentada entre otras más . En su mayoría estas aplicaciones se basan en sistemas de estéreo visión, sensores láseres ó combinación de sensores como por ejemplo una cámara con un sistema laser, como es el caso del sensor Kinect. En el año 2010, la empresa israelí PrimeSense se alió a Microsoft con el propósito de lanzar al mercado un nuevo control para videojuegos, conocido comercialmente como Kinect, este dispositivo permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola de videojuegos Xbox 360, sin tener algún contacto físico con algún dispositivo. Este concepto se conoce como: Interacción natural (NI por sus siglas en inglés). donde se utiliza la interacción del cuerpo humano y la voz (comunicación no verbal y verbal respectivamente), es decir la expresión natural del Humano con la Computadora (HCI por sus siglas en inglés).

KINECT.

El Kinect se compone de un Sistema de motor, Sistema de audio y un Sistema de visión.

Palabras clave:

Kinect; Triangulación; MATLAB; ROI; Agrupación; Calibración estéreo

Keywords:

Kinect;Triangulation; MATLAB; ROI; Cluster; Stereo Calibration

El sistema de visión es el encargado de la captura de dos imágenes y está compuesto por:

La cámara VGA, cuenta con un sensor Charge-Coupled Device (CCD), con una velocidad de actualización de 30 cuadros por segundo (FPS por sus siglas en inglés) , con una resolución espacial de 3mm en dirección x- y. Esta cámara es la encargada de la captura de las imágenes a color utilizando un filtro Bayer, en formato RGBG (Red, Green, Blue, Green).

*Universidad de Guanajuato

**Universidad de Guanajuato

***Universidad de Guanajuato



Figure 1 . Kinect y sus sistemas.



Figure 2 . Imagen RGB de la cámara VGA

El proyector infrarrojo utiliza un diodo laser con longitud de onda de 830 nm no modulado, con una salida constante. La potencia del proyector es 60mW aproximadamente, por lo tanto, está clasificado como un láser de clase II (No dañino para la retina del ojo humano).

La cámara de profundidad es un sensor monocromático de tecnología CMOS que tiene una velocidad de actualización de 30 FPS, y se encuentra comunicado por el protocolo de comunicación Inter-Integrated Circuit (I2C por sus siglas en inglés), al procesador PS1080, la imagen capturada por esta cámara está formato Ultra Extended Graphics Array (UXGA), con una resolución de 1600x1200 pixeles, también contiene un filtro pasa-banda a la longitud de onda emitida por el proyector infrarrojo. Lo que permite obtener una imagen con una resolución espacial para poder detectar los cambios en profundidad (de hasta 1 cm).

El par (Proyector infrarrojo -Cámara de profundidad), también se le conoce como "sensor de profundidad", el rango de operación de este es: 0.8m y 3.5m. Su funcionamiento solo es únicamente garantizado

para trabajar en ambientes interiores. Esto es debido a que la luz de día contiene, dentro de su espectro electromagnético, la frecuencia de operación del proyector infrarrojo, y la cámara de profundidad interpreta como ruido al recibirlo en los ambientes exteriores.

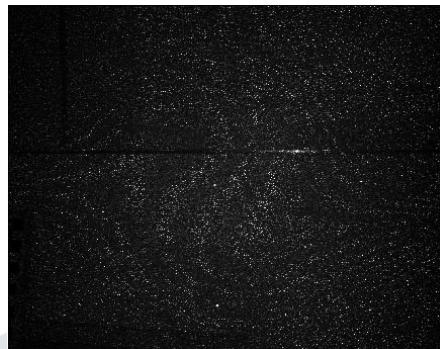


Figure 3 . Imagen Infrarroja

Imagen de profundidad

El fabricante del Kinect describe la medición de la profundidad como un proceso de triangulación [1]. El proyector infrarrojo emite un haz único que se divide en varios haces al pasar por una rejilla de difracción, para crear un patrón constante de puntos proyectados sobre la escena vease la figura ???. Este patrón es capturado por la cámara infrarroja y se correlaciona con otro patrón establecido como de referencia. El patrón de referencia se obtiene mediante la captura de un plano a una distancia conocida del sensor y se almacena en la memoria de este mismo.

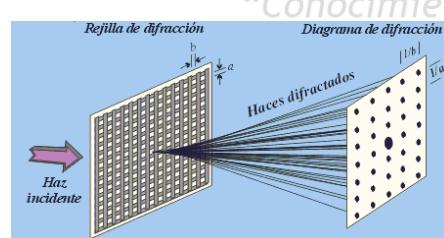


Figure 4 . Rejilla de difracción

La distancia que hay entre cada pixel de la imagen con respecto al sensor, puede ser extraída por medio de su disparidad correspondiente. La figura 5 a ilustra la medición de la profundidad de una escena, mientras que la figura 5 b muestra la imagen infrarroja, donde se puede apreciar el patrón de puntos proyectados.

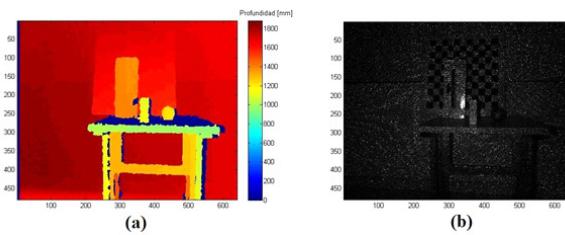


Figure 5 . I(a) Imagen de profundidad. (b) Patrón de puntos proyectados en una escena

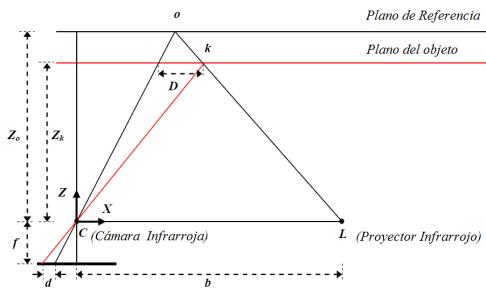


Figure 6 . Relación entre la profundidad relativa y la medición de la disparidad

En la figura 7 se muestra una imagen de profundidad generada por el sensor Kinect. En esta imagen todos los objetos son organizados en capas de diferentes tonalidades de gris de acuerdo con la distancia detectada con los pixeles en la cámara. Donde los niveles de grises marcan la distancia relativa a la que se encuentra el objeto, utilizando el “principio de triangulación”.

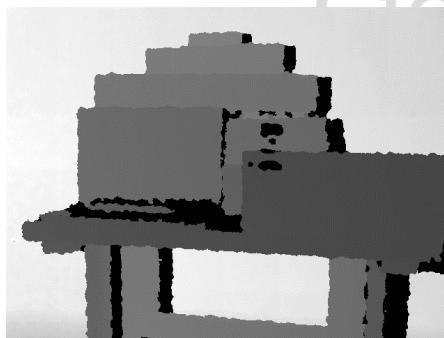


Figure 7 . Imagen de profundidad

Calibración de un sistema de visión.

La calibración es el proceso por el cual se determina la geometría interna de la cámara, que incluyendo sus características ópticas, la posición y orientación tridimensional, relativa a un sistema de coordenadas en el mundo real (también conocido como patrón de calibración) [2]. Por ello, la calibración es un procedimiento que trata de conocer como una cámara

proyecta un objeto en tres dimensiones (3D) en el plano imagen para poder extraer información métrica de las imágenes.

Patrón de calibración

El proceso de calibración de una cámara requiere de la toma de una secuencia de imágenes a un patrón en diferentes posiciones. En estas imágenes se seleccionan algunos puntos comunes de interés entre las diferentes tomas.

En la selección del patrón de calibración es importante conocer la naturaleza de las figuras contenidas en la imagen a tratar (imagen de color, profundidad o infrarroja), con ello es posible elegir sus características, que debe tener dicho patrón, a fin de ubicar los puntos de interés en su respectiva toma. Algunos patrones de calibración de cámaras utilizados frecuentemente son: tablero de ajedrez, patrones tridimensionales, patrón plano con diferentes círculos. En este trabajo se eligió el patrón tablero de ajedrez, utilizado de manera tradicional, eligiendo este patrón gracias a la simplicidad en la detección de los puntos de intersección, después de pasar por un filtro de bordes. Sin embargo, la precisión depende directamente del número de columnas y renglones con los que cuenta el tablero de ajedrez. Este patrón frecuentemente es impreso en papel y colocado sobre una superficie sólida y plana para darle rigidez.

Calibración simple

Esta calcula los parámetros intrínsecos de cada cámara (color y profundidad). Usamos el método de Tsai (Modelo Pin-Hole) [3]. Es un método tradicional , el cual ya dispone con un numero significante de herramientas prácticas hasta el momento , como lo es el Tool-box de Calibración en MATLAB, desarrollado por California Institute of Technology [4]. Los parámetros intrínsecos que obtenemos por medio de esta técnica nos permiten caracterizar internamente la cámara:

A continuación, se describen los parámetros intrínsecos obtenidos por la calibración simple.

- **Longitud focal (f)**: es la distancia a partir del centro óptico de la lente al plano imagen.
- **Centro óptico (u_0, v_0)**: denota la coordenada en pixeles de la intersección del eje óptico con el plano de la imagen, esto es aproximadamente el centro de la imagen.
- **Factores de escala (k_x, k_y)**: son los valores de cada pixel por unidad de longitud en las direcciones x e y. En caso de que el pixel sea cuadrado $k_x = k_y$.

- **Factor de distorsión θ :** es el factor que refleja la posible no ortogonalidad entre las filas y columnas de la imagen. En la práctica, el valor de este factor es muy cercano a $\frac{\pi}{2}$. Este parámetro es conocido en inglés como "skew factor".

Estéreo calibración

Una vez que se tienen los parámetros intrínsecos de ambas cámaras, se realiza la calibración estéreo y se obtienen los vectores de rotación y translación. A continuación se describen los parámetros estéreo.

- **Matriz de rotación:** describe el movimiento de cambio de orientación de un objeto o figura en una imagen A con respecto a un sistema de referencia, a otra imagen B con un nuevo sistema de referencia.
- **Vector de translación:** La translación es definida como el desplazamiento en el espacio euclíadiano por un vector XYZ tal que, a cada punto P de un objeto o figura en la imagen se traslada a otra posición en el espacio.

METODOLOGÍA

El patrón de tablero de ajedrez presenta un problema en la cámara de profundidad del sensor Kinect ya que la imagen que esta da es de profundidad, y los patrones tipo tablero de ajedrez clásicos, al ser planos y sin relieves, de este plano solo obtenemos puntos que definen la geometría de dicho patrón, y la orientación del patrón. Esto representa un problema debido a que no existen puntos de interés en esta imagen de profundidad con ese tipo de patrón.

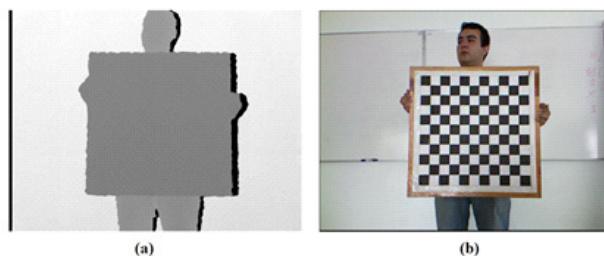


Figure 8 . (a) Imagen de profundidad del patrón de calibración clásico.
(b) Imagen en espacio RGB del patrón de calibración clásico.

Como se puede observar en la figura 8 a, no es posible detectar los bordes que existen dentro tablero de ajedrez, por otra parte, en la imagen a color se detectan fácilmente (ver figura 8 b). Con el fin de resolver este problema se realizó un patrón especial de calibración del mismo tipo, el cual está hecho de

tal forma que los cuadros negros del tablero se eliminaron dejando así el hueco entre cada cuadro (véase la figura 9)

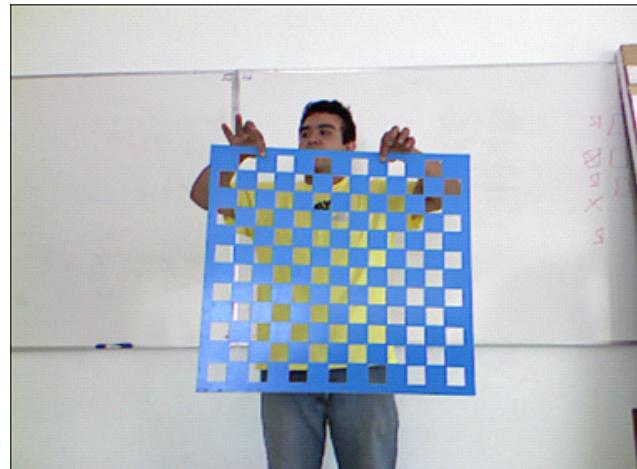


Figure 9 . Patrón de calibración propuesto

Para poder entonces realizar la calibración sencilla de la cámara de profundidad y encontrar sus parámetros, reconstruiremos el tablero de ajedrez tradicional y de esta forma emplear el método de calibración "pin hole".

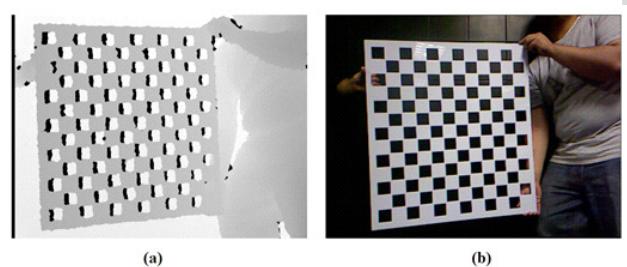


Figure 10 . (a) Imagen de profundidad del patrón de calibración utilizado.
(b) Imagen en color del patrón de calibración utilizado.

Para poder entonces realizar la calibración sencilla de la cámara de profundidad y encontrar sus parámetros, reconstruiremos el tablero de ajedrez tradicional y así poder usar el método pin hole.

DESCRIPCION DEL ALGORITMO

En la imagen de profundidad los cuadros no se encuentran completamente definidos, es aquí donde la razón de ser, del planteamiento de un algoritmo para el tratamiento de la imagen de profundidad y poder obtener de manera definida de los cuadros que conforman el patrón de calibración.

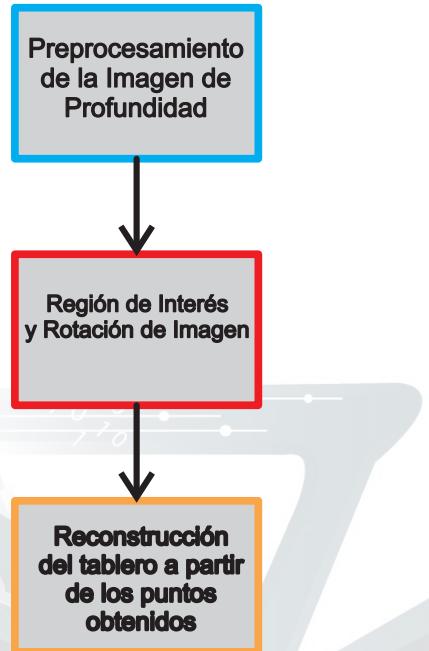


Figure 11 . Descripción del algoritmo

Preprocesamiento de la imagen

En la figura 12 se describe la etapa de preprocesamiento:

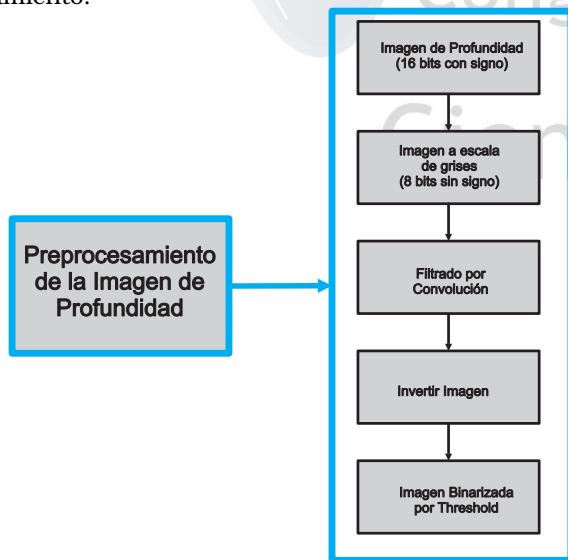


Figure 12 . Etapa de Preprocesamiento

La figura 12 describe el preprocesamiento de la imagen de profundidad, esta imagen sus pixeles son 16 bits con signo, para nuestro método se basa en distancias euclidianas por lo que primero tenemos que simplificar nuestra imagen para obtener solamente la posición de los cuadros perforados. Así que como

primer paso de la imagen de profundidad creamos una nueva imagen está en escala de grises que toma solo los 8 bits más significativos de los pixeles originales.

Aplicamos un filtro de convolución a la imagen de escala de grises, la razón es que nuestra imagen original debido a su naturaleza tenemos mucho ruido así que una manera de reducirlo es con la operación convolución de esta manera obtenemos una imagen más homogénea. Para resaltar mejor las zonas que corresponden a los huecos de los cuadrados se tiene que realizar una inversión de la imagen, es decir tomamos los valores complemento de cada pixel.

Para recalcar la diferencia entre los huecos y la superficie sólida del tablero es necesario convertir la imagen invertida a una imagen binarizada, esto se hace a través de un threshold que busca las zonas más brillantes de la imagen (en este caso serán nuestros huecos) y de estas obtiene su varianza y haciendo diferencias entre estas, obtenemos el valor de threshold óptimo. Una vez con la imagen binarizada es importante definir una región de interés (ROI) porque hay zonas fuera del tablero que pueden coincidir con objetos que podrían ser considerados los cuadros huecos del tablero, así como realizar una rotación que nos facilitara la reconstrucción del tablero, en esta etapa se muestra en la figura 13 y esta etapa es resuelta por un usuario a través de un GUI.

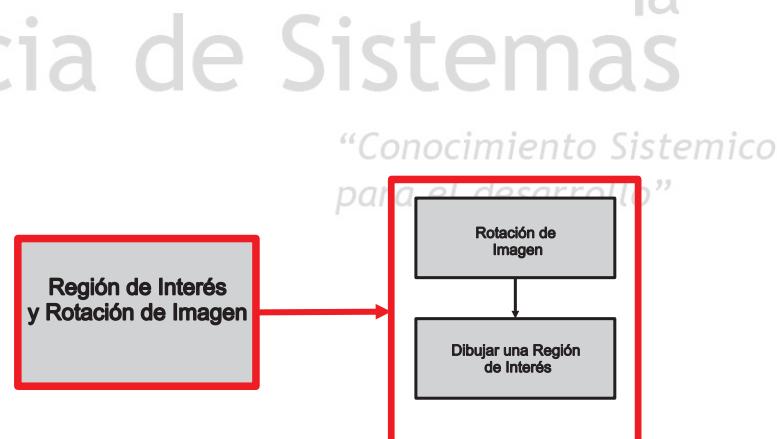


Figure 13 . Etapa de ROI y Rotación de la imagen

Reconstrucción del Patrón del Tablero de Ajedrez

En la figura 14 se describe la etapa de reconstrucción:

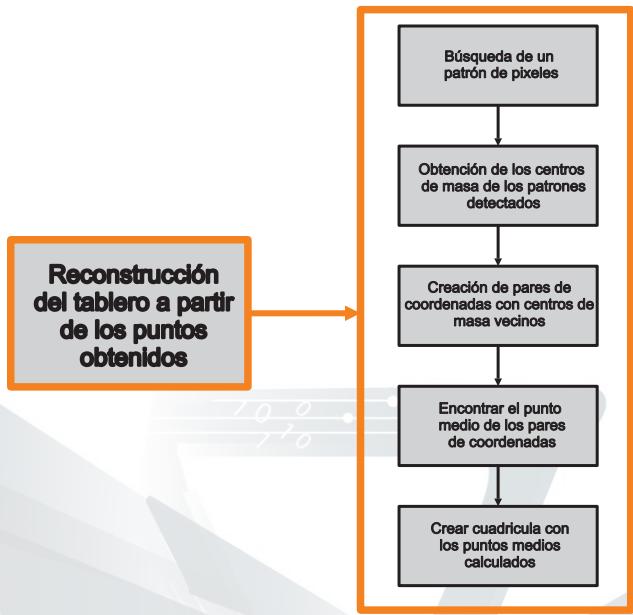


Figure 14 . Etapa de Reconstrucción

Para la iniciar la reconstrucción del tablero, con nuestra imagen ya binarizada, se busca un patrón, este será una muestra del conjunto de píxeles que corresponden a un hueco del tablero. Una vez encontrados todos los huecos, de estos obtenemos sus centroides.

Ya con los centroides, vamos a crear pares de coordenadas como se describe en la figura 15. La clave de la técnica de reconstrucción es la geometría, porque desde un principio en el tablero de ajedrez todos los cuadros son equiláteros, si trazamos una línea del centroide (x_0, y_0) a (x_4, y_4) en la figura 15. también muestra el punto medio de esa línea sería una de las esquinas del cuadrado, resaltado por los puntos amarillos. Así se recuperan cuatro puntos que nos permitirán reconstruir cuadrado a cuadrado.

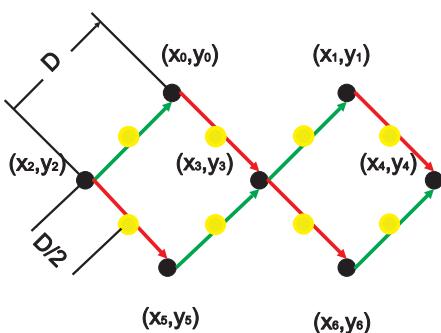


Figure 15 . Encontrando el punto de medio de un par de puntos

El hecho de tener una imagen binarizada nos permite calcular la distancia entre dos puntos de forma

euclíadiana, como se muestra en la ec. 1. Y su punto medio con solo calcular la distancia de un centroide a otro y dividirla entre dos (véase ec. 2).

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

$$D/2 = \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \right) / 2 \quad (2)$$

También la figura 15 describe como como crear los pares de centroides que nos permiten crear los puntos de los cuadrados, si tenemos los centroides y los vemos como una matriz, la selección de los pares lo describe el siguiente algoritmo:

$$\begin{bmatrix} (x_1, y_1) & (x_2, y_1) & \dots & (x_n, y_1) \\ (x_1, y_2) & (x_1, y_2) & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_1, y_m) & \dots & \dots & (x_n, y_m) \end{bmatrix}$$

(3)

$$(x_i, y_j) \longleftrightarrow (x_{i+1}, y_{j+1}) \text{ Ordenamiento descendiente} \quad (4)$$

$$(x_i, y_j) \longleftrightarrow (x_{i+1}, y_{j+1}) \text{ Ordenamiento ascendiente} \quad (5)$$

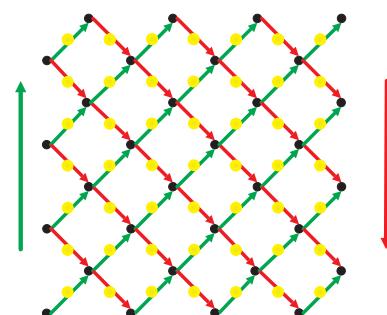


Figure 16 . Ordenamiento de todos los centroides encontrados

Ahora que tenemos los cuatro puntos de cada cuadrado en el tablero comenzaremos a dibujar el nuevo tablero como se muestra en la figura 17.

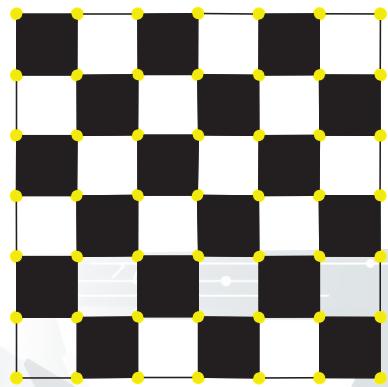


Figure 17 . Tablero reconstruido

En cuanto a cambiar las perspectivas del tablero de ajedrez, el modelo geométrico de trazar una línea de centroide a centroide y con su punto medio tener una esquina se sigue manteniendo, ya que la distancia se calcula entre cada par de centroides y no es una distancia general, aunado a que no importando las variaciones en perspectiva, los cuadrados siguen siendo cuadrados, así que podríamos seguir reconstruyendo el tablero a cualquier perspectiva de este, como se muestra en la figura 18.

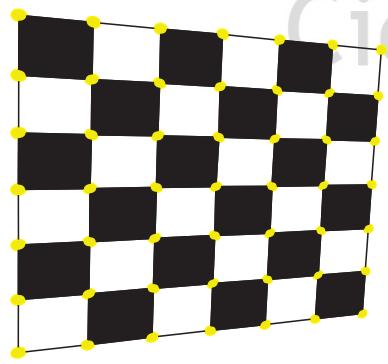


Figure 18 . Tablero reconstruido en distinta perspectiva

RESULTADOS

La experimentación y pruebas realizadas con el algoritmo propuesto requirieron varias tomas al patrón de calibración con diferente orientación. Primero mostraremos los resultados de la reconstrucción de varios tableros de ajedrez usando nuestro algoritmo y posteriormente se muestran los resultados de la calibración simple para la cámara de color y profundidad

de manera separada.

Reconstrucción del Patrón del Tablero de Ajedrez

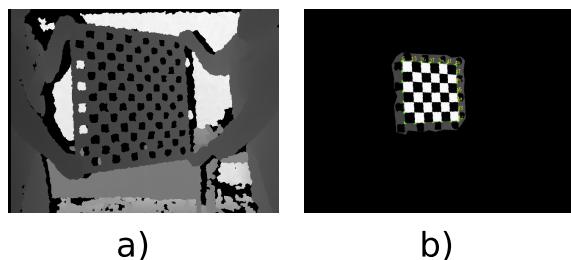


Figure 19 . Prueba de reconstrucción posición

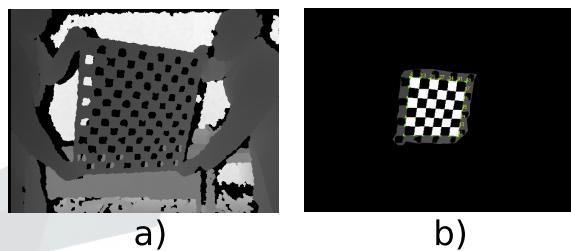


Figure 20 . Prueba de reconstrucción posición

Calibración simple para la cámara de color

En la figura 21 se muestran 9 imágenes con una resolución de 640x480 pixeles a 24 bits en formato RGB, las cuales se ingresaron al Tool-box de calibración de MATLAB. Cabe mencionar que la cámara de color se encuentra del lado derecho del sensor.

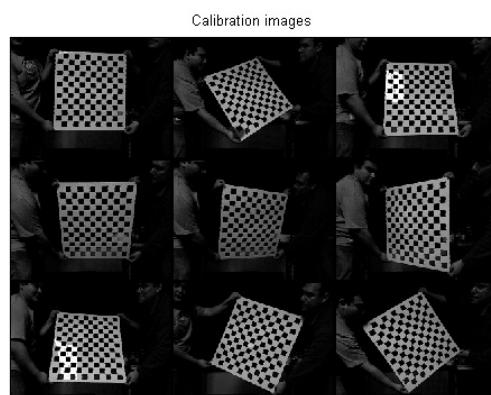


Figure 21 . Imágenes RGB usadas en el Tool-box

De estas imágenes, se obtuvieron los siguientes parámetros intrínsecos de la cámara de color:

Distancia focal: $f_c = [513.60792 \ 516.98013] \pm [42.99539 \ 44.15402]$

Centro óptico: $cc = [310.38283 \ 264.81435] \pm [26.73101 \ 36.28984]$

Factor de escala: $\alpha_{c} = [0.00000] \pm [0.00000]$
angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees

Factor de distorsión: $kc = [0 \ 0.78951 \ -7.99148 \ 0.02367 \ -0.02322 \ 0.00000] \pm [0.91581 \ 20.02877 \ 0.06812 \ 0.04250 \ 0.00000]$

Calibración simple para la cámara de profundidad

En la figura 22 son las correspondientes 9 imágenes de profundidad del tablero reconstruido las que se usan en el Tool-box.

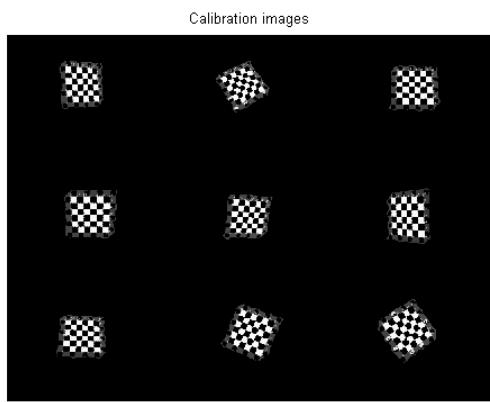


Figure 22 . Imágenes de profundidad con el tablero reconstrucción usadas en el Tool-box

Distancia focal: $fc = [554.91036 \ 561.05978] \pm [45.54453 \ 47.18503]$

Centro óptico: $cc = [298.31310 \ 270.80085] \pm [32.98209 \ 46.82844]$

Factor de escala: $\alpha_{c} = [0.00000] \pm [0.00000]$
angle of pixel axes = 90.00 ± 0.00 degrees

Factor de distorsión: $kc = [0.13708 \ -2.63880 \ 0.02175 \ -0.01765 \ 0.00000] \pm [0.66528 \ 7.69994 \ 0.04744 \ 0.02075 \ 0.00000]$

Estéreo calibración del sensor Kinect

Una vez que se tienen los parámetros intrínsecos de cada cámara se realiza la estéreo calibración de ambas cámaras para encontrar los parámetros extrínsecos vector de rotación y vector de translación).

Vector de rotación : $om = [-0.03674 \ -0.01771 \ -0.00585] \pm [0.08927 \ 0.06861 \ 0.00442]$

Vector de translación: $T = [24.55320 \ 1.43242 \ 42.03836] \pm [6.09861 \ 7.64318 \ 64.93159]$

PERSPECTIVAS

Este trabajo propone un algoritmo para la calibración indispensable para realizar aplicaciones posteriores como lo son reconstrucción 3D de ambientes, reconstrucción de objetos, segmentación de objetos, navegación visual de un robot entre otras aplicaciones más. Siendo así explotar al máximo los recursos con

los que cuenta el sensor Kinect ya que es una de las nuevas tecnologías que existen y es muy económica. El único problema que se presenta es que el uso de este sensor está limitado el uso en ambientes interiores ya que la luz de día contiene en su espectro electromagnético la frecuencia de luz infrarroja, a la cual trabaja la cámara de profundidad y el sensor al detectar la luz existente en el exterior la interpreta como ruido.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCES

- [1] Freedman, B., Shpunt, A., Machline, M., Arieli, Y., 2009. Depth mapping using projected patterns.
- [2] Marshall, A., Martin, R., 1992. Computer Vision, Models and Inspection. World Scientific series in robotics and automated systems. World Scientific. URL <http://books.google.com.mx/books?id=Q9C0MgEACAAJ>.
- [3] Tsai, R. Y., 1986. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision. In Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pages 364–374. Miami.
- [4] of Technology, C. I., 2013. Camera calibration toolbox for matlab,. URL http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/.
- [5] Primesense, 2013. Página oficial prime sense,. URL <http://primesense.com/en/company-profile>.
- [6] Allegro, 2013. A3906: Low voltage step-per and single/dual dc motor driver,. URL <http://www.allegromicro.com/Products/Motor-Driver-And-Interface-ICs/Brush-DC-Motor-Drivers/A3906.aspx>.
- [7] iFixit, 2013. Microsoft-kinect-teardown. URL <http://www.ifixit.com/Teardown/Microsoft-Kinect-Teardown/4066/2>.
- [8] Fraser, C., 1997. Digital camera self-calibration. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 52(4):149–159. URL [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2716\(97\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-2716(97)00005-1).
- [9] Raposo, C., Barreto, J. P., Nunes, U., 2013. Fast and accurate calibration of a kinect sensor. In 3DTV-Conference, 2013 International Conference on, pages 342–349.
- [10] Macknojia, R., Chavez-Aragon, A., Payeur, P., Laganiere, R., 2013. Calibration of a network of kinect sensors for robotic inspection over a large workspace. In Robot Vision (WORV), 2013 IEEE Workshop on, pages 184–190.
- [11] Draelos, M., Deshpande, N., Grant, E., 2012. The kinect up close: Adaptations for short-range imaging. In Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), 2012 IEEE Conference on, pages 251–256.
- [12] Draelos, M., Deshpande, N., Grant, E., 2012. The kinect up close: Adaptations for short-range imaging. In Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), 2012 IEEE Conference on, pages 251–256.

Development of a self-consistent method for the study of the Spin Transfer Torque effect a based on micromagnetics and a semiclassical transport theory

David Claudio-González*, André Thiaville** and Jacques Miltat**

ABSTRACT

We present a methodology to implement the numerical solution of the time-dependent semi-classical transport theory known as the Zhang and Li model (Phys. Rev. Lett. 93, 127204 (2004)) which explicitly takes into account spin diffusion. The self-consistent solution of this model along with the Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation which constitutes the basis of micromagnetics, allows us to study the Spin Transfer Torque (STT) effect in semi-infinite Ni₈₀Fe₂₀ nanowires with realistic width and thickness e.g. 300 nm × 5 nm. We confirm that in the numerical solution of a domain wall (DW) reaching a steady velocity, the final velocity value depends on the non adiabatic constant β and the spin drift velocity u . The use of both models with realistic time scales for spin-flip and s-d interaction constitutes a new tool for studying domain wall dynamics at greater detail albeit at the expense of much longer simulation times due to a increased need of computational power.

RESUMEN

Se presenta una metodología para implementar la solución numérica de la teoría de transporte semicásico con dependencia en el tiempo conocida como el modelo de Zhang y Li (Phys. Rev. Lett. 93, 127204 (2004)) que considera de manera explícita la difusión de espines. La solución consistentemente simultánea de este modelo junto con la ecuación Landau-Lifshitz-Gilber (LLG) que constituye la base del micromagnetismo, nos permite estudiar el efecto de la Transferencia de Torque de Espines (STT por sus siglas en inglés) en nanoalambres semiinfinitos de Ni₈₀Fe₂₀ con valores realistas de ancho y espesor e.g 300 nm × 5 nm. Se confirma que en la solución numérica de una pared de dominio (DW por sus siglas en inglés) que alcanza una velocidad constante, el valor de la velocidad final depende de la constante de no adiabaticidad β y la velocidad de deriva de los espines u . El uso de ambos modelos con valores realistas para las interacciones de inversión de espín y s-d constituye una nueva herramienta para estudiar la dinámica de las paredes de dominio con un mayor detalle a costa de tiempos de simulación más largos debido a la necesidad de mayor poder computacional.

INTRODUCTION

The use of spin polarized currents to control domain walls (DWs) in specific geometries such as nanowires has been the subject of several theoretical [1, 2] and experimental studies because of their potential technological applications as logic [3] and storage [4] devices. The status that micromagnetism has achieved as a tool to provide qualitative insight into experimental results, makes desirable its expansion to account for effects which arise from transport mechanisms involving spin polarized currents.

Experimentally, it has been observed that spin polarized currents cause not only a displacement of DWs but also a modification of their configuration[5, 6]. The experimental measurement of two of the quantities that define the coefficient of the non adiabatic component, the so-called β term, makes possible the use of spin diffusive models to analyze and study the dynamics of domain walls (DWs).

Palabras clave:

Transferencia de Torque de Espines; Ecuación de Landau Lifshitz Gilbert, NiFe, Permaloy, Nanoalambres, Micromagnetismo, Diferencias Finitas

Keywords:

Spin Transfer Torque; Landau Liftshitz Gilbert equation, NiFe, Permalloy, Nanowires, Micromagnetics, Finite Differences

The non adiabatic coefficient is defined as the ratio of the s-d interaction time τ_{sd} [7, 8] and the spin-flip rate τ_{sf} [9], and has been used to model Spin Transfer Torque (STT) effects in ferromagnetic nanowires. In particular, nanowires of Ni₈₀Fe₂₀[10].

Several models have been proposed to explain effects of DW dynamics arising from transport of spin polarized currents, i.e. the Spin Transfer Torque (STT) effect. For instance, Zhang and Li proposed a diffusive model in which spin currents flow in the plane and cause the arising of a non adiabatic torque due to the spatial mistracking between conduction electrons and local magnetization[7], other models such as the one from Tserkovnyak et al. [11] proposed a phenomenological dissipative spin diffusive term associated with a transverse spin conductivity. Waintal and Viret [12] proposed a distortion of the DW induced by a spin current flowing ballistically through the wall. Wessely et al. [13] proposed the arising of an out-of-plane and non-adiabatic torque caused by spin currents in the ballistic limit neglecting spin orbit coupling. Other models have used semiclassical approaches to account for equilibrium and out-of-equilibrium situations, and different sources of scattering[14]. More recently, Manchon and Zhang [15] proposed a combined effect of spin-orbit coupling and exchange interaction that gives rise to a transverse spin density that exerts a torque on the local magnetization.

In this report we will only focus on the Zhang and Li model due to its similarity with the Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation [16] whose numerical implementation is already well understood and constitutes the basis for micromagnetics [17]. Basic DW configurations such as the so-called vortex (VW) and asymmetric transverse walls (ATW) have been successfully modeled within the framework of micromagnetism. In some cases, the extension of the adiabatic approximation with the incorporation of a non adiabatic term, has resulted in a good qualitative agreement between experiments and simulations [10, 18].

EXPERIMENTAL

We start by considering the model for time-dependent semiclassical transport theory proposed by Zhang and Li [7] which can be written as:

$$\frac{\partial \delta\mathbf{m}}{\partial t} = D\nabla^2\delta\mathbf{m} - \frac{1}{\tau_{sd}}\delta\mathbf{m} \times \mathbf{m} - \frac{1}{\tau_{sf}}\delta\mathbf{m} + u\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial x} \quad (1)$$

Where $\delta\mathbf{m}$ is the out-of-equilibrium spin accumulation, D is a diffusion constant, \mathbf{m} is magnetization, τ_{sd} is the time for the s – d exchange interaction, τ_{sf} is the spin-flip time and u is the spin drift velocity. Before committing to a numerical solution, we performed an analysis of the possible solutions for some

limiting cases. The simplest limiting case for Eq. 1, is equivalent to an homogeneous magnetization i.e. a single domain. Assuming that $\delta\mathbf{m}$ does not vary with time, the spectrum of solutions is simply given by the eigenfunctions of the right hand side of Eq. 1, if it is regarded as an operator. One of the eigenfunctions has the form of $\exp(\pm x/l_{sf})$ for $\pm x$, where l_{sf} can be linked to the spin diffusion length which has been already measured experimentally for various materials [9]. The other two eigenfunctions are a conjugate of the form $\exp(aj)[\cos(bj) + i\sin(bj)]$ where $a \equiv 1/\sqrt{2}(l_{sf}^{-4} + l_{sd}^{-4})^{1/2}$, $b \equiv \pm 1/(l_{sd}^2\sqrt{2})[(l_{sf}^{-4} + l_{sd}^{-4})^{1/2} + l_{sf}^{-1/2}]^{1/2}$, j indicates y or z components. l_{sd} can be linked to the transversal spin component of the spin accumulation which has also been measured experimentally [8]. The physical depiction of these solutions would be the precession and decaying of the non equilibrium spin density as one would expect.

Another limiting case is given by an infinite magnetization spiral configuration. After inputting such a configuration into Eq. 1 , one can algebraically eliminate the angular dependencies to arrive at the following equation which consists of only characteristics lengths:

$$\begin{bmatrix} k^2 - 1/\Delta^2 - 1/l_{sf}^2 & 2k/\Delta & 0 \\ 2k/\Delta & k^2 - 1/\Delta^2 - 1/l_{sf}^2 & -1/l_{sd} \\ 0 & 1/l_{sd}^2 & k^2 - 1/l_{sf}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta m_x \\ \delta m_y \\ \delta m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Here Δ is the pitch length of the magnetization spiral, and $k \equiv 1/l_{sf}^2 \pm i/l_{sd}^2$. An Argand diagram of k^2 for various spin diffusion values l_{sf} is presented in Fig. 1a and $l_{sd} = 2$ nm. Eq. 1 is much more complex than the previous one, such that an analisys of its spectrum is not possible. However, one can still extract a few of characteristics. For instance, as the spiral pitch length Δ tends to infinity, we observe that the main diagonal elements of Eq. 2 become purely imaginary. For numerical stability purposes is very important that the real terms constitute the dominating terms, otherwise we would face the risk of having diverging solutions that would make troublesome the numerical solution of the Eq. 1.

Furthermore, Fig. 1b illustrates the big variations that can be expected from the numerical solution of non equilibrium spin density when both the spin diffusion length l_{sf} and the length of the spiral pitch Δ , which can be associated with the smallest feature of the DW, are comparable. This is highlighted by the dashed area. Although the above analysis did not lead us to conclusive evidence about the stability of the Eq. 1. Nonetheless, it hints the possible existence of new phenomena when characteristics length scales such

as l_{sf} , l_{sd} , and Δ become comparable.

In order to numerically solve Eq. 1 within the framework of finite differences (FD) we start with the micromagnetically converged solutions of the two possible DW configurations: Asymmetric Transverse Wall (ATW) and Vortex Wall (VW). Both DWs were simulated for semi infinite nanowires using a grid with dimensions 1200 (l) x 300 (w) x 5 (h) nm³ and two cell sizes of 5 x 5 x 5 nm³ and 3 x 3 x 3 nm³ for comparison purposes. Due to the fact that $\delta\mathbf{m}$ is in spin space, we need to convert it to the spatial axis of the magnetization. This can be accomplished by projecting the spatial source term of Eq. 1 (i.e. $u\partial\mathbf{m}/\partial t$) using $-\mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times u\partial\mathbf{m}/\partial t)$. Such a calculation provides the desired results because \mathbf{m} is a unitary vector (i.e. $|m|^2 = 1$).

By using a simple Runge-Kutta 4th order integrator we were able to obtain $\delta\mathbf{m}$ at $t = \infty$. The starting point for our calculations were the micromagnetically converged DW configurations shown in 2a. Both ATW and VW are the most energetically favourable DW configurations in nanowires with the above dimensions [18]. Because the local solution to the non equilibrium spin accumulation is already known[19], we used it as a reference point to assess the validity of the new results produced by Eq. 1. The local solution does not include any spin diffusion effects but also gives rise to the spin transfer torque effect (STT). The usefulness of analyzing the δm_z component here, is because it gives rise to the adiabatic torque in the case of an ATW. The separation of adiabatic or non adiabatic torque components depends on the DW configuration. In the case of a VW this separation is not longer that simple.

Several simulations were performed using different integrators and the results obtained were compared against the local solution. The evolution of δm_z for a single cell of the calculation box corresponding to $x = 600$ nm and $y = 150$ nm (center) is shown in Fig. 2b. We were able to confirm that the results obtained with our integrator are in agreement with previously known solutions. In this DW configuration, the δm_z component can be associated with the component of the adiabatic torque. In Figs. 2c and d, we illustrate the integration of Eq. 1 for various spin diffusion values $D = 1 \times 10^{-12}$, 1, and 10 nm²/ps. We can readily observe, that as spin diffusion increases the solution predicted by Eq 1 becomes significantly different from the values predicted by the local solution. This is important because it shows how spin diffusion can in principle give rise to different DW dynamics with respect to the dynamics obtained until now from the local solutions of Eq. 1 and related models [7, 18, 19]. Once we have a working numerical scheme to solve Eq. 1. We can use it, along with the well established methods for performing micromagnetic simu-

lations [17], to solve self-consistently for any domain wall configuration. The non equilibrium spin density gives rise to a spin torque which acts on the magnetization and is defined as $\mathbf{T} = -1/\tau_{sd}\mathbf{m} \times \delta\mathbf{m}$. \mathbf{T} can then be integrated into the classical LLG equation as follows:

$$\frac{\partial\mathbf{m}}{\partial t} = \gamma_0(\mathbf{m} \times \mathbf{H}_{eff}) + \alpha \left[\mathbf{m} \times \frac{\partial\mathbf{m}}{\partial t} \right] - \mathbf{T} \quad (3)$$

where γ_0 is the gyromagnetic ratio, \mathbf{H}_{eff} is the effective field that contains the effects of the several interactions such as exchange, anisotropy, magnetostatic, etc. and α is a phenomenological damping constant. The strategy devised to self-consistently solve both Eqs. 3 and 1 consists of running two Runge-Kutta integrators. One for $\delta\mathbf{m}$ and the other for \mathbf{m} , once a single time step is computed for the former, the integrated solution of $\delta\mathbf{m}$ becomes part of the input for the integrating \mathbf{m} . In the following iteration, the updated solution of \mathbf{m} becomes the input for the next step of the $\delta\mathbf{m}$ integrator, and so forth. Both integrators share the same time step of $\Delta t = 50$ fs.

The set of values for running a LLG simulation plus the Zhang-Li model must be known for a particular material and they are usually obtained from experimental data. This is of great importance in order to obtain experimentally meaningful results. The above methodology allowed us to perform simulations using the parameters associated with Ni₈₀Fe₂₀: Magnetization density $M_s = 8 \times 10^5$ A/m, anisotropy $K = 0$, exchange constant $A = 10^{11}$ J/m, gyromagnetic ratio 2.21×10^5 m/(As), and damping factor $\alpha = 0.02$ [20]. With regard to the parameters required to solve $\delta\mathbf{m}$, we can simply define the spin drift velocity u . This parameter abstracts important transport parameters such as current density J and spin polarization P which depend on the experimental setup and the material of the samples, respectively. We performed simulations for spin drift velocity values $u = 1$, and 10 m/s which allowed us to remain below the Walker regime [19]. Various combinations of τ_{sd} and τ_{sf} parameters can be used to produce different coefficients of the non adiabatic STT which is defined as $\beta = \tau_{sd}/\tau_{sf}$. In this preliminary study we assume that the spin diffusion constant has a value of $D = 1$ nm²/ps. This implies that both τ_{sf} and τ_{sd} are of the order of 10^{-12} s.

Finally, the use of moving boundary conditions was necessary in order to simulate the DW motion over the long distances which appear in experimental samples. These conditions were implemented by computing the position of the center of the DW from the net magnetization of calculation box. With the monitoring of the DW center at every time step, we know when the DW center moves beyond a given threshold. In our case, such a threshold corresponds to the length of a single cell. When the DW center moves by a distance greater

than the length of one cell, the DW is shifted back to the center of the calculation box.

RESULTS AND DISCUSSION

We present the characteristic dynamics of ATW and VW in Figs 3a and b, respectively. Parameters for both types of DW are spin drift diffusion $u = 1$ m/s and $\beta = 0.16$ which is defined by τ_{sf} and τ_{sd} with values of 25 and 4 ps, respectively. From these two plots we can observe how the DW dynamics strongly depends on its type. Similar plots can be obtained for any value desired for β . We observe that the time it takes to the DW to reach a steady velocity, is much shorter in an ATW than in a VW. In the case of the former the time is < 5 ns, whereas in the latter is > 100 ns. In Fig 3 c we show a comparison at the beginning of simulations of VW using the spin diffusive model (Eq. 1, Top) and the local solution (i.e. non diffusive, Bottom). The latter can be obtained either by using a diffusion constant $D = 0$ in Eq. 1 or the methods discussed elsewhere [19]. The same is shown in Fig. 3d but at $t = 20$ ns. We can readily observe that the solution obtained with Eq 1 leads to different dynamics if compared with the local solution. In this case the DW velocity of a VW with spin diffusion is slightly higher than the local solution. The value of the expected DW steady velocities can be approximated with the dependence deduced by Zhang and Li. [7], however the differences which are due to spin diffusion must be also be taken into account. An extensive analysis of the origin of the higher steady velocities observe with diffusion for different β values is already under way.

The fact that VWs take longer to reach their steady velocity has implications in the run times required to perform simulations of this type of wall. According to our experience, the combination of our code and the set of parameters referred throughout this paper is able to produce in average 2 ns /day, using dedicated computing equipment e.g. workstations and clusters. This becomes an issue when more detailed simulations of VW are needed and constitutes an obstacle for carrying out more extensive studies of VW

dynamics. For instance, the time needed to complete a VW simulation of the order of 50 ns can easily take several weeks, therefore the use of new computational paradigms could be explored to reduce the incredibly long times required to obtain meaningful results from simulations in a timely manner.

CONCLUSIONS

We have provided a self-consistent FD method to incorporate transport effects to micromagnetics simulation code. This methodology has been successfully applied to simulate the STT effect in $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ nanowires. We have shown that previous results of the DW dynamics based on non diffusive or local solutions are reproduced with the model proposed by Zhang and Li. Moreover, new dynamics have been observed when spin diffusion is taken into account. For example, STT with spin diffusion makes the velocity of a VW significantly higher before it reaches a steady velocity. A link with experimental conditions such as the current density J and spin polarization P can be easily accounted for simply by establishing the spin drift velocity value of u . Our methodology can be used to expand already established micromagnetics tools since its based in the same FD approach and uses the same numerical methods. Although this methodology is easy to understand and implement, it requires dedicated computing equipment and take long times. In some case this might result impractical for timely explaining an experimental result. More effort should be put into computational approaches such as high performance computing (HPC) or Graphics Cards-based Computing (GPU) in order to speed-up current simulation run times.

ACKNOWLEDGEMENTS

D.C.G. acknowledges support from the Mexican Ministry of Education (SEP-PROMEP) UGTO-PTC-180, the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT-169539) and the Council for Science and Technology of the State of Guanajuato, Mexico (GTO-2012-C04-193904).

*“Conocimiento Sistémico
para el desarrollo”*

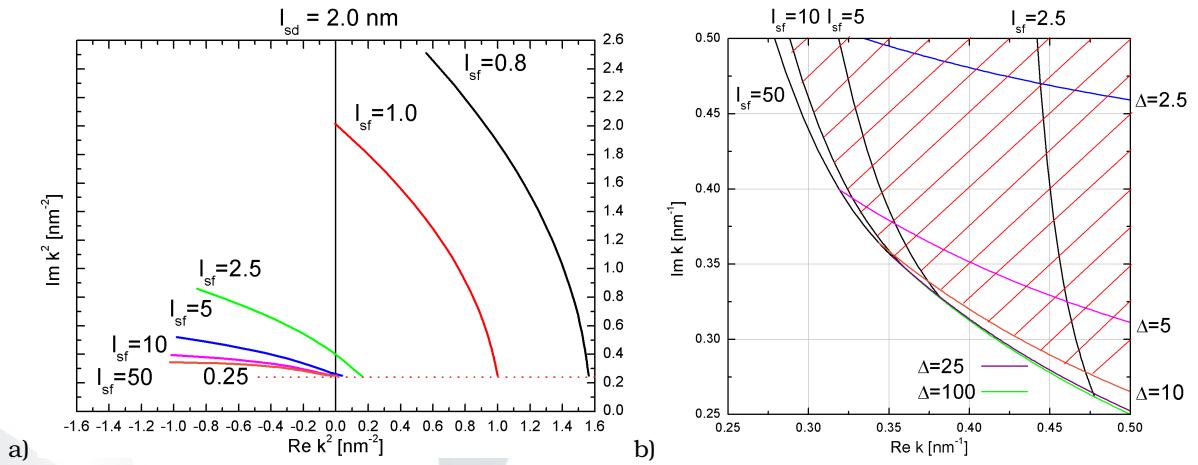


Figure 1 . a) Diagram of the behavior of the k^2 terms which drive the solutions of the Zhang and Li model in the case of an infinite spiral of magnetization for different spin diffusion lengths l_{sf} . In these plots, the length of transverse spin component was set to $l_{sd} = 2.0 \text{ nm}$ and as Δ tends to infinite the main diagonal elements of Eq. 2 are purely imaginary and given by i/l_{sd}^2 . b) Argand diagram of k for various Δ and l_{sf} values and l_{sd} set to $\sqrt{2}$. We can notice that big variations, indicated by the dashed area, can be expected when both the spin diffusion length l_{sf} and the length of the spiral pitch Δ (i.e. domain wall width) are comparable.

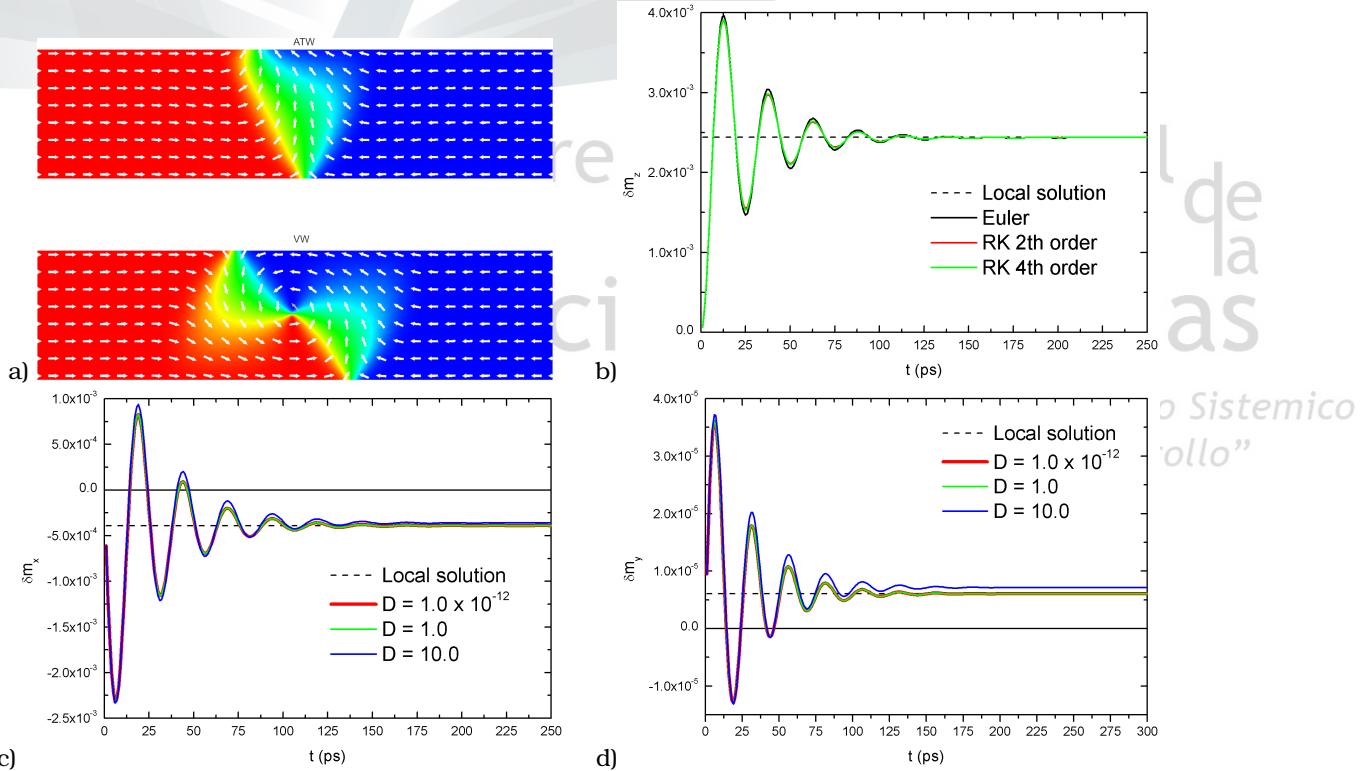


Figure 2 . a) Magnetization plots of Asymmetric Transverse and Vortex Walls obtained with micromagnetic which serve as inputs for the solution of Eq. 1. b) Comparison between different integration methods used to solve Eq. 1 in an ATW. c, d) Time integration of δm_x and δm_y components for an arbitrary cell of an ATW configuration using diffusion constants $D = 1 \times 10^{-12}$, 1, and 10.

REFERENCES

- [1] Slonczewski, J. C., 1996. Current-driven excitation of magnetic multilayers. *J. Magn. Magn. Mater.* 159:L1.

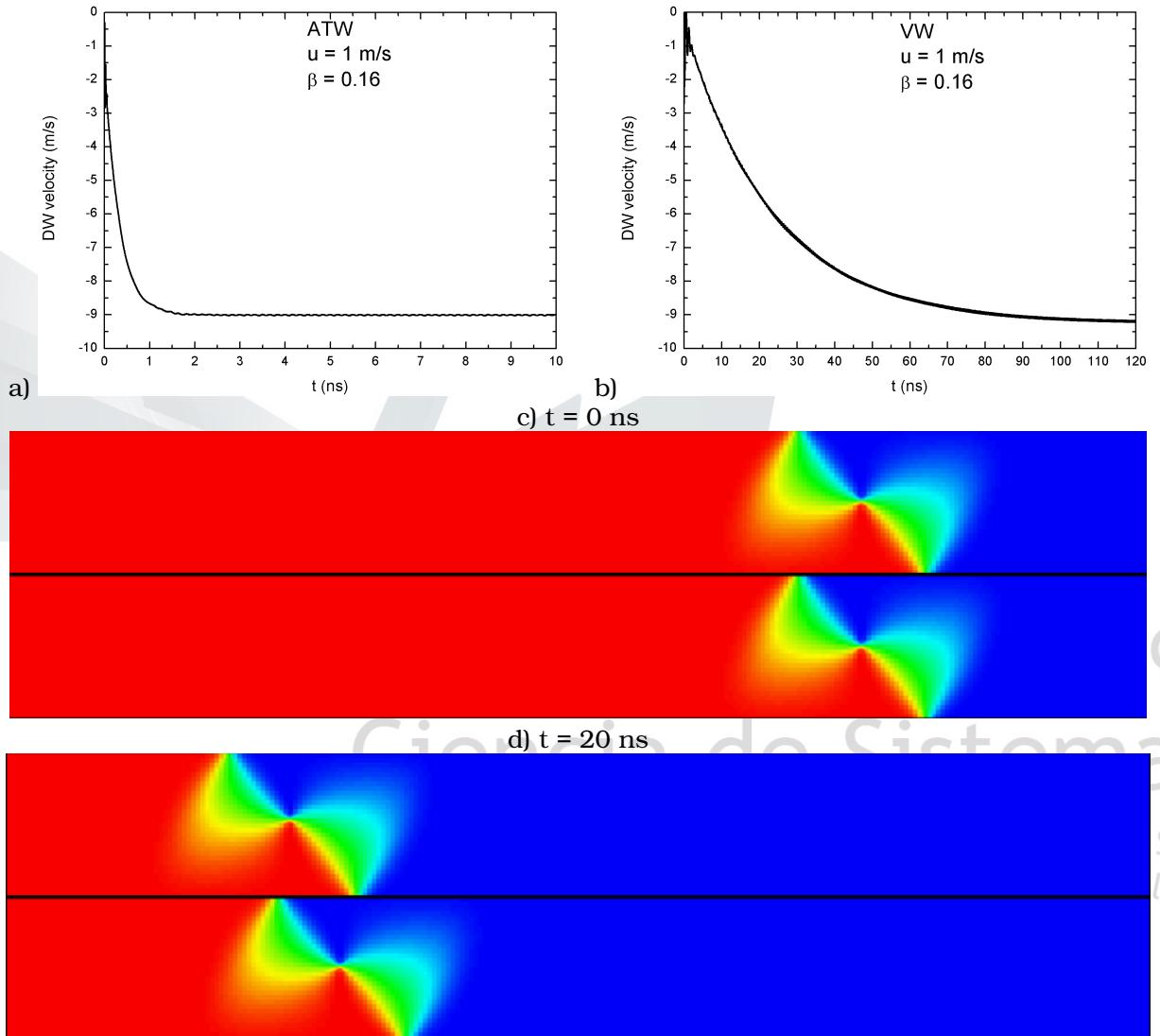


Figure 3

a, b) Comparison of DW velocity vs time for ATW and VW configurations, respectively. Transport parameters are as displayed and a spin-flip time of $\tau_{sf} = 25 \text{ ps}$. The time required in a VW to reach a steady velocity is significantly longer than in an ATW, this translates into much longer simulation run times. c) Snapshot at $t = 0$ of two STT simulations, the one incorporating spin diffusion (Eq. 1) is shown at the top. The local solution (non diffusive) is shown at the bottom. Simulation parameters are $u = 10 \text{ m/s}$ and $\beta = 0.04$ with $\tau_{sf} = 25 \text{ ps}$. d) Same as in c) at $t = 20 \text{ ns}$. According to the spin diffusive model the VW should move faster than the velocity predicted by the local solution. Color indicate value of m_x , red corresponds to +1.0 and blue to -1.0. A comparison of the VW dynamics for parameters $u = 10 \text{ m/s}$ and β values of 0.16, 0.08, and 0.04 (top, middle, and bottom) with a duration of 35 ns is also available.

- [2] Berger, L., 1996. Emission of spin waves by a magnetic multilayer traversed by a current. *Phys. Rev. B* 54:9353.
- [3] Allwood, D. A., Xiong, G., Faulkner, C. C., Atkinson, D., Petit, D., Cowburn, R. P., 2005. Magnetic Domain-Wall Logic. *Science* 309(5741):1688--1692.
- [4] Hayashi, M., Thomas, L., Moriya, R., Rettner, C., Parkin, S. P., 2008. Current-controlled magnetic domain-wall nanowire shift register. *Science* 320(5873):209--11.
- [5] Meier, G., Bolte, M., Eiselt, R., Kruüger, B., Dong-Hyun, K., Fischer, P., 2007. Direct imaging of stochastic domain-wall motion driven by nanosecond current pulses. *Phys. Rev. Lett.* 98(18):187202.
- [6] Kläui, M., Jubert, P.-O., Allenspach, R., Bischof, A., Bland, J. A. C., Faini, G., Rüdiger, U., Vaz, C. A. F., Vila, L., Vouille, C., 2005. Direct observation of domain-wall configurations transformed by spin currents. *Phys. Rev. Lett.* 95(2):026601.
- [7] Zhang, S., Li, Z., 2004. Roles of Nonequilibrium Conduction Electrons on the Magnetization Dynamics of Ferromagnets. *Phys. Rev. Lett.* 93(12):127204.
- [8] Taniguchi, T., Yakata, S., Imamura, H., Ando, Y., 2008. Penetration Depth of Transverse Spin Current in Ferromagnetic Metals. *IEEE Trans. Magn.* 44(11):2636--2639.
- [9] Bass, J., Jr, W. P. P. Spin-diffusion lengths in metals and alloys, and spin-flipping at metal/metal interfaces: an experimentalist's critical review. *Journal of Physics: Condensed Matter* 19(18):183201.
- [10] Thiaville, A., Nakatani, Y., Miltat, J., Suzuki, Y., 2005. Micromagnetic understanding of current-driven domain wall motion in patterned nanowires. *Europhys. Lett.* 69(6):990--996.
- [11] Tserkovnyak, Y., Hankiewicz, E. M., G., V., 2009. Transverse spin diffusion in ferromagnets. *Phys. Rev. B* 79(9):094415.
- [12] X., W., M., V., 2004. Current-induced distortion of a magnetic domain wall. *Europhys. Lett.* 65(3):427--433.
- [13] Wessely, O., Edwards, D. M., Mathon, J., 2008. Quantum mechanical theory of current-induced domain wall torques in ferromagnetic materials. *Phys. Rev. B* 77(9):174425.
- [14] F., P., Thiaville, A., 2007. Spin transfer torque in continuous textures: Semiclassical Boltzmann approach. *Phys. Rev. B* 75(17):174425.
- [15] Manchon, A., Zhang, S., 2009. Theory of spin torque due to spin-orbit coupling. *Phys. Rev. B* 79(9):09442.
- [16] Gilbert, T. L., 1955. *Phys. Rev.* 100:1243.
- [17] Miltat, J., Donahue, M., 2007. Numerical micromagnetics : finite difference methods. In H. Kronmueller, S. Parkin, editors, *Handbook of magnetism and advanced magnetic materials, Vol.2 : Micromagnetism*, pages 742--764. Wiley, Chichester.
- [18] Thiaville, A., Nakatani, Y., Piéchon, F., Miltat, J., Ono, T., 2007. Transient domain wall displacement under spin-polarized current pulses . *Eur. Phys. J. B* 60:15--27.
- [19] Thiaville, A., Nakatani, Y., 2009. Micromagnetics of domain-wall dynamics in soft nanostrips. In T. Shinjo, editor, *Nanomagnetism and Spintronics*, pages 231 -- 276. Elsevier.
- [20] Nakatani, Y., Thiaville, A., Miltat, J., 2003. Faster magnetic walls in rough wires. *Nature Mater.* 2:521.

Control de trayectoria de un mecanismo cartesiano

Francisco Aguilar Acevedo*, Dora Luz Almanza Ojeda*

ABSTRACT

The development of open architectures for programming robots of two or more degree of freedoms (DOF), allows the implementation of specific task for education, research or even industrial sector. The aim of this project consists in controlling the trajectory carried out by a Cartesian 2 DOF robot using a Proportional-Derivative-Integral digital controller implemented on an Arduino card connected to a host Personal Computer. The Computer-Aided Design and implementation of the Cartesian 2 DOF robot is provided. The Graphical User Interface was programmed on LabVIEW of National Instruments and it allows sending and reading control signals with the robot. The experimental test with the robot were carried out for two trajectories tuned since a parametric equation, such trajectories are designed on the XY workspace. Position for each joint and the final trajectory on the workspace executed by the robot are presented. In addition, the obtained error illustrates the high accuracy of the robot positioning during the trajectory execution.

RESUMEN

El desarrollo de arquitecturas propias de programación en mecanismos robóticos de dos ó más grados de libertad (GL) permiten la implementación de tareas específicas a nivel educativo de investigación o incluso industrial. El objetivo de este proyecto es controlar la trayectoria realizada por un robot cartesiano de dos GL, mediante un control Proporcional Integral Derivativo (PID) implementado en un dispositivo programable Arduino y desde una interfaz en una PC. Se presentan datos del diseño y la implementación del robot cartesiano de dos GL. La interfaz de usuario permite el envío y lectura de datos y señales de control hacia el robot y fue programada en el software LabVIEW. Las pruebas de desempeño del robot fueron realizadas para dos trayectorias descritas por una ecuación paramétrica, las cuales generan trayectorias ya definidas sobre el espacio de trabajo XY del robot. Se muestran gráficas de posición para cada articulación y su correspondiente gráfica de movimiento en el espacio de trabajo. La gráfica de error muestra un alto valor en la exactitud para el posicionamiento del robot.

INTRODUCCION

“Conocimiento Sistémico para el desarrollo”

Palabras clave:

Palabras clave en español; controlador PID; mecanismo cartesiano 2GL ; trayectoria de echoicón paramétrica ; control de trayectoria

Keywords:

Keywords; PID controller; 2 DOF cartesian mechanism; parametric equation trajectory; trajectory control

El desarrollo de controladores de motores en sistemas robóticos más complejos requiere establecer una rápida sincronización de tiempo de muestreo entre los sensores y la unidad de control central del sistema. El modelado y control de mecanismos es una labor intensa que requiere sensores de alta resolución para lograr movimientos precisos y exactos [1].

Los robots cartesianos, en sus varias modalidades, son utilizados en diferentes tareas dentro del área industrial y educativo gracias a que su diseño e implementación es menos complejo que la mayoría de los mecanismos. Normalmente, son usados para ubicar una posición dentro del área de trabajo y colocar algún objeto en específico. En el caso de contar solo con el diseño y análisis del mecanismo cartesiano [2], muchos factores reales, como la fricción los esfuerzos de carga o la exactitud del posicionamiento no pueden ser verificados. Entre los trabajos realizados en la manipulación de objetos de los robots cartesianos encontramos el trabajo de [3], donde proponen el diseño y modelado de un robot cartesiano de 3 grados de libertad, utilizando motores a pasos, después de presentar su análisis, los autores realizan varias pruebas sobre el funcionamiento del robot, sin embargo, no se presentan descripciones numéricas o gráficas sobre el comportamiento del control sobre el posicionamiento del mecanismo.

*Universidad Politécnica de Guanajuato, Departamento de Robótica, Av. Universidad Norte SN, Comunidad Juan Alonso, Cortazar, Guanajuato, 38483, México

Otra implementación sobre motores a pasos de un mecanismo cartesiano, se presenta en [4], sin embargo, la precisión en la ejecución de trayectorias desde estos motores no presentan la misma flexibilidad y control que con motores de DC. Este proyecto propone un primer prototipo de un robot cartesiano con dos contribuciones principalmente: (1) proporcionar un mecanismo de pruebas para diferentes trayectorias monitoreando su posición desde las lecturas de encoders, (2) permitir el diseño y programación de controladores propuestos por el usuario para ejecución de cualquier tarea de control. La construcción mecánica del robot ha sido realizada con materiales de tipo industrial y motores con encoders de alta resolución que permiten realizar una mejor tarea de control. Un controlador digital Proporcional Integral Derivativo (PID) permite controlar el seguimiento de la trayectoria gracias a su fácil estructura y funcionalidad [5]. El presente documento se organiza de la siguiente forma: primero se describen los detalles de implementación del mecanismo, enseguida se propone el diagrama global del sistema de control propuesto, las siguientes subsecciones describen cada uno de los bloques del sistema y los parámetros de implementación de las trayectorias. Los resultados son presentados en dos partes: (1) los resultados desde la interfaz gráfica de usuario y (2) las gráficas resultantes de los datos obtenidos de la lectura de los encoders durante la realización de la trayectoria. Finalmente, se presentan las conclusiones y perspectivas de este proyecto.

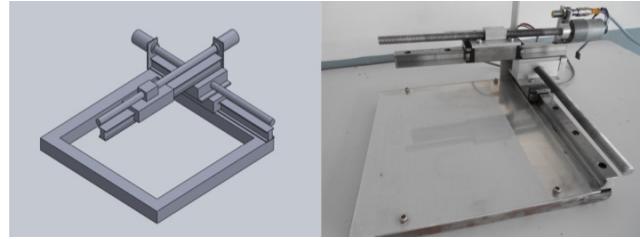


Figure 1. a) Diseño CAD del robot cartesiano, b) implementación física

DIAGRAMA GLOBAL

El seguimiento de una trayectoria definida por una ecuación paramétrica desde un manipulador cartesiano de dos Grados de Libertad (2 GDL), es el objetivo principal de este proyecto. El diagrama a bloques que describe la implementación del sistema de control se muestra en la figura 2, en él se pueden distinguir cinco etapas principales:

- Interfaz de usuario desde una PC
- Etapa de control
- Etapa de aislamiento y Potencia
- Planta: motores y Robot Cartesiano
- Etapa de mediciones

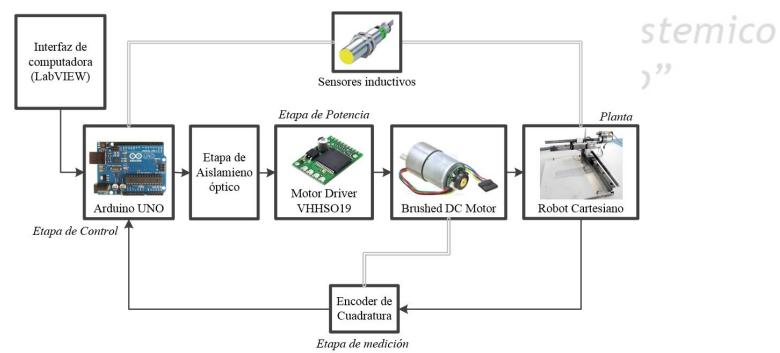


Figure 2 . Diagrama a bloques global del sistema de control propuesto

La interfaz de usuario tiene dos funciones: mostrar la información resultante durante el funcionamiento del robot y calcular las posiciones angulares finales mediante *LabVIEW*. Las posiciones angulares son enviadas a la etapa de control (la cual consiste de una tarjeta *Arduino*), y se utilizan para generar las señales

DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO

El diseño asistido por computadora del manipulador cartesiano de dos grados de libertad se muestra en la figura 1a. Las dimensiones de este mecanismo son $280 \times 280\text{mm}^2$ proporcionando un espacio de trabajo de $160 \times 150\text{mm}^2$ en el plano horizontal XY, respectivamente. La implementación de la parte mecánica implica el ensamblado de las guías y correderas marca Rexroth Bosch Group de 280mm de longitud con piezas maquinadas en aluminio desde una fresadora CNC y torno convencional. Se utilizan dos motores de DC a 12V que proporcionan una velocidad de 500 revoluciones por minuto (RPM) con encoders de 1083 pulsos por revolución. Finalmente, el mecanismo cuenta con un par de sensores inductivos marca TURK con 4mm de alcance, los cuales son utilizados para indicar la posición inicial de referencia. La implementación física del robot cartesiano se muestra en la figura 1b.

de entrada de los PWM, evaluar las trayectorias de las ecuaciones paramétricas, además envia datos hacia la computadora. La señal de ancho de pulso PWM es generada a una frecuencia de 15.625KHz. Algunas interrupciones externas son utilizadas para la lectura de los encoders. A cada tiempo de muestreo, las señales de control y las posiciones de referencia son calculadas.

Por otra parte, la etapa de aislamiento evita retroalimentaciones de corriente de los motores hacia la tarjeta *Arduino*, mediante un par acoplado. Mientras que la etapa de la potencia utiliza un dispositivo driver para el motor modelo VNH5019. Este opera desde 5.5 a 24V y puede entregar una señal continua de 12A (30A pico). Este dispositivo trabaja en niveles lógicos de 2.5 a 5V, soporta un PWM arriba de 20kHz. La etapa de mediciones involucra un encoder de cuadratura integrado en el motor de DC, el cual provee una resolución de 16 cuentas por revolución del motor, usando solo un borde de disparo por cada canal (en este caso, 1083 cuentas por revolución a la salida del sistema de engranajes acoplados al motor).

CONTROLADOR PID

La ley de control discreta programada para la posición en cada motor utiliza una aproximación trapezoidal para el integrador y una diferencia del error anterior para el diferencial. Lo anterior es representado por la ecuación:

$$u(k) = u(k-1) + (K_p + K_d + K_i)e(k) + (K_p + 2K_d)e(k-1) + K_d e(k-2) \quad (1)$$

donde $u(k)$ representa la señal de control, $e(k)$ es la señal de error y K_p , K_i y K_d representan las ganancias definidas como:

$$K_p = k_p(1 - T/(2T_i)) \quad (2)$$

$$K_i = k_p T / T_i \quad (3)$$

$$K_d = k_p T_d / T \quad (4)$$

donde k_p , T_i y T_d son las ganancias proporcional, integral y derivativa, respectivamente del controlador analógico.

La sintonización del controlador Proporcional Integral-Derivativo (PID) digital, será realizado por medio de un método de sintonización para PID analógicos. Lo anterior es válido en el caso de considerar que nuestro tiempo de muestreo es lo suficientemente pequeño. Así, las reglas de Ziegler y Nichols para una planta en lazo cerrado son utilizadas, cuyos parámetros son mostrados en la tabla 1 [6].

Table 1 .

k_u	t_u	k_p	T_i	T_d
5	0.136	3	0.068	0.01632

METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN

La metodología de programación del sistema de control, desarrollado en la tarjeta *Arduino*, se describe en el diagrama de estados de la figura 2. El programa desde LabVIEW contiene la interfaz con el usuario, para monitoreo y para realizar la configuración de comunicación con la tarjeta *Arduino*.

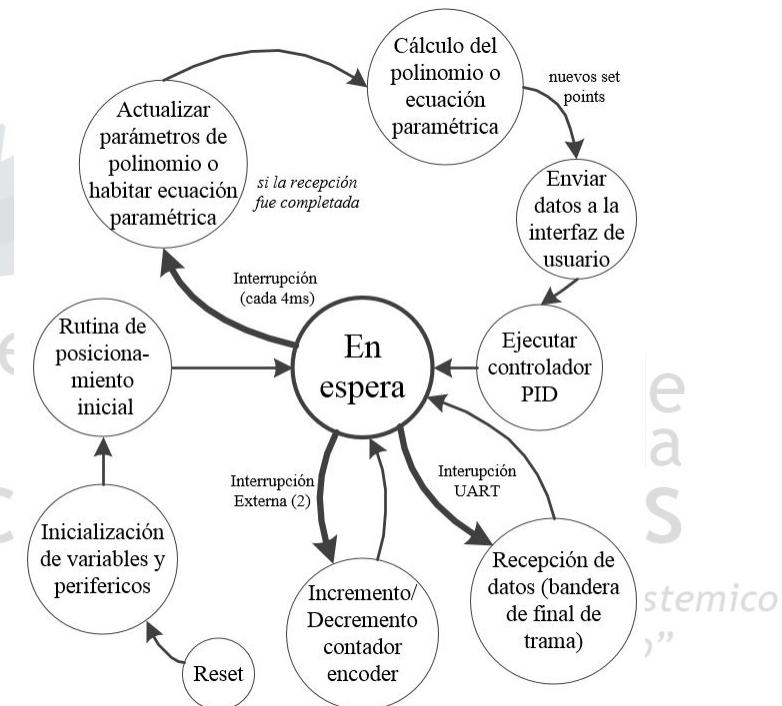


Figure 3 . Diagrama de la máquina de estados principal

El sistema inicializa todos los periféricos y variables cuando se presiona el *Reset*; los registros TCCR1B y TCCR1A configuran la señal del PWM. Enseguida se ejecuta una rutina que coloca al robot en su posición de inicio (conocida como HOME). Una interrupción ocurre cada 4ms a través del Timer0, la cual tiene como objetivo principal calcular la señal de control, aunque dentro de ella se verifica si han sido recibidos datos (si es así se actualizan los parámetros de la trayectoria cúbica o bien se inicia el proceso para el cálculo de la trayectoria de la ecuación paramétrica), se calcula el nuevo set point y se envían datos a la interfaz. Con el fin de colocar el

robot una posición inicial más conveniente para ejecutar la trayectoria paramétrica, desde la interfaz de usuario se especifica dicha posición, la cual es alcanzada siguiendo un polinomio cúbico punto a punto para cada articulación. Si la posición que indica el punto de partida fue completado correctamente, entonces comienza el ciclo para el cálculo de los nuevos set points de acuerdo a la ecuación paramétrica establecida. Las tabla 2 muestra las conexiones de la tarjeta Arduino.

Table 2 .

Conexiones de la tarjeta Arduino.

Conexiones	PinArduino	PinATmega328
Encoder 1 CHA, CHB	2, 4	4, 6
Encoder 2 CHA, CHB	3, 5	5, 11
INA, INB, Driver del Motor 1	7, 8, 9	13, 14, 15
INA, INB, Driver del Motor 2	11, 12, 10	17, 18, 16

DESCRIPCIÓN DE TRAYECTORIA

La ecuación paramétrica implementada es descrita por la siguiente ecuación:

$$x = A \sin(k \times 2\pi \times t/T_f) * \cos(2\pi * t/T_f) \quad (5)$$

$$y = A \sin(k \times 2\pi \times t/T_f) * \sin(2\pi * t/T_f) \quad (6)$$

donde, A es la amplitud, t es el tiempo actual, T_f es el tiempo final. Por otra parte, k es un parámetro definido como " n/d ", siendo n la variable que, en este caso, designa el tipo de trayectoria, por ejemplo $n = 4$ forma la flor de la figura 5, mientras que d es un parametro fijo $d = 3$. Así el parametro k cambia de acuerdo al valor seleccionado para n. El parametro T_f es ajustado para que el motor no supere su velocidad máxima de operación de 900 grados/s, este parámetro es calculado utilizando Matlab. Al cambiar el término para " $n = 1$ " en la ecuación 1 y 2 se obtiene la trayectoria de la figura 6.

RESULTADOS

Antes de ejecutar la trayectoria paramétrica seleccionada para el robot, es necesario ubicarlo en una posición inicial dentro del espacio de trabajo, desde la cual sea más conveniente realizar la otra trayectoria. La interfaz de usuario desarrollada en LabVIEW muestra las gráficas de posición del robot y un indicador de la velocidad máxima para cada articulación. La figura 4 muestra dicha información y la representación del movimiento en el espacio cartesiano para ubicarse en el inicio de la trayectoria. Además de estas gráficas, una cuarta muestra el error entre los datos deseados y los datos medidos, nótese las unidades del error obtenido es de alrededor de $\pm 0.1mm$. El tiempo de ejecución de trayectoria es de 20 segundos, su punto de inicio es $x = 0, y = 0$ y

su valor final deseado $x = 60, y = 50mm$, de acuerdo a la lectura de los sensores la posición real alcanzada es $x = 59.999, y = 49.999mm$. El error en estado estable es de $x = -0.00096, y = -0.00096 mm$, la velocidad máxima alcanzada en cada articulación es $V_x = 852.194, V_y = 685.912$ grados/seg.

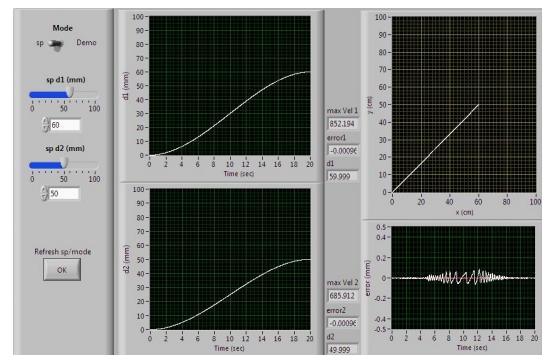


Figure 4 . Interfaz de usuario que muestra la representación del movimiento en el espacio cartesiano, muestra el valor de velocidad y el error para la trayectoria de polinomio cúbico

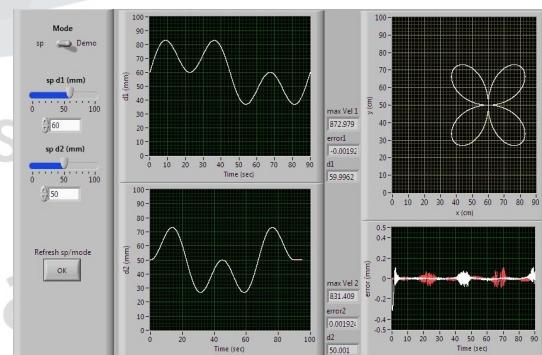


Figure 5 . Interfaz de usuario que muestra la representación del movimiento en el espacio cartesiano, muestra el valor de velocidad y el error para la trayectoria de la ecuación paramétrica para $n = 4$

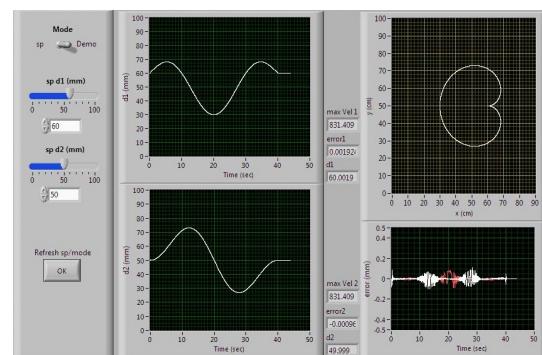
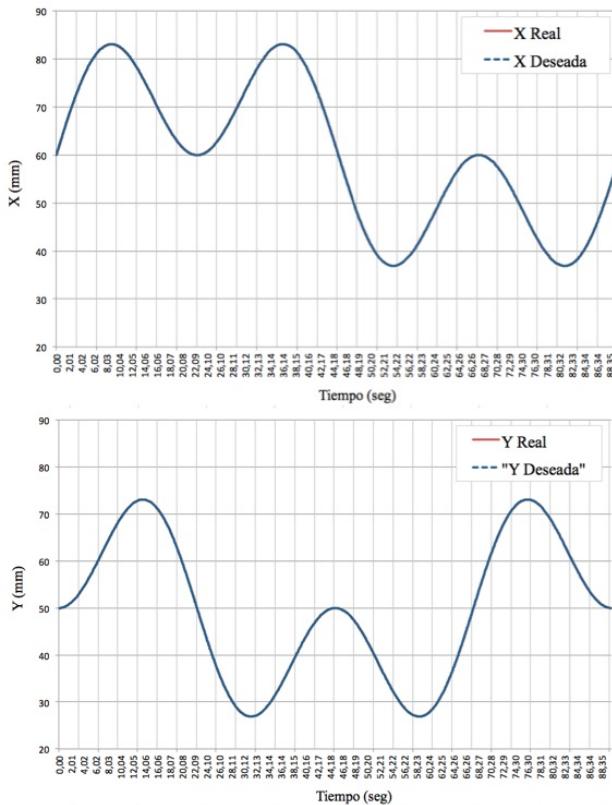
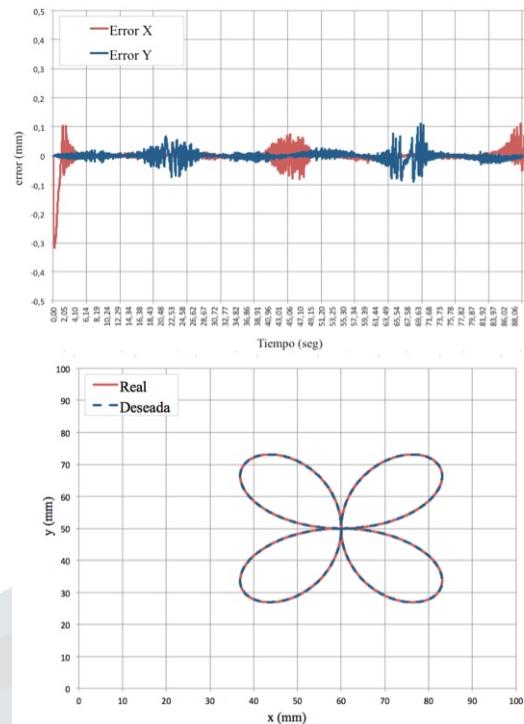
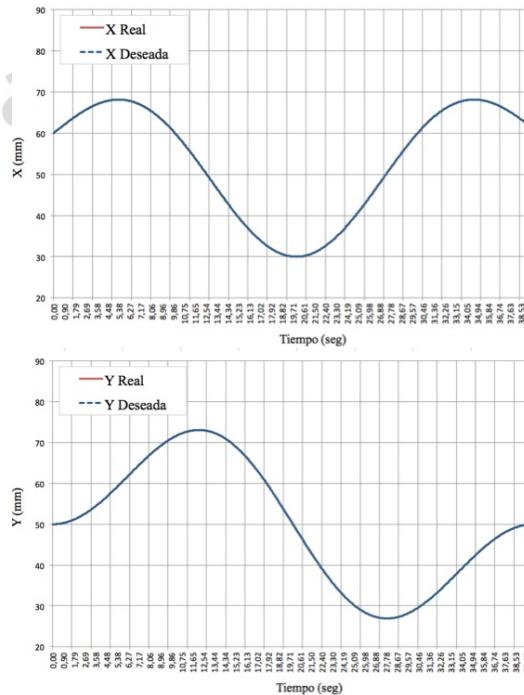


Figure 6 . Interfaz de usuario que muestra la representación del movimiento en el espacio cartesiano, muestra el valor de velocidad y el error para la trayectoria de la ecuación paramétrica para $n = 1$

Las figuras 5 y 6 muestran la interfaz gráfica de usuario para las trayectorias paramétricas realizadas con el robot cartesiano, para $n = 4$ y $n = 1$ respectivamente, mientras que, las figuras 7 y 8 muestran las gráficas con los datos recuperados directamente de la lectura de los encoders durante el movimiento del robot. Ambas trayectorias inician en la posición $x = 60, y = 50$ mm la duración de ejecución de la trayectoria en el robot es de 90 y 40 segundos respectivamente para la trayectoria de la figura 7 y 8. Los valores de error máximo absoluto que se obtienen durante la ejecución de la trayectoria de la figura 7 son: para el eje X es 0.31659mm , para el eje Y es 0.110662mm , mientras que la velocidad máxima para la articulación que indica el movimiento en el eje X es 872.979grados/seg y su correspondiente en el eje Y es de 831.409grados/seg . La figura 6 presenta errores máximos absolutos menores a 0.1mm alcanzando una velocidad máxima de 831.409grados/seg en cada articulación para los movimientos en los ejes X y Y.

Figure 7 . Gráficas de posición de las articulaciones para $n = 4$ Figure 8 . Trayectoria de ecuación paramétrica para $n = 4$ Figure 9 . Gráficas de posición de las articulaciones para $n = 1$

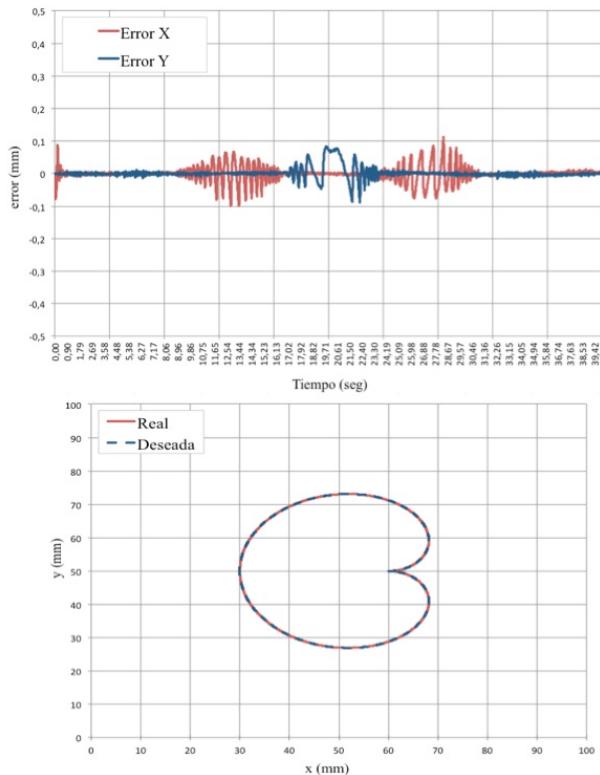


Figure 10 . Trayectoria de ecuación paramétrica para $n = 1$

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este trabajo se propone el diseño y la implementación de un robot cartesiano de 2GL, además del control de su trayectoria mediante una ecuación paramétrica. La trayectoria fue ajustada para que el robot no sobrepase la velocidad máxima de sus motores que mueven cada eje del plano XY. Se muestra la representación gráfica del monitoreo de posición para cada articulación obteniendo los datos directamente de los encoders a través de una tarjeta Arduino. Los errores en posición durante el seguimiento de trayectoria en el plano cartesiano son muy pequeños, logrando una ejecución confiable y exacta de la trayec-

toria.

La funcionalidad que se propone hasta ahora para este robot es que sea capaz de dibujar diferentes diseños de piezas descritos por ecuaciones planares, además de proporcionar una plataforma de programación para el desarrollo de diversos controladores de prueba en el ámbito universitario que nos compete. Sin embargo, una extensión de este proyecto consiste en la lectura, a más alta resolución de los encoders, para establecer un monitoreo de la velocidad en cada motor y con ello, realizar un control que permita ejecutar no solo el dibujo sino también el corte sobre algún material ligero, a un valor de velocidad controlada. Con este objetivo, se pretende duplicar la velocidad de muestreo por canal de la tarjeta Arduino y agregar una herramienta de corte apropiada en el efecto final del manipulador cartesiano.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto PROMEP/103.5/12/8045 financiado por la Secretaría de Educación Pública.

REFERENCIAS

- [1] Kelly, R., Santibáñez, V., 2003. Control de movimiento de robots manipuladores. Prentice Hall.
- [2] Rojas, J., Mahla, I., noz, G. M., Castro, D., 2003. Diseño de un sistema robótico cartesiano para aplicaciones industriales. Revista Facultad de Ingeniería U.T.A. Chile 11(2):11–16.
- [3] Godoy, R., Rodríguez, W., 2007. Diseño y modelado de un robot cartesiano para posicionamiento de piezas.
- [4] 2007. Robot cartesiano: Seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computadora.
- [5] Chen, C.-T., 1993. Analog & digital control system design: transfer-function, state-space, & algebraic methods. New York; Oxford: Oxford University Press.
- [6] Spong, M. W., Vidyasagar, M., 1989. Robot dynamics and control. New York: Wiley.

“Generación de productos similares a la tierra de monte a partir de Lirio Acuático en el Área Natural Protegida Laguna de Yuriria, Guanajuato.¹”

Reyna Correa Cruz²; Ulises Alejandro Segura Garduño³; Alejandro Ortega Hernández⁴.

Resumen

En México el 98% de toda el agua superficial está contaminada, lo que ha generado severos problemas, tales como invasión de lirio acuático, infestación de moscos y problemas para el sector pesquero, principalmente. Al mismo tiempo, el gobierno local ha gastado grandes cantidades de dinero en aras de resolver estos problemas; sin embargo, todos estos esfuerzos han sido inútiles, porque las autoridades no han percibido que este es un problema de tipo sistémico, y por consecuencia, la solución lo es también. Así, esta investigación emplea a modo de marco de trabajo la teoría de sistemas en aras de encontrar las causas y soluciones al problema de la contaminación en un Área Natural Protegida (ANP) localizada dentro de la Laguna de Yuriria. Los resultados muestran que la solución implica elementos de orden social, económico, ambiental y productivo, y no solamente los de tipo económico; en este momento, es posible resolver este tipo de problemas en esta ANP a un bajo costo pero incluyendo otros aspectos de la realidad, lo cual implica actuar y pensar de manera sistémica.

Palabras clave: *lombricomposta, lirio acuático, tierra de monte, sustentabilidad, Laguna de Yuriria.*

Abstract

In Mexico 98% of all superficial water is contaminated which has generated several problems like water hyacinth invasion, mosquito infestation and fishing problems, mainly. At the same time, local government has spent huge amounts of money in order to resolve these troubles; however, its efforts have been useless, because the authorities have not seen that this is a systemic problem, and by consequence, the solution is systemic too. So, this research uses as theoretical framework the systemic theory in order to found the causes and solution to the contamination problem in a Protected Natural Area (PNA) located around the Yuriria Lagoon. The results show that the solution implies social, economic, environment and productive elements, and not just the economic aspect; and at this moment, it is possible to resolve this kind of problems in the PNA at a lower cost but including other aspect of the reality which means that we need to think and act in a systemic order.

¹ Este proyecto cuenta con financiamiento por parte de PROMEP, 2012-2013 y se enmarca dentro del proyecto titulado: “Valoración económica del Área Natural Protegida Laguna de Yuriria”.

² Licenciatura en Gestión Empresarial (pasante); correo: reyna.correa.cruz@gmail.com; México. Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato. Tel. móvil 445 10 16273.

³ Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica (estudiante); Ulises-alejandro90@hotmail.com; México. Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato. Tel. móvil 445 45 52833.

⁴ Profesor del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato; correo: a.ortega@ugto.mx; teléfono oficina: 01 (445) 45 8 90 40 ext. 1725.

Key words: Compost-earthworm, Water Hyacinth, Mountain Land, Sustainability, Yuriria Lagoon.

Introducción

El presente documento contempla temáticas relacionadas con los ejes de teoría de sistemas, educación ambiental y desarrollo sustentable, aplicadas en un proyecto productivo denominado “*Sitquije*⁵”, y que consiste en la “generación de productos similares a la tierra de monte a partir de Lirio Acuático en el Área Natural Protegida Laguna de Yuriria, Guanajuato. La justificación de este trabajo radica en la importancia que tiene la laguna de Yuriria, no solo económica, sino por las múltiples funciones ambientales y ecológicas que también cumple.

La Laguna de Yuriria “es uno de los cuerpos de agua más importantes del estado de Guanajuato y uno de los humedales más importantes a nivel nacional, está clasificada como sitio Ramsar⁶ y es el símbolo ecológico-cultural del municipio y de la ciudad de Yuriria” (Pedroza, 2012).

La Laguna pertenece a la Región Hidráulica Lerma-Chapala-Santiago y es fuente generadora de varias actividades económicas de suma importancia para el desarrollo regional. Sus aguas son utilizadas en las zonas de riego de los municipios de Yuriria, Valle de Santiago, Jaral del Progreso, Cortazar y Salamanca (CONAGUA, 2010). Además, la Laguna recibe el cauce del Río Lerma, por medio del Canal de Taramatacheo, y agua proveniente del Lago de Cuitzeo a través del arroyo de Moroleón (PMD, 2005).

Lo anterior forma parte del origen de la iniciativa que se expone en este documento, cuya organización es liderada por profesores y estudiantes de las diversas carreras del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, de la División de Ingenierías, del Campus Irapuato Salamanca

⁵ En base a referencias documentales del siglo XVI, *Sitquije* que en idioma tarasco significa “tierra fértil” (Mercado, 2007)

⁶ La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, llamada la Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

de la Universidad de Guanajuato, en participación con el trabajo voluntario y colaboración de la comunidad.

Problemática

La Laguna de Yuriria es la base de la mayoría de las actividades económicas del municipio. A la par de esto, la deforestación producida por la actividad agrícola y la recolección de leña han contribuido al azolvamiento de la Laguna (Pedroza, 2012). La contaminación es otro problema con grandes repercusiones para algunas actividades económicas. La laguna presenta eutrofización alta, especies indicadoras de aguas estancadas y contaminación por compuestos nitrogenados. Las principales descargas provocadas por la actividad agrícola provienen de la zona conocida la Ciénega Prieta, con aproximadamente 5,000 hectáreas de cultivos, cuyo aporte de nitrógeno y fósforo son considerables, así como las aguas residuales “tratadas” de los Municipios de Uriangato y Moroleón que se vierten en la Laguna, son parte del origen de esta problemática (PMD, 2005).

Imagen 1. Lirio acuático en las orillas de la Laguna de Yuriria

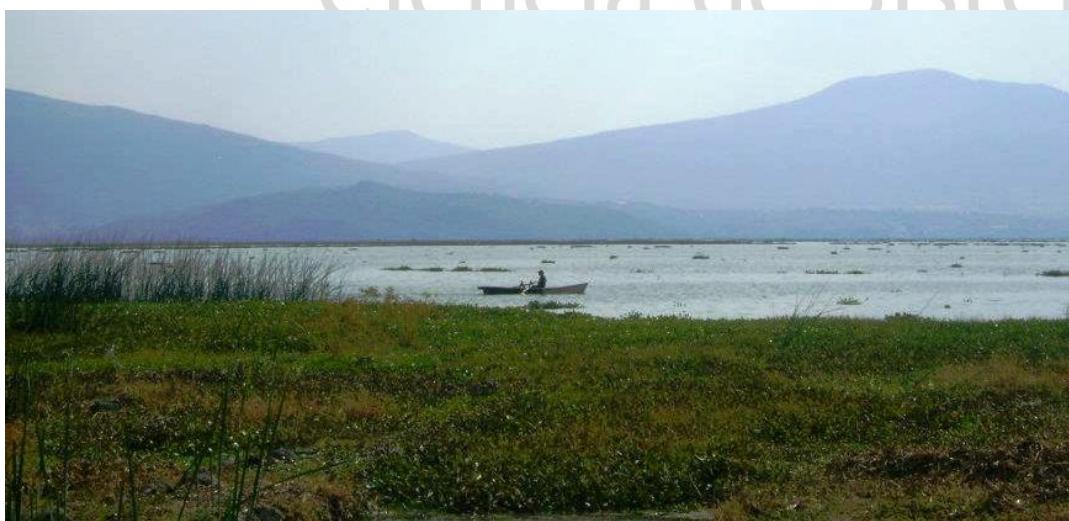


Imagen tomada por Alejandro Ortega Hernández.

La explotación del suelo forestal en México, es una actividad que consiste en la recolección de tierra de monte, comúnmente realizada de manera ilegal en las zonas boscosas del país, con la finalidad de comercializar la tierra.

El método usado por los contrabandistas de tierra de monte repercute en el proceso de reforestación natural de los bosques, debido a que entre la tierra que es recolectada se llevan las semillas desprendidas por los árboles de la zona durante la estación de otoño, o pequeños brotes germinados durante el verano. Esta situación desequilibra el ecosistema, evitando la posibilidad de la reforestación natural y provocando erosión del suelo, ya que ante la ausencia de flora, la humedad del suelo se pierde así como la capacidad de retención de líquidos durante la época de lluvias, lo que a su vez trae como consecuencia la disminución del periodo de vida de los árboles maduros. En busca de una solución a esta problemática, el gobierno mexicano ha penalizado esta actividad, decomisando en los últimos meses toneladas de tierra de monte a los contrabandistas, bajo el delito de robo de suelo.

Sin embargo, la tierra de monte es aprovechada por la industria productora de plantas de ornato, huertas productoras de frutas, algunos invernaderos, viveros públicos y privados, así como un representativo segmento del sector doméstico, que requieren seguir usando la tierra para cubrir principalmente la necesidad de producir y dar mantenimiento a hortalizas, árboles frutales, plantas y flores de ornato según su actividad.

Las razones antes descritas, son causantes de que el lirio acuático (*Eichornia crassipens*) y alrededor de 22 especies de micro algas se reproduzcan exponencialmente e invadan el cuerpo de agua, afectando directamente a las actividades pesqueras y ecoturísticas del municipio. La iniciativa surge como un proyecto productivo para el desarrollo regional, conformado por un

programa de actividades de beneficio a la comunidad y por una idea de negocio, que plantean soluciones sustentables a las problemáticas ambientales que en este extenso se abordan.

Ante este escenario se detecta una necesidad de carácter social y ecológico, que consiste en buscar una alternativa sustentable que apoye a la disminución de las siguientes problemáticas detectadas:

- El desequilibrio ecológico que causa el robo de suelo en áreas boscosas del país;
- El comercio ilegal de la tierra de monte;
- El desabasto de materia prima para los consumidores de tierra de monte;
- La invasión de maleza acuática principalmente en la Laguna y canales de Yuriria;
- La desocupación y desempleo de las personas que realizan únicamente esta actividad, para su propio sustento.

La solución a las problemáticas antes mencionadas, propone la elaboración de un producto similar a la tierra de monte, que sea útil para la industria productora y comercializadora de plantas de ornato, viveros, huertas, invernaderos, así como satisfacer el consumo doméstico de tierra de monte.

La prospectiva tecnológica de este proyecto productivo, involucra técnicas de composteo y procesos previos de recolección y trituración de materia orgánica, para generar un producto que sustituya la tierra de monte y que además contribuya con la conservación del suelo forestal, el aprovechamiento de la maleza acuática de canales y la Laguna de Yuriria así como, con el fomento de la cultura social de la separación de los desechos orgánicos para su reutilización.

Descripción general de la iniciativa

Esta iniciativa atiende principalmente la problemática causada por la invasión de lirio acuático y contaminación por basura en humedales y el desequilibrio ecológico que causa el robo de suelo en áreas boscosas y el comercio ilegal de la tierra de monte. Cabe aclarar que esta última problemática no es local solamente, sino que se presente en diversas regiones de México.

Imagen 2. Cosecha de lirio acuático en la Laguna de Yuriria



Imagen tomada por Alejandro Ortega Hernández.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Adicionalmente, se desarrolla un proyecto productivo, que tiene como objetivo la elaboración y comercialización de productos ecológicos similares a la tierra de monte, que en el corto plazo sea útil para el sector doméstico, en actividades de jardinería, en el cuidado y reproducción de plantas de ornato, árboles frutales etc. Y en el largo plazo, pretende satisfacer la demanda en grandes cantidades de la industria productora de plantas de ornato, viveros e invernaderos y otras organizaciones.

Además, se proyecta la creación de empleos en funciones operativas, que van desde la cosecha del lirio, hasta la distribución del producto terminado.

Metodología

El desarrollo del proyecto se divide en 3 líneas principales: operación, administración e investigación. La operación se define en la elaboración de los productos sustitutos de la tierra de monte, basada en el proceso de lombricomposta y lombricomposta de lirio acuático, involucrando tecnología que puede ser desarrollada en la universidad y transferida a través de la vinculación, capacitación y asesoría en procesos, de la misma manera es posible la construcción de maquinaria especializada, y el diseño e instalación de un sistema de control y monitoreo de composta. El proyecto ha sido impulsado y desarrollado con la participación de un equipo de trabajo interdisciplinario integrado por alumnos de la Universidad de Guanajuato y ciudadanos yurirenses; lo cual implica la integración de diversos campos del conocimiento.

Los estudiantes han recibido un curso de elaboración de composta y lombricomposta, que permitió la elaboración de producto a baja escala, con el objetivo de tener muestras del producto final para estudiar las propiedades físicas, químicas y biológicas de la tierra de composta de lirio

Imagen 3. Elaboración de composta de lirio acuático



Imagen tomada por Alejandro Ortega Hernández.

acuático, así como para el desarrollo de investigación y elaboración de información propia por medio de pruebas de calidad, etc.

Por otra parte, en la línea administrativa se ha elaborado un plan de negocios, útil en la presentación del proyecto como idea de negocio, comprobación de la viabilidad y rentabilidad, gestión de recursos, etc. Sin embargo, la administración contempla también las actividades pre-operativas a la puesta en marcha del proyecto como un negocio, tales como los gastos originados en la elaboración de pre-compostas, y el pago de viáticos del equipo, ya que la participación de los integrantes es en su mayoría un trabajo voluntario en pro de la comunidad y de la iniciativa.

*"Conocimiento Sistemico
para el desarrollo"*

Resultados

Una investigación del mercado doméstico y un estudio Delphi realizado a dueños expertos de viveros y productores de plantas de ornato de la zona metropolitana Uriangato-Moroleón-Yuriria permite estimar el mercado potencial y conocer sus características. El sector doméstico demanda principalmente tierra de pino y encino en costal para plantación y mantenimiento de jardines, 1 a 3 veces por año. Todos los viveros y comercializadores de plantas de la región compran tierra de monte originaria de los estados de Michoacán, México y Jalisco, para revenderla, reproducción y mantenimiento de sus productos, con una frecuencia de compra y cantidad adquirida promedio de cada 2 meses, 40 costales. Se propone la oferta al mercado doméstico de una línea de productos integrada por compost, tierra para jardinería, sustrato especial para orquídeas, etc. en diversas presentaciones, considerando también la venta a granel.

Imagen 4. Presentación de la línea de productos sustitutos de la tierra d monte.



Imagen tomada por Alejandro Ortega Hernández.

En otros resultados que también se puede considerar de relevancia, se encuentra el hecho de que este proyecto ha concursado en diversos eventos, tales como: a) en 2011, se concursó en el 7º. concurso interinstitucional, “Creatividad e Innovación”, organizado por la Universidad de Guanajuato, en el cual se obtuvo el 2º. lugar; en mayo de 2013, se concursó a nivel nacional en la Semana del Emprendedor, organizada por la FESE-ANUIES, en donde se obtuvo el 3er. lugar. Así mismo se ha concursado por recursos en instituciones como CONCYTEG y Autoempleo Juvenil. De la misma manera, la Comisión estatal del Agua de Guanajuato invitó a los integrantes de este proyecto a participar con 2 ponencia en la el 11vo. Foro Nacional Universitario “Espacio Acuoso, para exponer los planteamientos fundamentales y logros de este proyecto.

Conclusiones

Existe una clara demanda y en ciertas partes del país un desabasto de tierra de monte como materia prima, para consumidores empresariales o domésticos. La iniciativa SITQUIJE, propone un proyecto de desarrollo sustentable para poblaciones vecinas a humedales con contaminación e invasión de maleza acuática, y a zonas boscosas del país. El proyecto convierte un problema ambiental en una oportunidad de negocio, creando autoempleo basado en una actividad económica alternativa y viable, en el cuál se aprovecha el lirio acuático y los desechos forestales para producir productos con potencial de insertarse en la cadena comercial agroindustrial, expandir la oferta y el alcance de mercado. Se contribuye a la conservación y limpieza del suelo forestal de la región y de la Laguna de Yuriria, Gto., apoyando a las actividades pesqueras y desarrollo de actividades turísticas acuáticas del municipio.

Bibliografía

Mercado Villalobos, Alejandro. (2007) *Santa Ana Maya Historia Breve*. México, H. Ayuntamiento de Santa Ana Maya, Michoacán. Pág. 19.

Pedroza Gutiérrez, María del Carmen. (2012) Desarrollo Local y Empresa. *La actividad pesquera en La Laguna de Yuriria. ¿Oportunidad o desacuerdo para el desarrollo local?* México. Universidad de Guanajuato. Págs. 23-24.

CONAGUA (2010). *Estadística del Agua*. México: SEMARNAT.

PMD. (2005) *Plan Municipal de Desarrollo, 2005 – 2030*, Presidencia Municipal de Yuriria, en: Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato, No. 192, año XCII, Tomo CXLIII.



Congreso Internacional
de
Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Introducción de procesos de innovación para corregir los problemas económicos de la industria ladrillera en el municipio de Yuriria, Guanajuato¹.

Olivia Muñoz Ochoa²; Alejandro Ortega Hernández³; Marilu León Andrade⁴. Alumna

Resumen

Actualmente la industria de la producción de ladrillo tiene un amplio historial de severos problemas ambientales en diversos municipios del estado de Guanajuato, como Yuriria, un el sur de la entidad; problemas como emisión de bióxido de carbono, lo que empeora el problema del calentamiento global, es señalado como una de las causas más impacta en la salud humana. Puede decirse que la solución solamente involucra la introducción de tecnología; sin embargo, otros problemas tienen que ser tomados en consideración: los bajos niveles de rentabilidad obtenidos por los propietarios de alguna industria ladrillera, ya que esta actividad es desarrollada por pequeñas unidades productoras, por lo que es difícil alcanzar economías de escala, tomando en cuenta que actualmente carecen de una política industrial adecuada para este tipo de unidades de producción; por consecuencia es casi imposible implementar mejores tecnologías y que sean amigables con el ambiente entre este tipo de productores. Así, tenemos dos problemas al mismo tiempo ambientales y económicos, y la solución es necesariamente sistémica. En el mismo sentido, esta investigación propone que la solución es amplia y compleja, combinando ambos aspectos y que la solución de los problemas en esta industria no puede darse sin resolver el problema económico en la industria ladrillera.

Palabras clave:

Abstract

Now a day brick industry has a long record of environmental problems in several municipalities in Guanajuato state, like Yuriria, in the south part of it; problems like carbon dioxide emissions, which makes worse problems like global warming, is pointed out the main by its immediate impact in the human health. We can say that the solution only implies the introduction of technology; however, other problem has to be added necessarily: the low profitable levels obtained by the owners in this industry, because this activity is developed by several small enterprises, thus, it is very difficult to reach scale economies taking in account the absence of a real industrial policy for this type of

¹ Este proyecto cuenta con financiamiento por parte de PROMEP, 2012-2013 y se enmarca dentro del proyecto titulado: "Valoración económica del Área Natural Protegida Laguna de Yuriria".

² Licenciatura en Gestión Empresarial (pasante); correo: olivia_mo82@hotmail.com; Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato.

³ Profesor del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato; correo: a.ortega@ugto.mx; teléfono oficina: 01 (445) 45 8 90 40 ext. 1725.

⁴ Profesora del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato; correo: marilu@ugto.mx; teléfono oficina: 01 (445) 45 8 90 40 ext. 1705.

production units; and by consequence, it's almost impossible to improve better and green technologies between this kind of producers. So, we have two problems at the same time, environment and economical, and the solution is necessary seen as systemic. In the same way, this research proposes that solution has to be wide and complex, mixing both aspect in order to resolve the main, we mean, environmental problems in the municipality in Yuriria and in the rest of entities of the state in Guanajuato which present the same problem. We conclude that environmental troubles can't be fixed without resolving economic problems.

Introducción

La producción artesanal de ladrillo es un actividad “importante” desde el punto de vista económico, por suministrar uno de los principales insumos a la industria de la construcción; sin embargo esta actividad artesanal tradicionalmente ha sido desarrollada por personas de estratos sociales marginados que encuentran en este oficio una forma de autoempleo medianamente estable, pero lamentablemente muy mal remunerada, poco valorada y menos reconocida por la sociedad y en contraparte con una demanda energética intensa y un desgaste físico importante que afecta la salud del trabajador.

La fabricación de ladrillo para construcción es una de las industrias que más ha crecido en Yuriria Gto., sin embargo carece de innovación en la realización de sus procesos, ya que sigue las mismas etapas desarrolladas desde la antigüedad: preparación de la pasta, moldeo y cocción en hornos, para lo cual emplea combustibles altamente contaminantes.

Debido a que esta industria ha sido considerada como una de las principales fuentes contaminantes del medio ambiente, se decidió realizar la presente proyecto cuyo objetivo es proponer la adopción de estrategias y tecnologías asociadas a los procesos de producción, de la industria ladrillera en el municipio de Yuriria, Gto., como alternativas de solución para minimizar las repercusiones ambientales y mejorar los aspectos económicos de esta industria.

El presente proyecto está enfocado corregir los problemas ambientales y económicos de la industria ladrillera en Yuriria Gto., mediante el uso de innovación en los procesos productivos; ya que la adopción de procesos de innovación permitirá elevar la capacidad de la industria ladrillera, al mismo tiempo que logre una reducción de emisiones contaminantes.

En la actualidad, aun cuando existen otras alternativas de materiales para la construcción, el ladrillo sigue siendo la principal opción para construir la mayoría de las viviendas en nuestro país. Este es, entre otros, uno los aspectos que permite afirmar que los ladrilleros constituyen una parte fundamental en el engranaje de esta industria, pero que en la realidad son la parte más olvidada y conforman uno de los sectores de la población con más bajo ingreso económico y con mínimo acceso a una atención de salud adecuada. Moreno M. Paola (2003), destaca en su estudio “Estimación de riesgos ambientales causados por la industria ladrillera” que el uso de combustibles, residuos industriales y otros materiales orgánicos, que por naturaleza son fuente de contaminación ambiental, generan graves daños a la salud de la población expuesta a este tipo de producción. Añade también que existen en el área metropolitana de la Cd. de México alrededor de mil ladrilleras con sistemas de producción obsoletos.

En 1998 en Guanajuato el Instituto de Ecología, como primera iniciativa para regular la operación de los hornos, publicó la Norma Técnica Ecológica NTE – IEG – 001/98 que establece las condiciones que deben de reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros en el Estado de Guanajuato y las para su operación y para la elaboración y cosido de las piezas hachas con arcilla para la construcción. Este ordenamiento establece principalmente especificaciones de ubicación, de obtención de

tierras y arcillas, usos de otros insumos, como agua, aserrín y estiércol, así como combustible a utilizar (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2008).

Desde entonces, se han venido realizando esfuerzos para coadyuvar con el sector ladrillero; y en el año 2005, se detectó que a pesar de las acciones implementadas para proporcionar a los productores equipos para quemado con gas, menos del 1% de los hornos cumplían con dicha especificación. Por lo cual, a partir de ese año se replantearon las actividades, teniendo en consideración que un punto primordial era el fortalecimiento empresarial a través de la concientización y capacitación a los productores, por lo cual se solicitó el apoyo de Secretaría de Desarrollo Económico Sustentable para atender estas Acciones para el Fortalecimiento de la Industria Ladrillera en el Estado de Guanajuato. Fue así como se comenzaron a realizar acciones paralelas coordinadas técnico-empresariales.

Así mismo se ha hecho gestión con municipios para impulsar la creación de parques ladrilleros, estando a la fecha uno en operación en el municipio de Santa Cruz de Juventino Rosas, tres en construcción en los municipios de San Diego de la Unión, Acámbaro y Salamanca y dos con proyecto ejecutivo en León y Romita.

Paralelamente, con el objetivo de contar con información veraz desarrollada específicamente para el Estado de Guanajuato, desde el año 2001 se han desarrollado los siguientes proyectos:

- 2001. Estudio para el desarrollo sustentable de la industria ladrillera en los municipios de Apaseo el Alto, Celaya, Juventino Rosas y Tarimoro.
- 2001. Instituto Tecnológico de Celaya – Estudio experimental de procesos de cocción de ladrillos usando Gas L.P. como combustible – municipio de Juventino Rosas.

- 2005. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación A.C. – Dictamen de idoneidad técnica de ladrillo ecológico.
- 2006. UG/ Facultad de Ingenierías en Salamanca – optimización de quemado de ladrillo rojo utilizando gas L.P. para el municipio de Salamanca.
- 2006. UG/ Centro de Investigaciones de Química Inorgánica – Estudio de desazolve de presas en municipios como Abasolo y Pénjamo para determinar si son aptos para la elaboración de ladrillo.
- 2007. INE/ IEE / UNAMI – Determinación de factores de emisión, impacto en la calidad del aire y gases de efecto invernadero en ladrilleras.
- 2010. Swss Contact Perú – Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático – comunidad ladrillera de El Refugio, León, Gto.

A partir de la verificación del cumplimiento de los requisitos señalados en la norma antes mencionada, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros en el Estado y las condiciones para su operación y para la elaboración y cocido de las piezas hechas con arcilla para la construcción, se determinó que es inoperante, dado que no se ha podido dar cumplimiento a la misma; esto debido principalmente a limitantes económicas, sociales y técnicas prevalecientes en este sector productivo.

Por lo que con el objetivo de actualizar la Norma Técnica Ecológica NTE – IEG – 001/98, haciéndola funcional pero con garantías que aseguren el desarrollo apropiado de dicha

actividad y al mismo tiempo, segura para todos los productores que intervienen en el proceso. En 2010 el Gobierno del Estado – Poder Ejecutivo, expide la Norma Técnica Ambiental NTA – IEE – 001/2010.

En Yuriria Guanajuato., esta actividad artesanal, ha sido desarrollada empleando las mismas técnicas tradicionales para la elaboración del ladrillo, lo que provoca emisiones altamente contaminantes a la atmósfera, lo cual tiene un fuerte impacto en el medio ambiente de la región. Sin embargo, de acuerdo con: Romo Aguilar, Córdova Bojórquez, y Cervera Gómez (2004) el factor socioeconómico de los trabajadores de esta industria no ha permitido cambios importantes.

En Yuriria, el crecimiento de la poblacional, implica que sus habitantes enfrenten una disminución de oportunidades para cubrir satisfactoriamente sus necesidades básicas, y mejorar sus condiciones de vida, aunado a ello se encuentra el aumento de la población económicamente activa lo cual provoca una reducción en las pocas fuentes de empleo que anualmente se crean en Yuriria Gto., y un aumento significativo en la industria ladrillera, actividad productiva que además de ser una fuente importante de empleos y autoempleo, genera un insumo básico para la industria de la construcción.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Sin embargo pese a esto se considera que la industria ladrillera, es una de las que más contaminantes genera, ya que las actividades de la Industria Ladrillera afectan de manera directa el recurso de suelo en la obtención de materia prima (arcilla) y atmósfera en relación al uso de combustibles en la cocción de ladrillos; de forma indirecta al recurso agua en la mezcla (tamizado y selección) de la arcilla con agua y arena, así como el tendido y secado de las piezas (Secretaría de Desarrollo Social Y Sustentable, 2010).

Actualmente en Yuriria Gto., existen 92 ladrilleras (INEGI, 2011) divididas en 7 sectores nombradas principalmente por el nombre de la colonia en donde se ubican, dichos sectores son: El Coyoncle, El Granjenal, Deportiva San Juan I y II, Libramiento Salvatierra Yuriria Moroleón (lado oriente, carretera al Timbinal), Libramiento Salvatierra Yuriria Moroleón (lado sur), Santiaguillo y La aldea. Esta dispersión obedece a múltiples factores tales como la localización de bancos de material, acceso al agua o acceso a terrenos. (Romo, Córdova, Cervera / Estudio Urbano – Ambiental, 2004). Estos siete sectores ladrilleros cuentan con un total de 100 hornos artesanales, los cuales constituyen un riesgo para el medio ambiente debido a la emisión de humo por la quema de materiales inorgánicos. Por tal motivo se, considero necesario desarrollar el presente proyecto a fin de generar información útil en el campo de la investigación sobre la industria ladrillera en el municipio de Yuriria, Gto.

Metodología

Para el trabajo de investigación fue necesario tomar como base la información ofrecida por el Censo 2011 de ladrilleras en Yuriria, Guanajuato., en el cual se establece la existencia de 92 ladrilleras, divididas en 7 sectores nombrados principalmente por el nombre de la colonia en donde se ubican; dichos sectores son: El Coyoncle, El Granjenal, Deportiva San Juan I y II, Libramiento Salvatierra-Yuriria-Moroleón (lado oriente, carretera al Timbinal), Libramiento Salvatierra Yuriria Moroleón (lado sur), Santiaguillo y La aldea.

Posteriormente se procedió a trabajar con una muestra representativa de esta población; así, se optó por aplicar un muestreo aleatorio simple. De esta manera la muestra que se calculó

resultó de 54 ladrilleras de entre las 92 que existen en el municipio. El cálculo de la muestra se realizó mediante la siguiente ecuación⁵:

$$n = \frac{p_n q_n N Z_{\alpha/2}^2}{N d^2 + Z_{\alpha/2}^2 p_n q_n}$$

La aplicación del cuestionario se llevó a cabo de la siguiente manera; al llegar a cada unidad de producción, primeramente se verificaban las coordenadas geográficas con el sistema GPS, una vez que se verificaba que estaba en funcionamiento el horno, se solicitaba la información del cuestionario. Cuando se advertía un horno inactivo se anotaba solamente su georeferenciación.

Descripción de la actividad ladrillera

El oficio de ladrillero puede ser considerado como una de las actividades laborales más olvidadas y menos reconocidas en nuestra sociedad, son pocos quienes se detienen a pensar que este oficio tan sencillo es fuente de abasto de una de las industrias de mayor importancia en el desarrollo social y económico de nuestro país y de otras naciones en el mundo: la industria de la construcción.

Aún cuando en la actualidad existen otras alternativas de materiales para la construcción, el ladrillo sigue siendo la principal opción para construir en la mayoría de las viviendas de interés social, interés medio, residencial alto y desarrollos habitacionales, y en menor proporción en desarrollo de construcciones para la industria.

⁵ Donde: $Z_{\alpha/2}^2$ es el nivel de confianza; d representa el nivel de precisión; N representa el tamaño de la población; p representó la proporción de la población que presenta la característica en la cual estamos interesados.

Etapas de la actividad ladrillera

El Diagrama de Flujo general para la actividad ladrillera se muestra en la figura siguiente:



Este es, entre otros, uno los aspectos que permite afirmar que los ladrilleros constituyen una parte fundamental en el engranaje de esta industria, pero que en la realidad son la parte más olvidada y conforman uno de los sectores de la población con más bajo ingreso económico y con mínimo acceso a una atención de salud adecuada.

Esta actividad artesanal tradicionalmente ha sido desarrollada por personas de estratos sociales marginados que encuentran en este oficio una forma de autoempleo medianamente estable, pero lamentablemente muy mal remunerada, poco valorada y menos reconocida por la sociedad, y en contraparte con una demanda energética intensa y un desgaste físico importante que impacta negativamente en la salud del trabajador.

Análisis de los resultados obtenidos en el trabajo de campo

Durante la recopilación de información en el trabajo de campo se identificaron 59 ladrilleras de las, 92 situadas en cabecera municipal, según el padrón de hornos 2011, de las 59 ubicadas se logró levantar encuestas a 54 productores, ya que las 5 faltantes se encontraban inactivas. De los 54 productores encuestados el 100% pertenecen al género masculino, su estado civil es de: 51 casados, 2 solteros y 1 divorciado de edades de entre los 26 a los 69 años.

A continuación se presentan los resultados de las preguntas más relevantes para esta etapa del proyecto, así como su correspondiente análisis.

Tabla 1. ¿Usted es el mayor proveedor económico de su familia?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	50	92.6	92.6	92.6
	No	4	7.4	7.4	100.0
	Total	54	100.0	100.0	

Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

El número de trabajadores familiares/contratados son como mínimo 1 y máximo 6. En algunos casos personas de sexo indistinto, así como de edad variable, siendo familiar cercano o conyuge realiza el trabajo como parte sus labores cotidianas, sin recibir un salario, de esta forma el productor ahorra el sueldo que pagaría a un trabajador externo.

Tabla 2. ¿Cuántos de los trabajadores son familiares/contratados?

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
¿Cuántos de los trabajadores son familiares/contratados?	54	1	6	2.57	1.253
N válido (según lista)	54				

Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

Los riesgos y exigencias ocupacionales a los que están expuestos los productores son muchos: exposición a temperaturas elevadas, polvo, humo y vapores durante el proceso de cocción o quema del ladrillo; exposición biológicas por uso de aguas tratadas y condiciones insalubres por carencia de servicio de agua potable y drenaje; entre otros riesgos que van mermando considerablemente su salud. Sin embargo, son pocos los productores que están afiliados a un seguro médico; existe una gran diferencia entre el porcentaje de productores

que cuenta con seguro médico 14.8% y el porcentaje de productores que no cuentan con seguro médico 85.2%, solo 8 de 54 productores lamentablemente poseen este servicio.

Tabla 3. ¿Con cuál con seguro médico Cuenta?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos Seguro popular	8	14.8	14.8	14.8
No aplica	46	85.2	85.2	
Total	54	100.0	100.0	100.0

• Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

De los 54 productores encuestados 9 respondió que sí recibe algún apoyo por parte de gobierno, como se muestra en la tabla 4. El 16.7% es un porcentaje bajo, considerando que los ladrilleros enfrentan una problemática laboral complicada, que se agrava aún más por su precaria condición socioeconómica.

Tabla 4. ¿Recibe algún apoyo de un programa de gobierno?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos Si	9	16.7	16.7	16.7
No	45	83.3	83.3	
Total	54	100.0	100.0	100.0

Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

De los 9 de 54 productores que afirmaron recibir apoyo de un programa de gobierno, 5 recibe apoyo de PROGRESA, 3 de OPORTUNIDADES y 1 de SEDESOL. Como se puede observar, ningún productor recibe apoyo de algún programa especializado o que se encuentre orientado al fomento de la industria, de la industria ladrillera o que fomente el desarrollo de capacidades en las pequeñas unidades económicas.

Los ladrilleros son una parte fundamental de la industria de la construcción, y de la economía de Yuriria, pese a ello son la parte más olvidada y conforman uno de los sectores de la población con más bajo nivel económico y con mínimo acceso a servicios y apoyos que aumenten su capacidad de producción. Es por ello que al preguntarles ¿Qué necesidades/apoyos manifiesta para mejorar su producción?, manifestaron necesitar principalmente apoyo económico, como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. ¿Qué necesidades/apoyos manifiesta para mejorar sus condiciones de vida?

Válidos		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Fuentes de empleo	9	16.7	16.7	16.7
	Mejor salario	9	16.7	16.7	33.3
	Estudios	1	1.9	1.9	35.2
	Apoyo económico	17	31.5	31.5	66.7
	Más trabajo (demanda)	7	13.0	13.0	79.6
	Aumento del costo final del ladrillo	3	5.6	5.6	85.2
	Instalaciones de trabajo propias	5	9.3	9.3	94.4
	Casa propia	1	1.9	1.9	96.3
	No sabe	2	3.7	3.7	100.0
	Total	54	100.0	100.0	

Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

Las condiciones de vida de los productores ladrilleros son tan precarias como lo son sus condiciones laborales, esta actividad, generalmente es desarrollada por personas de estratos sociales marginados que encuentran en este oficio, una forma de autoempleo medianamente estable, pero lamentablemente muy mal remunerada, poco valorada y menos reconocida. La tabla 5 presenta las principales necesidades y/o apoyos que los productores manifiestan para mejorar sus condiciones de vida.

Tabla 6. ¿Conoce las reglas/requisitos para la ubicación y funcionamiento de una ladrillera?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	9	16.7	16.7	16.7
	No	42	77.8	77.8	94.4
	No recuerda	1	1.9	1.9	96.3
	Más o menos	2	3.7	3.7	100.0
	Total	54	100.0	100.0	

Fuente: Información obtenida en campo, 2012

La operación de los hornos ladrilleros, clasificados como fuentes fijas de jurisdicción estatal con actividad artesanal, debe cumplir con los siguientes ordenamientos Jurídicos; Ley para la Protección y preservación del Ambiente en el Estado de Guanajuato, Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera, Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-001/2010 que establece las condiciones para la ubicación y operación de fuentes fijas con actividad artesanal para la producción de piezas elaboradas con arcilla. Sin embargo de los 54 encuestados, 42 los desconocen y solo 9 afirmaron conocer las reglas/requisitos para la ubicación y funcionamiento de una ladrillera.

“Conocimiento Sistemico
para el Desarrollo”

Ante la pregunta de si ha pensado en utilizar nuevas tecnologías para mejorar su proceso productivo, 20 productores respondieron que sí, mientras que 34 productores entrevistados respondieron que no, la razón de la respuesta negativa, es que la mayoría tiene una autopercepción de incapacidad y ven los cambios como inalcanzables, dada la falta de solvencia económica, la baja rentabilidad del sector.

Tabla 7. ¿Cuáles nuevas tecnologías ha pensado utilizar para mejorar su proceso productivo?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Un horno ecológico	4	7.4	7.4	7.4
	Una mezcladora	6	11.1	11.1	18.5
	Una máquina para hacer tabique	1	1.9	1.9	20.4
	Gas L.P.	7	13.0	13.0	33.3
	No aplica	33	61.1	61.1	94.4
	No sabe	3	5.6	5.6	100.0
	Total	54	100.0	100.0	

Fuente: Información obtenida en campo, 2012.

Del 100% de productores que contestaron que si han pensado utilizar nuevas tecnologías para mejorar su proceso productivo, 13.0% menciono el gas L.P, 11.1% una mezcladora, 7.4% un horno ecológico, 1.9% un máquina para hacer tabique y el 5.6% expreso no saber qué nueva tecnología le gustaría implementar en su unidad productiva.

54 productores encuestados 46 es decir 85.2% están conscientes de lo que su actividad ocasiona al medio ambiente. Pero pese a ello, afirman que no pueden dejar de trabajar ya que su actividad laboral es el único medio que tienen para subsistir económicamente. Del total de encuestado 8 (14.8%) afirmó desconocer lo que su actividad ocasiona al medio ambiente.

El conocimiento que los productores encuestados tienen, sobre lo que su actividad ocasiona al medio ambiente, es principalmente contaminación a la atmósfera con un 81.1%, intoxicación en las personas y afectación a su sistema respiratorio con un 1.9% respectivamente. Y pese a las afectaciones en la salud a las que están expuestos a causa de

su trabajo cotidiano, 44 de los 54 productores (81.5%) afirmaron que jamás se han enfermado y solo 10 acepto haberse enfermado a causa de su actividad laboral (18.5%).

Ante el cuestionamiento de si las autoridades le plantearan la posibilidad de reubicarlo en un parque ladrillero: ¿cuál sería su opinión? Se encontró que 35 de 54 productores, de acuerdo, siempre y cuando las autoridades los apoyen en la compra del terreno, y la construcción de su horno; 12 de 54 productores indeciso, debido a que han escuchado muchas veces el planteamiento de la reubicación y ni las autoridades ni los organismos correspondientes lo han llevado a cabo y dudan que algún día se realice el proyecto; y 5 de 54 productores respondió estar en desacuerdo, puesto que ya fueron reubicados por las autoridades a las afueras del municipio. En general los productores están de acuerdo en reubicarse, saben que esto traería beneficios tanto para ellos, el medio ambiente y la sociedad entera.

Aspectos ambientales: combustibles usados

El uso de llantas usadas está extendido en las ladrilleras artesanales. Se utilizan generalmente cortadas en trozos pero también enteras. Este material junto con los artículos de plástico son los más contaminantes de todos los usados como combustible puesto que su quema genera humos altamente tóxicos.

Las llantas son acopiadas por recicladores generalmente informales que las transportan en camiones hasta las zonas de actividad ladrillera donde las venden al mejor postor y descargan directamente junto al horno. Las zonas donde se utiliza o se ha utilizado llantas

pueden ser fácilmente identificadas por la coloración negruzca del humo y de las paredes de los hornos.

Se utilizan bolsas plásticas de PVC, polietileno, botellas PET, y en general cualquier material plástico disponible como complemento para acelerar el encendido y también para “avivar” el fuego cuando la combinación combustible-oxígeno no tiene suficiente potencial calórico. A la par en el uso de las llantas usadas son los materiales de más alta toxicidad. Todos estos materiales pueden ser adquiridos en diversos centros de acopio o reciclaje donde se venden al mejor postor.

Principales impactos de la industria ladrillera

La actividad de fabricación de ladrillos genera impactos sobre la calidad del aire y sobre la morfología del terreno. En el primer caso debido principalmente a las emisiones de humos procedentes de los hornos en la etapa de cocción que causan efectos directos e indirectos sobre la salud humana, la flora, la fauna, los cuerpos de agua, y contribuyen al cambio climático global. En el segundo caso porque la explotación de las canteras produce excavaciones que no solamente afectan el paisaje sino también la estructura y configuración del terreno ocasionando deforestación, pérdida de la capa productiva del suelo, y erosión.

Tabla 8. Contaminantes que genera el proceso productivo de ladrilleras

Etapas	Actividades que Generan Contaminantes	Tipo de Contaminantes
Extracción de Arcilla y tierras	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción con herramientas manuales • Extracción con maquinaria pesada 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasas Partículas en suspensión • Abundantes Partículas en suspensión

		<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la morfología del • Terreno • Partículas en suspensión
Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> • Tamizado y selección • Mezcla de arcillas con agua y arena 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas en suspensión
Moldeado	<ul style="list-style-type: none"> • No generan contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua, el cual es en principio inocuo para la salud. Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
Carga del horno	<ul style="list-style-type: none"> • No genera contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
Cocción	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustibles en la cocción de ladrillos: Llantas, aceite usado, aserrín de madera, ramas y leña carbón de piedra 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas en suspensión • Dióxido de azufre • Dióxido de nitrógeno • Compuestos orgánicos volátiles
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • Descarte de productos rotos, mal cocidos, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos inertes
Despacho	<ul style="list-style-type: none"> • Descarte de productos rotos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos inertes

Fuente: CENICA (2002).

Conclusiones

- En el aspecto social, la mayoría de jefes de familia, responsable de cada ladrillera cuenta con el nivel de educación “primaria”.
- Las ladrilleras de producción artesanal no están representadas en ningún tipo de organización legalmente establecida.
- Los productores no reciben asesoramiento ni algún tipo de apoyo “de parte de las autoridades. *o parte de las autoridades Sistémico para el desarrollo*”
- El proceso productivo es realizado en hornos deficientes, con tecnologías rudimentarias que requieren un mayor consumo de combustibles incrementando el costo de producción.
- El combustible utilizado en mayor medida es el aserrín. Sin embargo en algunos sectores es evidente el uso de desperdicio textil.

- Más del 50% de los productores conocen las repercusiones que su actividad ocasiona al medio ambiente.
- Los productores pequeños con un horno de poca capacidad no obtienen una ganancia que les permitan mantenerse en el mercado, por lo que prefieren vender o rentar el horno.
- Algunas unidades de producción no cuentan con servicios públicos elementales como agua y luz.
- Los productores se encuentran en una situación crítica en términos económicos. Por lo cual es posible pensar que estos, en el mediano plazo, abandonen, vendan o renten su horno a otros productores de mayor capacidad económica.
- La idea de un cambio tecnológico es vaga para la mayoría de los productores ladrilleros.
- Para disminuir la contaminación y suponiendo que se lleve a cabo el proyecto de reubicación de ladrilleras, se necesitaría del esfuerzo y compromiso por parte de la autoridades de Yuriria.
- Con respecto a un posible proyecto de parque ladrillero, es necesario hacer las siguientes consideraciones: no todos los productores de baja capacidad económica pueden cambiarse de su lugar de producción a un parque ladrillero por todo lo que ello implica, principalmente, gastos de traslado y construcción de un nuevo horno.

Bibliografía

- INEGI, 2011. Censo de Población y Vivienda.
- Norma Técnica Ambiental NTA - IEE - 001/2010.

- Moreno, Trujillo Paola. 1991. *La protección jurídica privada del medio ambiente y la responsabilidad por su deterioro*, Barcelona.
- Secretaría de Desarrollo Social Y Sustentable, Primera Etapa del Diagnóstico de la Industria Ladrillera y de Cerámica del Estado de Sinaloa, septiembre de 2010.



“Implementación de un sistema de instrumentación eficiente y rentable para invernaderos.”

Héctor Hernández Cisneros¹; Everardo Vargas Rodríguez²; Alejandro Ortega Hernández³.

Resumen

Históricamente el Bajío Guanajuatense ha sido conocido por su participación en el producto interno bruto agrícola y sus altos niveles de productividad; en estos días, la región se ha caracterizado por su agricultura moderna y comercial, enfocada en el libre comercio, principalmente con los Estados Unidos. Así, esta actividad se ha desarrollado mediante el uso de insumos y tecnología modernos; de este modo, la agricultura de invernadero es uno de las diferentes innovaciones introducidas en aras de satisfacer las demandas del mercado internacional. Sin embargo, este proceso es afectado por la falta de insumos tecnológicos; es decir, los propietarios de invernaderos tienen que importar desde Estados Unidos, Israel y Canadá principalmente sus requerimientos, y el mantenimiento llega a ser un problema porque no hay quien pueda proveer dicho tipo de servicios. Más aún, los costos son muy altos, lo que hace que los beneficios se reduzcan. En este sentido, esta investigación desarrolla un sistema de instrumentación que permita a los propietarios de invernaderos obtener los mismos resultados que con los sistemas importados; porque se intenta desarrollar un sistema de instrumentación hecho con partes importadas, sensores y software principalmente, ofreciendo al mismo tiempo la asesoría técnica; en general, esto permite obtener un eficiente y rentable sistema de instrumentación acorde con las demandas internacionales.

Palabras clave: Invernadero, Sistema de Instrumentación, Bajío Guanajuatense, Agricultura.

Abstract

Historically the Bajío guanajuatense is well known by its agricultural participation in the gross domestic product and its high productivity levels; now a day, this region is characterized by its modern and commercial agriculture, focused on free trade, primarily with the United States of America. So, this activity has been developed by using modern

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

¹ Alumno de Licenciatura de la Carrera en Gestión Empresarial (pasante); correo: hector.hnz.c@gmail.com; Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

² Profesor-Investigador en la Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica; correo: evr@ugto.mx; Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato.

³ Doctor en Ciencias, correo: a.ortega@ugto.mx, Profesor del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, Universidad de Guanajuato.

supplies and technology; thus, agriculture by greenhouse is one of this kind of innovations introduced in order to satisfy international market demands. However, this process is affected by the lack of an enough technology supply; we mean, greenhouse owners have to import from USA, Israel, Canada mainly, their requirement, and the maintenance becomes a problem because there is no one who could provide this type of service. Furthermore, the costs are very high, which makes the profit lower. In this way, this research develops an instrumentation system which permits to the greenhouse owner obtain the same result by using an imported instrumentation system; that's because we have improved a instrumentation system made with imported parts, sensors and software mainly, and offering at the same time the technical advice; in general it permits to obtain an efficient and profitable instrumentation system according to international demands market.

Key words: Greenhouse, Instrumentation System, Bajío Guanajuatense, Agriculture.

Introducción

El estado de Guanajuato se caracteriza por ser una de las entidades de México con una de las agriculturas más dinámicas y de tipo empresarial; esto se manifiesta a través del amplio desarrollo de la agricultura de invernadero; sin embargo, esta actividad se ve limitada por el escaso desarrollo de la infraestructura necesaria para ello, tal como la disponibilidad de tecnología, insumos y asesoría técnica. Es por ello, que este documento plantea la necesidad de desarrollar un sistema de instrumentación que permita a los propietarios de invernaderos mantener una ventaja competitiva en el mercado internacional manteniendo al mismo tiempo los márgenes de utilidad necesarios para las inversiones realizadas en el ramo. Hasta el momento el estudio de mercado y técnico han demostrado que esto es posible de hacer, sin mencionar su necesidad en el Bajío Guanajuatense.

Antecedentes

En México el apoyo a la investigación y desarrollo en tecnología es limitada, ello se evidencia en el 0.4% del PIB que se asigna para este rubro, si lo comparamos con el 1%

que recomienda la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para un progreso sano de los países (Díaz, 2012). Esta falta de inversión no permite el crecimiento, ni el desarrollo tecnológico y económico de los sectores productivos del país. Para el caso del sector primario, conformado por la agricultura, la ganadería, la pesca y el sector forestal, esta situación no es la excepción y no es de extrañarse que la agricultura se encuentre rezagada por la falta de herramientas tecnológicas auxiliares en la producción y necesarias para incrementar la competitividad. Por lo tanto es necesario que las instituciones encargadas del desarrollo tecnológico incentiven la creación de nueva tecnología. En el caso del CONACYT en el año 2013, según datos de la Cámara de Diputados en la subdirección de análisis económico 2012-2013, se destinaron 25 mil 245.96 mdp para ciencia, tecnología e innovación cantidad aún insuficiente para satisfacer las necesidades tecnológicas del país (Reyes, 2013). Las áreas con problemas en cuanto a la creación y desarrollo tecnológico son muy extensas, es por ello que en la presente investigación se enfoca a ofrecer alternativas para el desarrollo de tecnología en la agricultura y específicamente en proveer herramientas automatizadas para el control de los microclimas en invernaderos, es decir se pretende proponer una solución a la problemática del atraso tecnológico. De forma más concreta, el caso de la agricultura mexicana presenta graves problemas en cuanto a la utilización de tecnología se refiere, trayendo como principal consecuencia un bajo nivel productivo y estándares de calidad por debajo de los establecidos por otras naciones para poder venderles nuestros productos. En los últimos años los agricultores han optado por cambiar su sistema de agricultura tradicional a la agricultura protegida o en microambientes controlados, ya que este sistema les asegura proteger su cultivo e incrementar la producción, al igual que aumentar la calidad de sus productos haciéndolos aptos para su exportación, los beneficios de contar con un

invernadero automatizado son evidentes, sin embargo no todos los agricultores pueden tener acceso a ellos.

En el caso del estado de Guanajuato es una de las entidades agrícolas más importantes del país, y uno de los primeros por la gran diversidad de cultivos. En la región sur del Estado de Guanajuato, existen municipios que cuentan con las oportunidades para la siembra de hortalizas mediante la agricultura protegida a costos muy competitivos, actualmente con alrededor de 70 especies, entre las que destacan:

- Frutas y hortalizas: Fresa, pepino, brócoli, coliflor, lechuga, zanahoria, ajo, cebolla, chile verde;
- Leguminosas: Frijol, garbanzo y lenteja;
- Otros cultivos: Cacahuate, camote, papa y comino.

Con un 4% de la superficie sembrada, las hortalizas generan un 19% del valor de la producción.

Las condiciones para el desarrollo agrícola del estado son propicias por sus características de clima y suelo; asimismo por la infraestructura y servicios para la producción y comercialización (SDAR, 2013).

El clima en el estado de Guanajuato es un factor muy importante y puede ser tomado como una ventaja competitiva para la producción de hortalizas en ambientes controlados, existe alta radiación solar y bajo gasto de energía para calefacción durante el invierno; esta es una gran oportunidad con la cual se puede competir con otras regiones; cabe mencionar que existe una problemática para los agricultores debido a la carencia de tecnología y asesoría técnica ya que ambas son muy costosas, esto presenta una desventaja en su producción.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

La interacción entre la universidad, la industria y el gobierno es la llave para el aumento en la innovación ya que las nuevas ideas generadas por los egresados de las universidades pueden ser aplicables a la industria. Para lo cual la industria necesita dar a conocer sus necesidades y aportar capital, La finalidad de este tipo de interacciones es gestionar juntos los recursos para crearlos (Etzkowitz, 2008).

Planteamiento del problema

En la región sur del Estado de Guanajuato, existen municipios que por sus condiciones climáticas ofrecen oportunidades excepcionales para la siembra de hortalizas mediante la utilización de la agricultura protegida, el 80% del territorio guanajuatense tiene climas secos y semisecos, con temperaturas promedio que oscilan entre los 18 °C y los 22 °C durante todo el año. El estado también cuenta con climas semicálidos y subhúmedos al suroeste del estado, templados al sureste de la entidad y templados semisecos al norte, con excepción del que se presenta en la Sierra de la Media Luna, el cual se caracteriza por ser templado subhúmedo, este tipo de climas son aprovechados por los invernaderos ya que la eficiencia de los túneles o invernaderos radica en el aprovechamiento de las variables climáticas es decir; en el estado existe alta radiación solar durante todo el año y que en invierno reduce los costos de energía por calefacción, que da como resultado la posibilidad tener una producción constante durante todo el año; esta es una gran oportunidad con la cual se puede competir con otras regiones.

La principal problemática para los agricultores son los elevados costos que tiene adquirir este tipo de tecnología, si bien en la región se pueden encontrar proveedores que fabrican los macro túneles no así se encuentran proveedores para el sistema automatizado de riego,

monitoreo de PH, control de la conductividad eléctrica y control de temperatura. Los agricultores que cuentan con los recursos económicos consiguen importar la tecnología de Israel, Holanda y España países pioneros en la utilización de invernaderos totalmente automatizados, la tecnología es importada por medio de intermediarios que como es conocido encarecen los precios elevando aún más el costo e impidiendo que en general los agricultores puedan tener acceso a ella. Algunos de los problemas más importantes derivados de la importación de tecnología extranjera es la accesoria técnica y la falta de refacciones por parte la empresa exportadora en el país donde se compró la tecnología, la accesoria técnica es brinda por los intermediarios a un alto costo ya que tienen que pagar los viáticos y el sueldo por día de la persona que brinda la asesoría del funcionamiento de la tecnología, las refacciones son de suma importancia ya que los invernaderos ven interrumpida su producción cuando alguna pieza se daña, el periodo promedio de espera para cualquier pieza de refacción es de 3 meses ya que la pieza es transportada por vía marítima desde el país donde se compró el sistema automatizado.

Para dar solución a la dichas problemáticas en la presente investigación se ofrece una propuesta de instrumentación tecnológica que reduzca los costos, tiempos de transporte, accesorias adecuadas que asegure el uso óptimo y eficiente de la tecnología; la propuesta pretende desarrollar un sistema de instrumentación que permita automatizar invernaderos a bajo costo a través de la vinculación entre la Universidad, el Gobierno y el Sector Privado.

En una primera etapa la investigación estará orientada a satisfacer las necesidades de los agricultores del estado de Guanajuato en particular en la región sur conformada por valle de Santiago, Moroleón, Uriangato, Yuriria y Salvatierra esto por las condiciones que brindan estos municipios.

Estados como Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Zacatecas, ubicados en lo que se considera como el Occidente del país, se encuentran entre los 10 principales estados del país en importancia agrícola, tanto por superficie sembrada, cosechada como por el valor de su producción anual (véase cuadro 1).

Cuadro 1. Principales estados en cuanto a superficie sembrada, cosechada y valor de la producción.

ESTADO	Superficie sembrada (ha)	Superficie sembrada (%)	Superficie Cosechada (ha)	Superficie Cosechada (%)	Valor de la producción en miles de \$	Valor de la producción en %
Chiapas	1404119.23	6.4%	1376128.78	7.4%	15620442.19	5.3%
Chihuahua	1051299.41	4.8%	1017182.91	5.4%	15408534.54	5.2%
Colima	154723.2	0.7%	149018.51	0.8%	3724996.95	1.3%
Guanajuato	1060560.74	4.9%	701559	3.8%	13084870.84	4.4%
Jalisco	1579622.82	7.2%	1302857.39	7.0%	18558222.96	6.3%
Michoacán	1088796.01	5.0%	900397.05	4.8%	29745555.86	10.1%
México	885468.57	4.1%	844619.86	4.5%	13729693.71	4.7%
Oaxaca	1383748.95	6.3%	1185739.9	6.3%	10517850.32	3.6%
San Luis Potosí	733021.91	3.4%	438249.89	2.3%	6855927.14	2.3%
Sinaloa	1305331.55	6.0%	1157032.07	6.2%	29603467.35	10.0%
Sonora	578438.66	2.6%	565296.92	3.0%	20619350.84	7.0%
Tamaulipas	1407771.5	6.4%	1264098.15	6.8%	12088476.08	4.1%
Veracruz	1416647.81	6.5%	1344486.33	7.2%	20414728.38	6.9%
Zacatecas	1280744.63	5.9%	853942.85	4.6%	10167501.14	3.5%
70.2%			70.1%			74.7%

Fuente: (SIAP, 2011.)

El estado donde se limita la investigación se puede observar que los cultivos más grandes son de granos y la producción de hortalizas es menor pero con los invernaderos auxiliados por la instrumentación es posible aumentar las cifras de producción considerablemente.

Metodología

En una investigación de campo que se realizó por alumnos de la Universidad de Guanajuato, del Departamento de Estudios Multidisciplinarios-Yuriria (DEM-Yuriria), se recopiló información acerca de los invernaderos que existen en algunos municipios de la región sur de estado de Guanajuato (Yuriria, Jaral y Salvatierra); se visitaron 15 invernaderos de los cuales 14 son semiautomatizados y uno manual; de los 14 invernaderos que cuentan con tecnología todos importan el sistema de riego y el sistema de ventilación; los principales países de donde proviene la tecnología son Israel, Holanda y España.

Técnica de muestreo

Se eligió utilizar esta técnica de muestreo porque el software es un producto que se ofrecerá al mercado regional conforme a los invernaderos lo vayan requiriendo de acuerdo a sus necesidades. La vida útil del software es por bastante tiempo, solo requiere pequeñas actualizaciones.

Los lugares en donde se levantó la información fueron: 1) Municipio: Jaral del Progreso, Rancho el Sapo “Agrin House”. 2) Municipio: Salvatierra, San Nicolás, “Productores Unidos SAPVSA. S.P.R. De R.L.”. 3) Municipio: Santiago Maravatío “San Nicolás 1”. 4) Municipio: San Francisco “Agrícola Agriso”. 5) Municipio: Uriangato.

Modelo de la triple hélice como perspectiva de análisis sistémica

La triple hélice es un modelo basado en métodos de innovación que surgen internamente en tres esferas sociales Universidad, Gobierno e Industria, por ejemplo los cambios dentro de la universidad permiten identificar a los alumnos con talento emprendedor, esto es posible ya que se analizan los planes de negocios que los alumnos elaboran, cada plan de negocios es evaluado para detectar las ideas innovadoras y sobre todo a los alumnos con cualidades proactivas que puedan aportar conocimiento útil para el desarrollo de tecnología (Etzkowitz, 2008).

La finalidad del de la metodología de la triple hélice es ser utilizada como un modelo que permita identificar a jóvenes alumnos de universidad proactivos en los cuales se pueda generar una transferencia de tecnología, en colaboración con el sector productivo y gobierno, una de las características principales de la triple hélice es rebasar la innovación e influenciar la manera en que trabajan e interactúan estas tres esferas sociales.

Las relaciones entre la universidad y la industria a menudo tienen un tercer jugador; estudios realizados por el profesor Rosalba Casas, miembro del grupo de investigadores de la UNAM, demuestran que la universidad y la industria en México primeramente interactúan a través de sus vínculos con el gobierno. En contraparte, en Estados Unidos el gobierno juega un rol muy importante en la interacción universidad-industrial, a través de los cambios en las leyes de patentes y el capital público ofrecido (*public venture capital*) para que comiencen sus investigaciones (Etzkowitz, 2008).

La implementación de este tipo de metodología como lo es la triple hélice es de suma importancia ya que permite conocer las funciones y roles que realizan las tres esferas sociales antes mencionadas, para el caso de esta investigación este modelo ayudara a identificar las actividades que realizan estas tres esferas y que pueden trabajar a la par con la finalidad de ser aplicadas en la investigación y desarrollo tecnológico en la Universidad de Guanajuato, la tecnología que se desarrollara con la colaboración de estas tres esferas estará dirigida a cubrir las necesidades de los agricultores en cuanto monitoreo y automatización, es importante mencionar que el desarrollo de la tecnología en el sur del estado de Guanajuato solo será posible si trabaja conjuntamente gobierno, universidad y productores agrícolas basándose en el modelo *The triple helix* ya que es un modelo desarrollado partir de un análisis de la relación del gobierno hacia la universidad y la industria en diferentes sociedades y sus diversas actividades en la innovación contribuyendo al desarrollo económico y tecnológico.

Orígenes de la universidad empresarial

Aunque la formación de empresas por parte de los académicos no es un nuevo fenómeno, es sólo recientemente que las universidades han alentado a su personal para dar este paso.

Por otra parte, los profesores que participan en la formación de las empresas también se están conservando sus cargos docentes.

La "lógica interna" de la misión académica original se ha ampliado a partir del conocimiento (educación) para incluir también la creación de conocimiento (investigación) y luego aplicación de estos nuevos conocimientos, es decir, el espíritu empresarial (Etzkowitz, 2008).

Para lograr un cambio innovador las instituciones en este caso la educativa debe hacer cambios estructurales dentro de sus actividades que realiza cotidianamente, esto con la finalidad de fomentar el trabajo conjunto entre investigadores y alumnos emprendedores para que juntos desarrollen empresas basadas en investigación, de esta manera cada innovación organizacional académica sucesiva ha dado a la universidad una mayor capacidad para establecer su propia dirección estratégica.

El desarrollo de las relaciones universidad-industria

Los parques científicos son el hogar de las unidades de investigación de las empresas que ofrecen proyectos y oportunidades de colaboración con sus contrapartes académicas y centros que proporcionan un formato para enlazar grupos de investigación e investigadores de la firma en un todo más amplio, con una estructura de toma conjunta de decisiones. Un gran todo se crea a partir de estos elementos como factores cognitivos y de organización siguiendo las trayectorias lineales hacia adelante y hacia atrás, y el cruce crea un enriquecimiento mutuo entre ellos (Etzkowitz, 2008).

Por un lado, el aumento de los recursos financieros necesarios para la realización de investigaciones condujeron inevitablemente a los científicos a prestar más atención a las tareas de recaudación de fondos, y el éxito en estas tareas se hicieron cada vez más un requisito previo para la capacidad de lograr el éxito en la investigación.

Para el caso de esta investigación y con el objetivo de comercializar la instrumentación tecnológica para invernaderos es necesario contar con una persona de enlace que pueda asumir la responsabilidad de organizar la interacción entre un departamento de vinculación

o unidad de investigación Universidad de Guanajuato en el DEM-Yuriria y un grupo de productores agrícolas de la región sur del estado de Guanajuato interesados comprar sistemas para monitorear y automatizar los procesos productivos dentro de los invernaderos. Si el enlace resulta exitoso puede dar lugar a contratos de instalación de la instrumentación y cuya instalación derivara en posteriores consultas acerca del manejo de la instrumentación, también se tendrán que ofrecer capacitaciones y un servicio de mantenimiento, para lograr que el productor agrícola acepte comprar la instrumentación se planea realizar varias estrategias de venta las cuales se explican a detalle más delante, entre las más importantes se encuentra ofrecer pruebas físicas de la instrumentación dentro de una unidad experimental proporcionada por el DEM-Yuriria y operada por alumnos de la esta misma universidad.

Propuesta para el desarrollo de instrumentación tecnológica para invernaderos

El modelo *The triple helix* que se implementa en los Estados Unidos con la finalidad de desarrollar tecnología ha sido de gran importancia en el desarrollo económico y social de ese país, es por tal motivo que en esta investigación se incorporan algunas de las ideas más importantes de este modelo adecuándolo a las necesidades y contexto actual de la región sur del estado de Guanajuato y la Universidad de Guanajuato en el Departamento de Estudios Multidisciplinarios de Yuriria.

El modelo de la triple hélice muestra el vínculo de trabajo entre Universidad, Industria y Gobierno para desarrollar proyectos de alta tecnología, modelo exitoso aplicado en los Estados Unidos de Norteamérica, y debido al contexto en el que se encuentra México, en

cuanto a desarrollo de infraestructura y recursos, a la delimitación geográfica y alcance de esta investigación se plantea una adaptación del modelo de la triple hélice que este en congruencia con los objetivos de esta investigación. El modelo que aquí se propondrá muestra las tres esferas sociales importantes para el desarrollo económico, que en nuestro caso contempla: a la Universidad (DEM-Yuriria), Productores agrícolas y Gobierno en la cual sostienen un trabajo conjunto para la generación de ideas y nuevos procesos productivos que cubran las necesidades en la agricultura protegida y a la par mantienen un vínculo de interrelación donde pueden compartir ideas pero a la vez mantienen su autonomía que les permite realizar sus actividades por separado; durante este proceso las tres esferas son capaces de mantener una transferencia de tecnología basada en el intercambio de ideas y personal capacitado para desarrollar tecnología que cubra las necesidades de producción agrícola en invernaderos, aumente la competitividad y reduzca los costos.

Para lograr esto es necesario que cada esfera trabaje en sí misma innovando en su rol o actividad diaria, por ejemplo:

La universidad debe comenzar por:

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

- Detectar a jóvenes universitarios del DEM-Yuriria que sean emprendedores y con ideas innovadoras, plasmadas en un plan de negocios que ayuden al sector agrícola a desarrollar tecnología de automatización y monitoreo para invernaderos;
- Fomentar el trabajo multidisciplinario con alumnos de otras carreras que aporten conocimientos y fortalezcan el proyecto, sobre todo en el área de ingeniería;

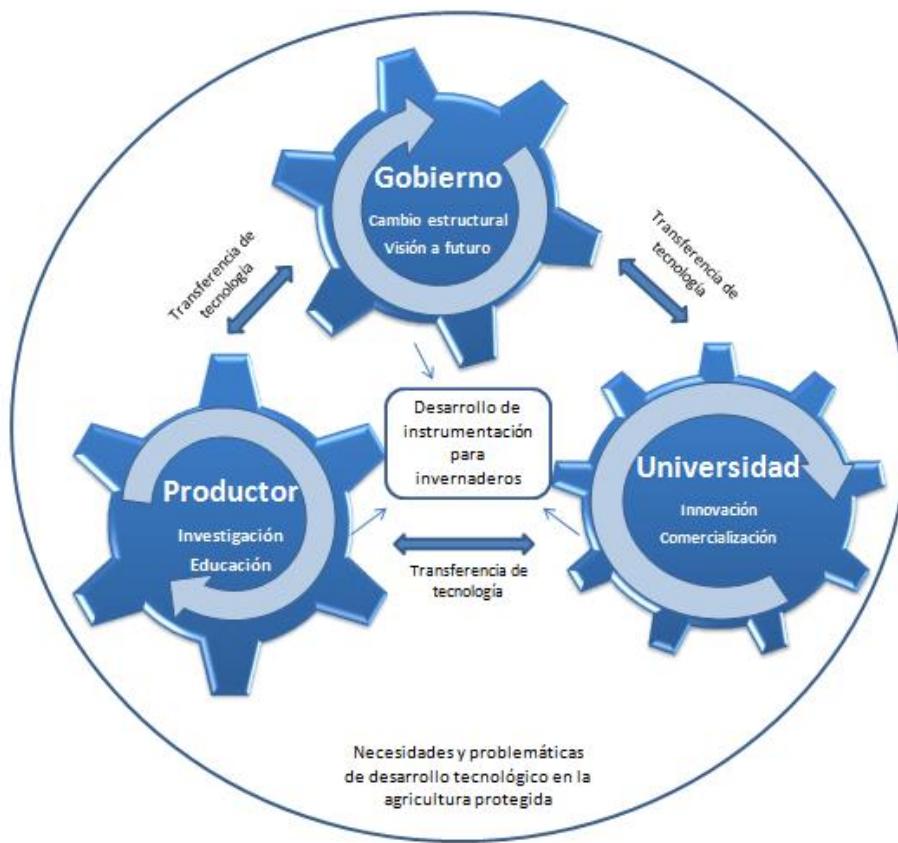
- Trabajo conjunto con investigadores del DEM-Yuriria que dirijan el proyecto y aporten conocimiento;
- Los directivos del DEM-Yuriria deberían comenzar a incentivar la investigación ofreciendo infraestructura, en este caso un invernadero experimental donde se pueda probar el sistema de automatización.

Estos puntos son claves para que la Universidad se convierta en una empresa enfocada a la investigación, donde debe establecer una colaboración tecnológica-comercial equilibrada durante este proceso ya que es la clave para la creación de una nueva empresa con potencial de crecimiento, en lugar de una empresa dedicada a la investigación o desarrollo tecnológico si la transferencia de tecnología adecuada. Cuando se finalice este proyecto, se pretende que la universidad oferte sus investigaciones a través del centro de negocios del DEM-Yuriria, mediante la vinculación con productores agrícolas interesados en adquirir el sistema de instrumentación tecnológico para invernaderos.

De esta manera la universidad introduce una actividad empresarial a las actividades cotidianas de docencia e investigación, que es la de comercializar las investigaciones realizadas en el DEM-Yuriria.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Figura 1. Modelo para el desarrollo de instrumentación tecnológica para invernaderos empleando la metodología de la Triple Hélice



Fuente: Elaboración propia basado en el modelo *The triple hélix*.

La idea de crear Universidades empresariales, gobiernos con visión de futuro, productores que se integren más a la dinámica de cooperación por el desarrollo tecnológico tienen cada vez más una realidad y se incorpora a las estrategias de crecimiento basadas en la innovación académica e incubación. Los grandes productores deben modificar sus actividades y permitir la investigación para convertirse en unidades de parques científicos con el fin de colaborar más estrechamente con los grupos académicos de investigación para desarrollar nuevos productos, así como para reclutar y mantener un ojo en descubrimientos

"Conocimiento Sistemico para el desarrollo"

con implicaciones comerciales o bien implementarlos en sus actividades y generar ventajas competitivas.

Resultados

A continuación se presentan algunos de los principales resultados en base a las hipótesis que se plantearon en el diseño del método de muestreo:

Cuadro 2. Comprobación de hipótesis

Hipótesis	Resultado	Motivo
1. La tecnología con la que se cuenta hoy en día en los invernaderos tecnificados y semitecnificados cubren las necesidades de: calefacción, control de riego, medición de PH, control de ventilación, temperatura.	Rechazada	La mayoría de los invernaderos tecnificados y semi-tecnificados no cuenta ni siquiera con tecnología; por lo tanto no se cubren todas sus necesidades.
2. La tecnología automatizada (software) para invernaderos oscila a un costo entre \$300,000.00 y \$500,000.00.	Rechazada	La tecnología es mucho más cara.
3. Las existentes tecnologías para el control automatizado de la agricultura protegida, cubren al cien por ciento las necesidades existentes día con día.	Rechazada	La tecnología actual con la que cuentan no cubre totalmente sus necesidades.
4. Es funcional adicionar las	Aceptada	Los productores agrícolas

<p>siguientes características al software integral tales como: control administrativo, revisar y controlar desde dispositivos móviles y/u ordenadores convencionales, reduciendo costos y aumentando la accesibilidad al usuario en cuanto a capacitación, mantenimiento y actualizaciones.</p>		<p>demandan algunas características adicionales a su tecnología actual.</p>
---	--	---

Como se observa en el cuadro anterior, en general tiende a predominar entre los propietarios de los invernaderos la idea de que la actual disposición de tecnología no cubre las necesidades que ellos actualmente presentan. Y al mismo tiempo, desean una opción más integral, y de fácil acceso, de sistemas útiles para invernaderos.

En cuanto a las necesidades que los propietarios de invernaderos reportan respecto a la tecnología que actualmente emplean, señalaron lo siguiente:

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Figura 1. ¿Qué necesidades cubre la tecnología actual para llevar el control de los requisitos del cultivo?

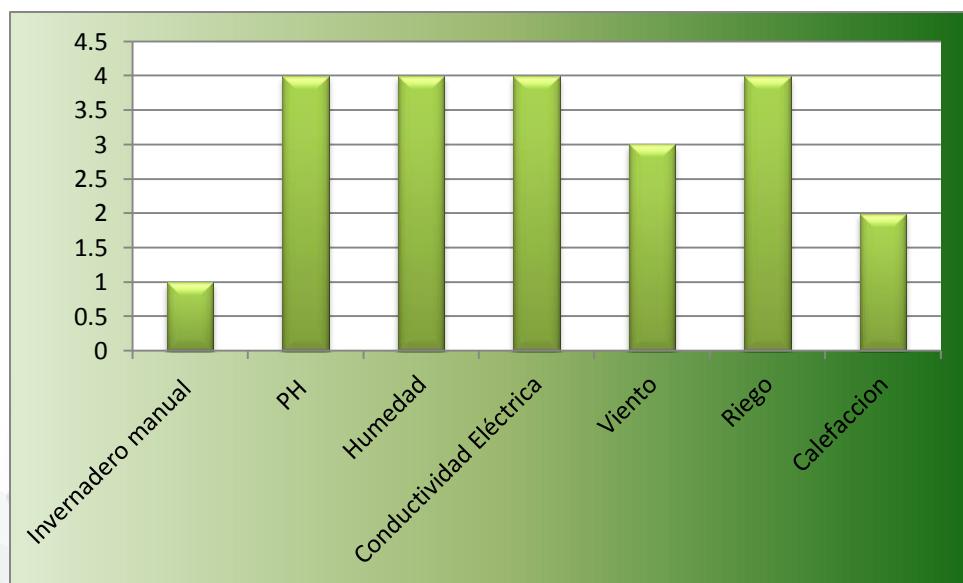
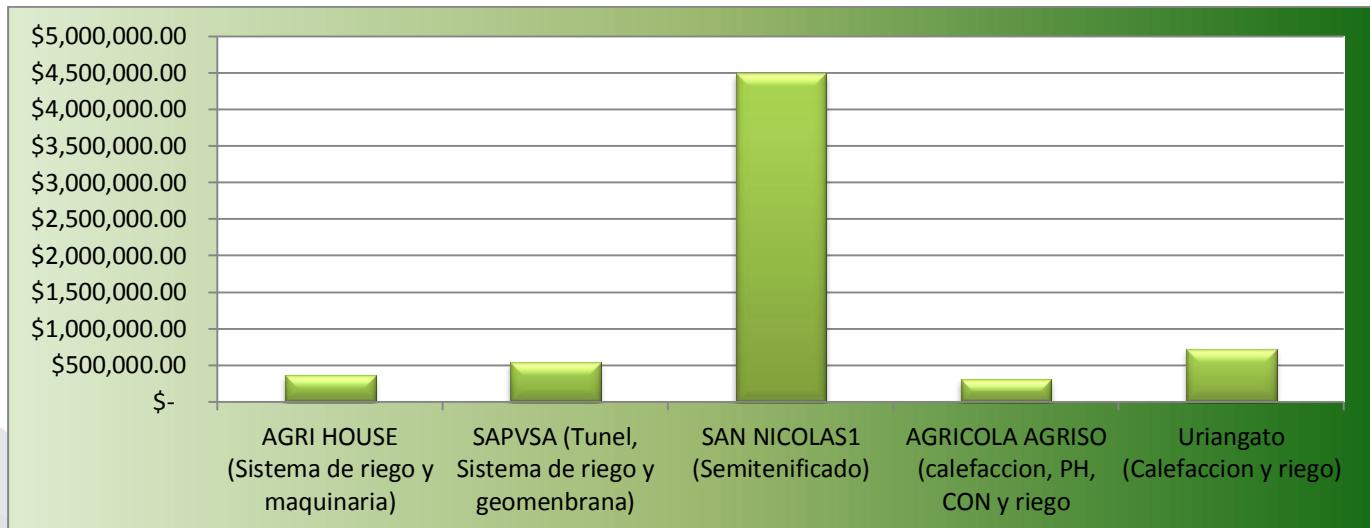


Figura 1. Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades de cada invernadero son diferentes debido a la superficie sembrada para este caso solo 1 (SAPVSA) de los 5 invernaderos es completamente manual por dos motivos uno es el alto costo y la segunda porque el dueño ya conoce el sistema, de los siguientes 2 (Uriangato y AGRICOLA AGRISO) de los 5 invernaderos cuentan con sistemas básicos automáticos de control como PH, Humedad, Conductividad eléctrica, viento y riego, y solo 2 (SAN NICOLAS Y AGRI HOUSE) invernaderos son completamente semiautomatizados y cuentan con el control automático de PH, Humedad, Conductividad eléctrica, viento, riego y calefacción.

Figura 2. Mencione el precio aproximado de esa tecnología.

Fuente: Elaboración propia.

La información que se recopilo en relación al precio aproximado de la tecnología que utiliza cada invernadero fue distinta ya que dependiendo la superficie a cubrir depende el precio y los dueños no proporcionaron la información específica de cada tecnología.

Figura 3. ¿Está satisfecho con las necesidades que cubre dicha tecnología?

*“Conocimiento Sistemico
el desarrollo”*

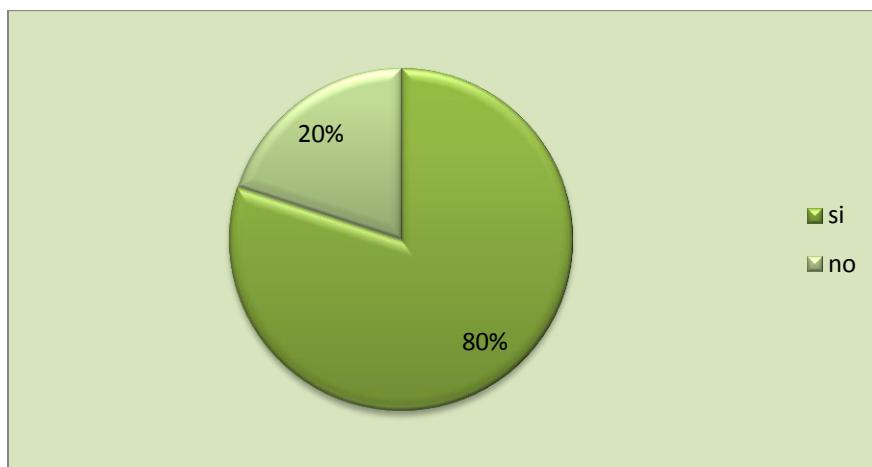
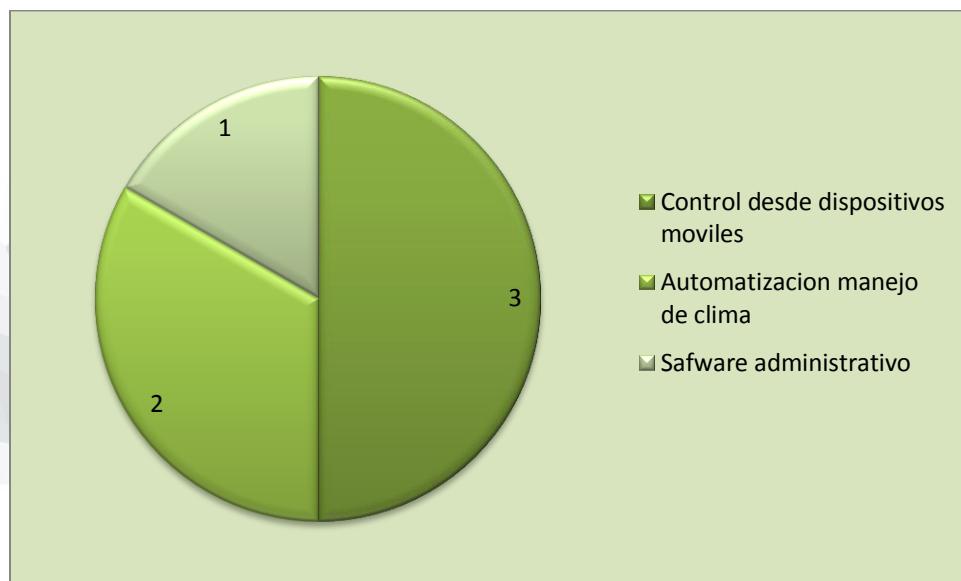


Figura 3. Fuente: Elaboración propia

El 80% coincide que están satisfechos por el momento debido al espacio, porque ya conocen su sistema, en concreto mientras no aumenten su capacidad seguirán igual. El 20% restante no están satisfechos porque necesitan adaptar nuevas tecnologías.

Figura 4. ¿Qué características adicionales le gustaría que se le agregaran al sistema de tecnología que usted utiliza?



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la figura 4 de los dueños o encargados de los invernaderos coinciden en que sería de utilidad contar con un sistema que les permita revisar y controlar las condiciones del microclima interno de los invernaderos desde una computadora portátil o dispositivo móvil.

También 2 dueños coinciden en que les gustaría automatizar el manejo del micro clima como es la calefacción y el viento.

Y por último un dueño nos dio a conocer su necesidad en cuanto a un software administrativo que le permita agilizar el proceso administrativo ya que actualmente lo hacen en papel.

Conclusiones de esta investigación de mercado

Cuatro de los dueños de los invernaderos coinciden en que uno de los principales problemas de los sistemas automatizados que manejan les representan altos costos derivados de las fallas de los equipos electrónicos, es decir si una pieza eléctrica se descompone tienen que pedirla del país de origen ya que la tecnología no es mexicana, el tiempo mínimo de espera para que la pieza llegue al invernadero es de dos meses, posteriormente a la llegada deben contactar a personal mexicano calificado para la instalación de la pieza dañada representando altos costos, entonces durante ese tiempo de espera las plantas no producen lo que tenían planeado representando perdidas.

Los principales países que proveen la tecnología para los invernaderos a los cuales se les aplica la investigación son:

- España
- Israel
- Holanda

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Para el caso de la infraestructura de domos a túneles son proveedores de la ciudad de Celaya Gto.

Por lo tanto resulta sumamente factible este proyecto ya que se atacan las necesidades principales de los productores agrícolas, además de representar una ventaja la cercanía que existe entre los invernaderos y la empresa.

Bibliografía

- Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix*, ED. Routledge, New York, USA, Pp. 1-157.
- Díaz, A. 2012. *Meta del sexenio de Peña Nieto debe ser más del 1% del PIB destinado a ciencia y tecnología*. 2012. Consulta en internet: 25/05/2013. <http://red-academica.net/observatorio-academico/2012/10/12/meta-del-sexenio-de-peña-nieto-debe-ser-mas-del-1-del-pib-destinado-a-ciencia-y-tecnologia/>.
- Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAR). 2013; *La Agricultura*. Consulta en internet: 25/05/2013, en: <http://sda.guanajuato.gob.mx/agricultura.html>.
- La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2004. *El crecimiento económico en México y Centroamérica: desempeño reciente y perspectivas*. Obtenido 25/05/2013. En: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/3/14763/L611-1.pdf>.



Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

DESARROLLO ESPACIAL EN MÉXICO

Cirilo G. León Vega /cleonv@ipn.mx

Oscar Dolores Vázquez / oscarvazq@hotmail.com

Luis Alejandro Iturri Hinojosa/ aiturrih@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Zacatenco

RESUMEN: Para realizar la Gestión Tecnológica para el Sistema Satelital Mexicano, se diseñó el Modelo de Planeación Sistémica, con las siguientes etapas: 1. Análisis del sistema satelital internacional, 2. Análisis del sistema satelital nacional, 3. Diagnóstico, utilizando la herramienta del FODA, 4. Formulación y respuesta a las preguntas de investigación, 5. Propuesta de solución, 6. Misión, visión, valores y objetivos estratégicos de la propuesta, 7. Estrategias, utilizando, combinaciones del FODA: FO, FA, OD y AD, 8. Plan de acción, 9. Factibilidad de la propuesta, 10. Desarrollo tecnológico. Con el análisis y diagnóstico se encontró que una de las grandes fortalezas que se tiene en el país es el desarrollo de la investigación científica, en particular la espacial desde los años cuarenta, pero ésta se encuentra aislada; por lo tanto se propone fundar empresas satelitales humanistas, que impulsen y conserven la ecología, autofinanciables, públicas, mixtas, o de la iniciativa privada, que integren sistemáticamente la investigación científica básica y aplicada; entre otras empresas las que se dediquen al diseño, construcción y lanzamiento de satélites, con el propósito de coadyuvar al desarrollo tecnológico para brindar un servicio eficiente, rápido, seguro y barato que satisfaga la demanda de los usuarios nacionales e internacionales.

PALABRAS CLAVE: Modelo de Planeación Sistémica, Sistema Satelital Mexicano, FODA, investigación científica, desarrollo tecnológico.

1. INTRODUCCIÓN

La Gestión Tecnológica en el área espacial internacional se lleva a cabo fundamentalmente a través de las agencias espaciales, en algunos países, o en una comunidad de naciones tales como la Administración de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América (EUA), la Agencia Espacial Europea (ESA) y otras; las características principales que tienen en común son que todas ellas surgen de una política de Estado, que tienen el propósito de integrar la investigación científica y empresarial, para el desarrollo tecnológico, en particular el espacial, por medio de planes de corto y largo plazo (López, 2009).

La industria espacial en los Estados Unidos de América (EUA), se desarrolla en la competencia, esto se logra con la integración del Gobierno, industria, comercio, investigación y la sociedad. La NASA es la Agencia Gubernamental

encargada de la gestión de Tecnologías avanzadas de los Estados Unidos (Casler, 2013).

La unión de estos sectores permite lanzamientos satelitales, telecomunicaciones, comando y control de satélites, imágenes satelitales, posicionamiento global, navegación y temporización, vigilancia del espacio, información del clima, vigilancia del medio ambiente, sustento industrial y tecnología (Sharma et al, 2011).

Las funciones de la Agencia Espacial Federal Rusa (ROSCOSMOS) incluyen entre otras la regulación política y jurídica, la prestación de servicios estatales, administración de los bienes espaciales del Estado, la gestión de la cooperación internacional de los proyectos, programas espaciales conjuntos, entidades relacionadas con la industria espacial y con tecnologías espaciales militares y misiles estratégicos, el Programa Espacial Federal (FSP) es un documento básico para el establecimiento de los órdenes estatales que comprenden el diseño y utilización de equipos espaciales así como la integración de la ciencia y la industria. En agosto de 2013, la empresa francesa Eutelsat Communications compró Satmex (Satmex, 2013).

China ha formulado políticas, para construir un espacio tecnológico innovador, con la integración de la industria, la academia, la comunidad de investigación, la ciencia, la tecnología y las instituciones de investigación como principales participantes. China considera que las futuras generaciones habitarán el espacio y parte de sus investigaciones están encaminadas a ese objetivo. Su estrategia de desarrollo consiste en lo que han denominado saltos de rana, es decir, en la medida de lo posible no realizar avances continuos con tecnologías que ya existen sino avanzar y ponerse a la vanguardia con innovaciones (CNSA, 2011).

Europa no tenía presencia espacial antes de los años setentas, a partir de esta fecha ha hecho progresos extraordinarios, actualmente está a la vanguardia de la investigación espacial en las áreas del cambio climático y medio ambiente así como posé una familia de cohetes lanzadores de primer nivel. Este salto gigante lo ha hecho a través de la Agencia Espacial Europea (ESA) y las naciones que lo integran, entre ellas España (López, 2009).

España se encuentra entre los seis países más importantes, acoge en Villafranca, Madrid el establecimiento de la ESA, dedicado a la ciencia espacial, empezó su actividad espacial con mayor retraso que la europea, hoy en día ocupa un

2. MODELO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA PARA EL SISTEMA SATELITAL MEXICANO

2.1 GESTIÓN TECNOLÓGICA

lugar destacado en la ESA, gracias al continuo apoyo del Gobierno Español con la creación del Ministerio de Ciencia e Innovación que tiene como objetivo integrar Ciencia-Tecnología-Empresa (López, 2009). La NASA es la Agencia Gubernamental encargada de la gestión de Tecnologías avanzadas de los Estados Unidos (Casler, 2013).

En México la política espacial del Estado Mexicano está caracterizada por una serie de fracasos, entre otros, por las cancelaciones de la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CONEE), del Instituto Mexicano de las Comunicaciones (IMC), del Programa Universitario de Investigación de Desarrollo Espacial (PUIDE) y el Proyecto Satex (Méndez, 2009; Poceda, 2009)

El Gobierno Mexicano consideró al Sistema Satelital Mexicano (SSM) como un área estratégica desde 1985 hasta 1996. A partir de ese año se modificó la Constitución Política en su artículo 28, que permitió el tránsito de un área estratégica a una área prioritaria; así de ser una empresa del Estado fue concedido a la empresa privada Satmex, la cual tuvo problemas para sustituir los satélites Solidaridad 2 y Satmex 5, los cuales se pretendían lanzar en 2011; el primero lanzado en 1994, diseñado para una vida útil de 14 años (Tun, 2006), actualmente tiene 19, por lo que está trabajando parcialmente; el segundo presenta fallas. Fue hasta marzo de 2013 cuando se lanzó el Satmex 8 y se colocó en la misma órbita que el Satmex 5, para reforzarlo (Satmex 8, 2013).

Ante la posible pérdida de órbitas satelitales, asignadas por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), por el retraso de la sustitución de los satélites de Satmex; el Gobierno Mexicano a finales del 2011 anuncio el inicio del sistema Mexsat el cual depende de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), dependencia del Gobierno federal, y que en diciembre de 2012, lanzó el primero de los tres satélites que tiene programados, denominado Bicentenario, en la misma órbita que ocupa el Solidaridad 2. Los otros dos satélites de este programa se pondrán en órbita en 2013 y 2014 (Telecomm, 2011).

El objetivo de este trabajo es el de hacer una propuesta para evitar situaciones, que pongan en peligro la cancelación de las órbitas satelitales, así como entre otras estrategias, promover la inversión pública y privada, brindar un servicio eficiente, rápido, seguro y barato que satisfaga la demanda de los usuarios, acordes a las tecnologías de innovación, así como para reducir la dependencia tecnológica.

En principio es necesaria una política de Estado eficaz y eficiente, para propiciar el desarrollo tecnológico en el país (Poveda, 2009); ésta debe integrar sistémicamente la investigación científica en las empresas de acuerdo con las metas, objetivos y estrategias de mercado de las mismas (Nelcy et al, 2007), de no hacerlo la investigación científica seguirá estando aislada implicando un pobre desarrollo tecnológico.

Para lograr los objetivos se propuso un Modelo de Gestión Tecnológica (MGT) para el Sistema Satelital Mexicano (SSM) dentro del cual se contempla como una de las etapas el Modelo de Planeación Sistémica (MPS) para el SSM.

La Gestión Tecnológica (GT) es el proceso de adopción y ejecución de decisiones sobre las políticas, estrategias, planes y acciones relacionadas con la creación, difusión y uso de la tecnología (Cordua, 1994). Es un proceso que se ocupa de las interfaces entre la ciencia, la ingeniería, la economía y la gerencia de instituciones (Zoltan, 1995). La GT promueve la organización y la ejecución de tareas en relación estrecha con los agentes (investigadores, ingenieros, científicos, tecnólogos).

En el glosario de términos del Banco Interamericano de Desarrollo-Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello-Cetro Interuniversitario de Desarrollo(BID-SECAB-CINDA), encontramos una confirmación a ese concepto gerencial: La GT es la disciplina en la que se mezclan conocimientos de ingeniería, ciencias y administración con el fin de realizar la planeación, desarrollo y la implantación de soluciones tecnológicas que contribuyan al logro de los objetivos estratégicos y técnicos de una organización (Bid,1990).

Para gestionar lo académico con la industria su complejidad crece a medida del costo y aumento de la innovación tecnológica. Las tecnologías emergentes, como la nanotecnología, la biotecnología y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ofrecen oportunidades significativas para permitir la ganancia y el crecimiento socioeconómico de un país. La gestión tecnológica es un tema difícil, en términos de la teoría y la práctica. Varias disciplinas son relevantes desde el punto de vista académico, como la ciencia, la ingeniería, la economía, la sociología y la psicología. Para que exista una buena Gestión de la tecnología es necesario herramientas prácticas para apoyar la toma de decisiones y acciones (Phaal et al., 2006).

La gestión tecnológica es la administración sistemática concurrente de funciones de planificación, organización, dirección y control para establecer una capacidad tecnológica adecuada a las necesidades de la empresa. Es decir, es una herramienta que considera aspectos financieros, tecnológicos y de mercado, enmarcados dentro de los procesos generales de innovación a la que están sometidas las empresas para aumentar sus ventajas competitivas. En un contexto más amplio, la gestión de tecnología es una actividad esencial en la estrategia general de negocios, un factor determinante de liderazgo, progreso y competitividad (Salazar et al., 2010).

La gestión tecnológica es la integración de los conocimientos de ingeniería, las ciencias y las disciplinas del área de gestión, orientadas a planear e implementar capacidades tecnológicas en el diseño y el logro de los objetivos estratégicos y operacionales de una organización (Khalil; Ezzat, 2005).

La gestión tecnológica reúne los recursos que posee una organización, tales como el conocimiento, el talento humano,

la investigación y la tecnología, al mismo tiempo que promueve su interacción permanente (Zartha & Herrera, 2007).

La gestión de la tecnología la conforman tres factores principales: el liderazgo, la motivación de los empleados y el manejo apropiado de la tecnología. El objetivo de la gestión tecnológica es crear una concordancia entre todos los factores como lo es la investigación, desarrollo, planificación, ingeniería, maquinaria, software, producción, y la comunicación para que funcionen juntos en la forma más eficiente para producir bienes o servicios con esto mejorar la posición competitiva de instituciones públicas o privadas a largo plazo (Kropsu *et al.*, 2009).

La gestión tecnológica se encuentra asociada a procesos de innovación y obtención de tecnología (Gonzales *et al.*, 2012).

Las patentes pueden apoyar la gestión de la tecnología (Ernst, 2003).

Investigadores de la gestión de la tecnología, se interesan en los procesos de generación de nuevas tecnologías y la mejora en la tecnología existente. Ellos definen la innovación como un proceso continuo (Gopalakrishnan ;Damanzpour, 1997).

Como ejemplo se presenta a la empresa farmacéutica mexicana, NUCITEC S.A. de C.V. la cual desarrolló su propio modelo de gestión tecnológica basado en 4 funciones básicas: análisis, estrategia, ejecución y resultados, pero la transferencia tecnológica es fundamental para alcanzar los resultados esperados. El proceso de transferencia de tecnología tiene tres sencillos pasos: identificar, validar y seleccionar la nueva tecnología. Una de las estrategias que más ha ayudado a la empresa para la transferencia de la tecnología son alianzas con diferentes universidades del país como la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Universidad del Valle de México (UVM), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como alianzas con centros de investigación como el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Computo (CIDETEC), Western Human Nutrition Research Center (USDA, Davis California), Universidad de Queensland Australia (Cortés; Peñaloza, 2008).

En la Fig.1 se proponen las etapas del MGT para el SSM

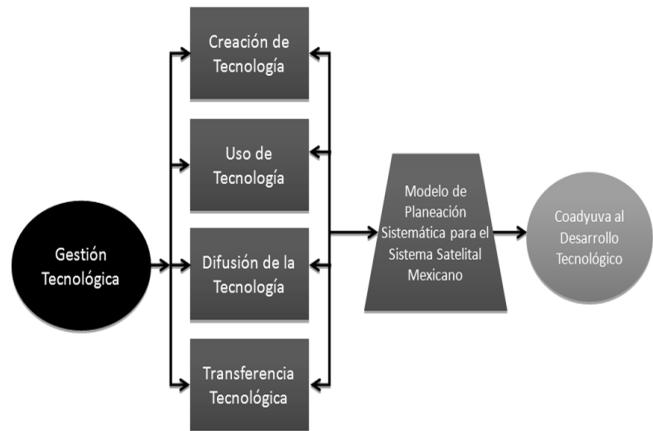


Fig.1 MGT propuesto para el SSM dentro del cual se contempla el MPS para el SSM

3. MODELO DE PLANEACIÓN SISTÉMICO PARA EL SISTEMA SATELITAL MEXICANO

En la Fig. 2 se proponen las etapas del MPS para el SSM, las cuales se describen a continuación.

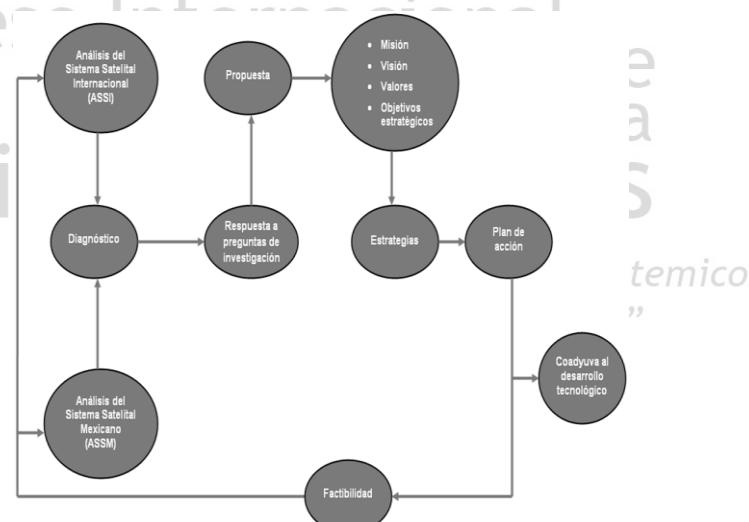


Fig. 2 MPS propuesto para el SSM.

3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA SATELITAL INTERNACIONAL

Se consideran muy brevemente las principales relaciones que existen entre el SSM y el Sistema Satelital Internacional (SSI) tales como:

Inequidad en las órbitas satelitales asignadas entre los países del orbe (Satellite, 2013).

La basura satelital que está contaminando al espacio y a nuestro planeta, además de que es un peligro para la población y las naves espaciales (Piña, 2008).

El sector Desarrollo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-D) tiene una política de apoyo a los países pobres y de economías emergentes para su desarrollo en las comunicaciones por lo que nuestro país puede solicitar esa oportunidad para su desarrollo (UIT-D, 2013).

3.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA SATELITAL NACIONAL

Se tienen cuatro órbitas geoestacionarias, tres de ellas las tiene Satmex y/o Eutelsat Communications, la otra la tiene la empresa MedCom y SES S.A.

Con la creación del programa Mexsat se evita la posibilidad de perder las posiciones orbitales asignadas por la UIT. Mexsat compartirá las posiciones orbitales con Eutelsat Communications (Telecomm, 2011).

3.2.1 TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Los satélites utilizados en las órbitas asignadas a México, han sido diseñados, construidos y lanzados por empresas extranjeras. Esta transferencia tecnológica es muy costosa, según estudios que se han hecho equivale alrededor de 40% más de su valor real (Charles, 1982).

3.2.2 MARCO REGULATORIO

El Estado Mexicano tiene desde la Ley de Comunicaciones Eléctricas (LCE) de 1926 hasta las reformas a la Ley Federal de Comunicaciones (LFC) y la Ley Federal de Radio y Televisión (LFR y TV) de 2010, el marco adecuado para el desarrollo de las comunicaciones, sin embargo casi siempre se han beneficiado los grupos de poder político y económico antes que a la población (Alvarez, 2007). Las reformas a la LFC y a la LFR y TV, benefician a Televisa y TV Azteca al grado de que tuvo que intervenir la Suprema Corte de la Nación (Villamil, 2012).

3.2.3 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Los países desarrollados, integraron la investigación científica básica y aplicada en las empresas desde hace más de veinte años; nuestro país y la mayor parte de los países pobres o en vías de desarrollo estamos en la etapa anterior, la cual consiste en la gestión del conocimiento, es decir, en el desarrollo de la investigación científica (Nelcy *et al*, 2007).

La investigación científica espacial se concreta a finales de 1957 cuando la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) lanza su primer cohete espacial, dos meses después de que la Unión de Repúblicas Soviética Socialistas (URSS), lanzara el Sputnik1 y dos meses antes de que EUA lanzara el Explorer 1 (Saucedo, 2011).

En la década de los años 60 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), lanza alrededor de una docena de cohetes y globos espaciales (Méndez, 2009).

La Universidad Autónoma de México (UNAM) a través del Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE), diseña y construye un satélite, para la investigación científica meteorológica, el cual es enviado al espacio, en 1995 por la URSS (Poveda, 2009).

Con el propósito de investigar el territorio nacional, utilizando la fotografía y la banda de frecuencias Ku, varias instituciones mexicanas participan desde 1993 en el proyecto Satex para diseñar construir y lanzar un satélite (Poveda, 2009).

El 31 de marzo de 2011 se crea en el IPN la Red de Expertos en Telecomunicaciones (Gaceta politécnica, 2011) y el 24 de noviembre de 2011, la UNAM inicia con la Red de Ciencia y Tecnología Espacial (RedCyTE) (Arreola, 2011). Ambas instituciones con el fin de desarrollar la investigación científica y así propiciar el desarrollo tecnológico.

3.2.4 ORGANISMOS DEL ESTADO MEXICANO PARA EL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES

Para coordinar los esfuerzos, inquietudes, aspiraciones generados en los proyectos y programas de investigación en las instituciones, principalmente las de educación superior y Centros de investigación; el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) funda tres organismos; el primero es la Comisión Nacional del Espacio Exterior (1962-1977) (Méndez, 2009). Diez años después de la disolución de éste se crea el segundo: El Instituto Mexicano de las Comunicaciones (1987-1997), el cual también es disuelto (Poveda, 2009). Catorce años después de esta disolución, en noviembre de 2011 comienzan las actividades del tercero: La Agencia Espacial Mexicana (AEM). La AEM es un organismo público descentralizado dependiente de la SCT, encargado de coordinar la Política Espacial de México a fin de desarrollar los recursos humanos, la investigación, la tecnología y la infraestructura necesarias para el desarrollo tecnológico del país (Mendez, 2009).

3.3 DIAGNÓSTICO

Para llevar a cabo el diagnóstico, se aplicó la herramienta que consiste en determinar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) para el SSM.

La principal fortaleza que tiene el país es el desarrollo de su investigación científica en particular la espacial.

La principal oportunidad que tiene México es el solicitar apoyo de la UIT-D para el desarrollo de las comunicaciones.

La principal debilidad es que la investigación científica está aislada, es decir, no está conectada al desarrollo tecnológico.

La principal amenaza es que si no se integra la investigación científica al sector productivo estaremos a merced de la tecnología internacional.

3.4 PREGUNTAS Y RESPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta. ¿Por qué hemos caído por lo menos tres veces en la cuestión espacial?, ¿Qué han tenido en común los tres fracasos anteriores? (Poveda, 2009).

Respuesta. Todas estas frustraciones se debe a que han sido proyectos individuales, esto es, de muy pocas personas, no han sido resultado de una Política de Estado (Poveda, 2009).

La desaparición de la CONEE, el IMC y el PUIDE demuestran que la política del Gobierno Mexicano no es continua, son iniciativas aisladas principalmente de las instituciones públicas del país. En consecuencia tampoco hay rumbo en las instituciones de educación superior y centros de investigación; como lo menciona Poveda acertadamente, con la cancelación del Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE) y cuando menciona que no sabían para que construir un satélite.

Llevamos más de 70 años de investigación espacial y no tenemos desarrollo tecnológico en este campo, esto se debe porque no hay conexión entre la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

3.5 PROPUESTA PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO SATELITAL

El Gobierno Mexicano como regulador de la economía y conductor de la política nacional, correlacionadas con la internacional, puede promover la inversión pública y privada para fundar empresas satelitales autofinanciables que generen riqueza, que pueden ser públicas, mixtas, o de la iniciativa privada, que integren sistémicamente la investigación científica básica y aplicada, entre otras empresas, las que se dediquen al diseño, construcción y lanzamiento de satélites, con el propósito de brindar un servicio eficiente, rápido, seguro y barato que satisfaga la demanda de los usuarios nacionales e internacionales.

3.6 MISIÓN, VISIÓN, VALORES Y OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA PROPUESTA

MISIÓN

Interconectarse con el sistema de comunicaciones nacional e internacional para proporcionar servicios satelitales innovadores. Difundir y usar la tecnología satelital. Fortalecer a través del sistema satelital mexicano la seguridad nacional; la infraestructura tecnológica para la cobertura eficiente de las

comunicaciones en todas las regiones del país; los programas educativos, ecológicos, culturales y sociales.

VISIÓN

Empresas. Generar empresas que integren la investigación científica; rentables que brinden a las personas, profesionistas, investigadores, egresados de la infraestructura educativa, de todas las áreas del conocimiento, la oportunidad de participar en el desarrollo tecnológico del sistema satelital mexicano para disminuir la dependencia tecnológica y que impacte en el desarrollo político, económico y social de nuestro país.

Racionalidad. Lograr resultados con los recursos adecuados

VALORES

Integridad. Actuar y comunicar con responsabilidad, honestidad y transparencia dentro y fuera de las empresas.

Aspiración. Actuar con pasión y sentido de urgencia, imponer desafíos y alcanzar metas y objetivos. Tomar decisiones con prudencia, sin temor al error o al fracaso.

Recursos humanos. La razón de las organizaciones, debe ser el bienestar; el placer; la alimentación dentro de la empresa de los recursos humanos quienes trabajarán con eficiencia y eficacia, considerando las contribuciones de cada miembro con enfoque sistemático en busca del objetivo común.

Recursos naturales. Ninguna empresa se justifica si no se cuida y mejora la ecología y medio ambiente.

OBJETIVO ESTRATÉGICO GENERAL

Coadyuvar al desarrollo tecnológico en el país.

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS PARTICULARES

“Conocimiento Sistémico para el desarrollo”

Proporcionar servicios de innovación, eficientes, eficaces, de calidad y a bajo costo a instituciones públicas y privadas nacionales e internacionales así como a usuarios particulares.

3.7 ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA SATELITAL MEXICANO

Para plantear las estrategias, utilizamos las siguientes combinaciones del FODA: FO, FA, DO, DA. A continuación se presentan las principales estrategias:

FO. El sistema satelital mexicano puede seguir proporcionando servicios internacionales.

FA. Si los recursos humanos con que cuenta el país no se canalizan hacia el desarrollo tecnológico, estos buscarán

oportunidades en otros países y se seguirán teniendo problemas cada vez mayores en lo político, económico y social.

DO. Actualmente con muchos esfuerzos se conservan las órbitas satelitales geoestacionarios debido a la importación de tecnología que aumenta en un 40% del precio real.

DA. Con el desarrollo satelital el país asegurará sus cuatro órbitas geoestacionarias satelitales asignadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y queda en posibilidades de conseguir otras.

En la Fig. 2 Se presenta el Modelo para el diagnóstico del sistema y las estrategias para orientarlo, utilizando el FODA.

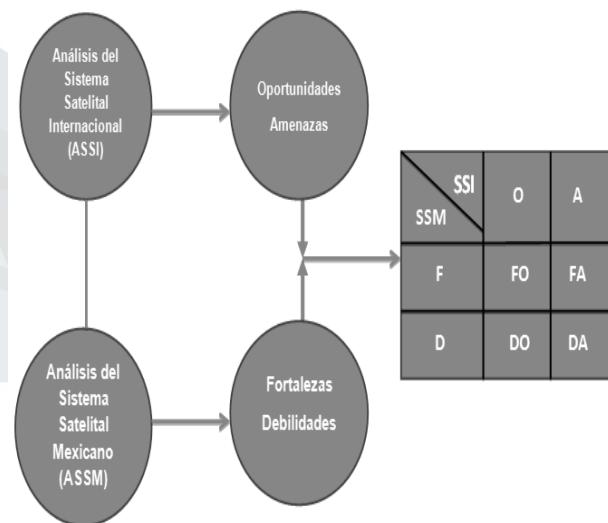


Fig. 2 Modelo para el diagnóstico del sistema y las estrategias para orientarlo, utilizando el FODA.

3.8 PLAN DE ACCIÓN ESTRATÉGICO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA SATELITAL MEXICANO.

3.8.1 INTERNACIONAL

Realizar convenios internacionales con las naciones y las diferentes instituciones públicas y privadas, principalmente con las agencias espaciales para elaborar un sistema de interrelación y cooperación, que permita establecer mutuo beneficio generando políticas relacionadas con la investigación científica básica y aplicada en el área de las comunicaciones particularmente en el satelital, propiciando la innovación y la revisión permanente del marco regulatorio internacional que coadyuve al desarrollo tecnológico, político, económico y social así como para resolver los problemas generados por el sistema satelital internacional, entre ellos, los peligros que presenta la basura satelital y el deterioro ecológico que ocasiona (Makarov & Payson, 2009).

3.8.2 NACIONAL

Establecer convenios con las instituciones públicas, privadas y con los Gobiernos de los Estados de la República para generar empresas que integren la investigación científica, para la creación, difusión, transferencia y uso de la tecnología en el área de las comunicaciones satelitales a fin de coadyuvar al desarrollo tecnológico, político, económico y social de nuestra nación.

3.9. FACTIBILIDAD DE ESTRATEGIAS

3.9.1 INTERNACIONAL

México puede solicitar apoyo al sector Desarrollo de las Telecomunicaciones (UIT-D). Este sector fue creado para contribuir a difundir un acceso equitativo, sostenible y asequible a las telecomunicaciones, de este modo, fomentar un mayor desarrollo económico y social en las naciones y en las empresas sobre todo a los países más pobres (UIT, 2013).

Ser miembro ofrece la oportunidad de establecer relaciones con los mejores talentos de la industria representados por más de 700 entidades del sector privado además de 193 Gobiernos que conforman la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sus reguladores. La participación en el proceso de normalización de la UIT permite influir directamente en las fuerzas tecnológicas que deciden el futuro de la industria de las Tecnologías de Información y la Comunicación (TIC) (UIT, 2013).

3.9.2 NACIONAL

El marco jurídico de las telecomunicaciones en el cual está implícito el SSM, comienza con la Ley de Comunicaciones Eléctricas de 1926 hasta las reformas a la LFT y LFR y TV en abril de 2011, ha reflejado los cambios del Estado Mexicano; de un Estado interventor a un Estado promotor y regulador.

Para propiciar el desarrollo tecnológico en las comunicaciones, el Estado Mexicano debe generar las políticas regulatorias que permitan beneficiar a los intereses nacionales, no así a los poderes fácticos.

3.10 DESARROLLO TECNOLÓGICO

El desarrollo tecnológico se puede definir como los saltos ocasionados por el progreso técnico, la innovación, la invención, el diseño, la adaptación entre otros (Shumpeter, 1975) para beneficio de la comunidad nacional e internacional.

CONCLUSIONES

Las órbitas satelitales están concentradas en tres países principalmente lo que es una desventaja para nuestro país pues no es lo mismo tener cuatro a 500 o más que tiene EUA. Sin embargo México cuenta con recursos que le van a permitir su desarrollo tecnológico, creando sus propias estrategias políticas y tecnológicas, principalmente para hacer lo que la comunidad internacional no ha hecho, que le permita ser actor

principal, en el área de las comunicaciones en particular las satelitales.

Con base al potencial de recursos humanos que tiene el país se hace la propuesta de que el Estado Mexicano puede propiciar empresas satelitales en las cuales este integrada sistémicamente la investigación científica, el desarrollo y la gestión tecnológica para buscar nichos de oportunidad que satisfagan necesidades del sistema satelital nacional e internacional. Estas empresas pueden ser públicas mixtas o de la iniciativa privada que generen riqueza es decir no deben ser subsidiadas por el Gobierno Mexicano. De esta forma la investigación científica será un río bravo y no una enorme presa con agua estancada que crea frustraciones a los investigadores y a la sociedad, de no hacerlo así saltaran infinitud de preguntas por ejemplo ¿Para qué queremos más profesionistas e investigadores?

Los recursos humanos son lo más valioso en una empresa, por eso el Estado Mexicano puede propiciar que en las empresas se proporcione entre otras atenciones, alimentación, capacitación, servicios, incentivos, participación, etc. a los trabajadores. La empresa es un sistema y si los recursos humanos que son lo más valioso de la misma no se atienden el sistema no funciona adecuadamente y en consecuencia es difícil obtener desarrollo tecnológico.

REFERENCIAS

Administración Espacial Nacional China (CNSA) Actividades espaciales de China (2011). Extraído el 05/05/13 de http://www.ambpechino.esteri.it/NR/rdonlyres/54879255-E4DB-4BF3-A1B2-2C8C0D47C8CF/11168/Libro_Bianco_CNSA.pdf

Alvarez, Luz Clara. (2007). Historia de las comunicaciones en México. Revista del Doctorado en Derecho. Universidad Panamericana Campus México.

Arreola, J. J. (2011). Inicia Red de Ciencia y Tecnología Espacial. México: El Universal (Ciencia).

Bid-Secab-Cinda. Glosario de términos de gestión tecnológica. Colección Ciencia y Tecnología Nº. 28. Santiago de Chile, 1990.

Casler, J. G. (2013). Revisiting NASA as a High Reliability Organization. Public Organization Review, 1-16. DOI: 10.1007/s11115-012-0216-5

Charles Percy Snow, Carl Sagan (1982). Ensayos científicos. Ed. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 3^a edición, México.

Cordua, S. Joaquín (1994). Tecnología y desarrollo tecnológico. Capítulo del libro: Gestión tecnológica y desarrollo universitario. CINDA, Santiago de Chile.

Cortés, A. S. & Peñaloza, de la C. M. G. (2008). Caso

de éxito de Transferencia Tecnologica en Pequeña y Mediana Empresa: NUCITEC S.A. de C.V. Transferencia tecnológica en PyMES.

Ernst, H. (2003). Patent information for strategic technology management. World Patent Information, 25(3), 233-242. DOI:10.1016/S0172-2190(03)00077-2

Gaceta Politécnica (15/04/2011). Se crea la red de expertos en telecomunicaciones, No. 854, Vol. 13, México.

González V. D., Marrero L. P., Galbán J. M., Cruz M. & Borges J. C. (2012). Gestión Tecnología con Enfoque Agroecológico y Participativo para el Cultivo del Arroz a Escala Local. Parte I: Diagnóstico, Diseño de Estrategia y Propuesta de Plan de Acción.

Gopalakrishnan, S., & Damangpour, F. (1997). A review of innovation research in economics, sociology and technology management. Omega.

Khalil, T. M., & Ezzat, H. A. (2005). Management of technology and responsive policies in a new economy. International Journal of Technology Management, 32(1), 88-111.

Kropsu V., H., Haapasalo, H., & Rusanen, J. P. (2009). Analysis of technology management functions in Finnish high tech companies. The Open Management Journal, 2, 1-10.

López-Cózar, J. M. (2009). Entrevista con Mauricio Lucena Betriu. Física y sociedad, (20), 21-23.

Makarov, Y., & Payson, D. (2009). Russian space programmes and industry: Defining the new institutions for new conditions. SpacePolicy, 25(2), 90-98.

Méndez Docurro, Eugenio (2009). Primer Taller Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial, la UNAM en el Espacio 2009, México.

Nelcy Jiménez, Claudia, et al (2007). Tendencias y retos de la gestión tecnológica en economías emergentes. Universidad Eafit, octubre-diciembre, vol. 43, No 148. Medellín, Colombia, pp.42-61.

Peter Pham, J. (2006). Beijing's Great Game: Understanding Chinese Strategy in Central Eurasia. American Foreign Policy Interests, 28(1), 53-67.

Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2006). Technology management tools: concept, development and application. Technovation, 26(3), 336-344. DOI: 10.1016/j.technovation.2005.02.001

Piña, José Ma. (2008). Basura espacial y satélites en

órbita. Entrevista en: A día de hoy de Alejandro Ávila el 07/02/2008 en la emisora Punto Radio.

Poveda Ricalde Arcadio, (2009). Algunas reflexiones sobre la participación de la UNAM en la Agencia Espacial Mexicana. Instituto de Astronomía de la UNAM, México D.F.

Salazar, V. F. P., Meza, J. C. S., & Pedrero, G. V. M. (2010) Gestión Tecnológica en empresas del Estado de México. Desarrollo de capacidades tecnológicas en el sector empresarial, cultura e instituciones.

Satellite, Quick Facts 2013. Recuperado el 21/06/2013 de

http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/space_weapons/technical_issues/ucs-satellite-database.html

Satmex 8, Satélites Mexicanos S.A. de C.V., 31/03/13. Recuperado el 01/05/13 de <http://www.satmex.com.mx/content/fleet>

Satmex, Comunicados de prensa 31/07/13. Recuperado el 01/08/13 de <http://www.satmex.com.mx/content/investors>

Saucedo Zárate, Luis Gerardo, INMEE, A. C. México. Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia. 6º Congreso Argentino de Tecnología Espacial, Universidad de La Punta, San Luis, Argentina; 18, 19 y 20 de mayo del 2011.

Sharma, T., Chatwin, C. R. C., Young, R. C. D., & Birch, P. (2011). A global space policy that would revive space exploration. In Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2011 5th International Conference on (pp. 849-855). IEEE.

Shumpeter, Joseph A. (1975). Creative destruction. From capitalis, socialism and democracy. Harper, New York

Telecomm y el Sistema Satelital Mexicano Mexsat. (28/09/2011). Recuperado el 01/06/13 de http://swfound.org/media/78888/30_Telecomm%20y%20el%20sistema%20satelital%20Mexicano.pdf

Tun Molina, D. M. (2006). Satélites Mexicanos. Ciberhábitat. México, D.F. Extraído de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2010/CDEspacio/pdf/OP16B.pdf>

Unión Internacional de Telecomunicaciones Sector Desarrollo. UIT-D, 2013. Recuperado el 01/08/13 de

<http://www.itu.int/es/ITU-D/Pages/default.aspx>

Villamil, Jenaro (2012). Entrevista López Dóriga-López Obrador, La Ley Televisa y la Ley de Apoyo a Peña

Zartha, S. J. W. & Herrera, V. J. F. (2007). Gestión Tecnológica. Nociones Fundamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Zoltan Szabó. Seminario sobre Gestión Tecnológica. SENA, 1995. 25(1), 15-28.

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

Nonlinear Optical characterization of Au nanoparticles

Mónica Trejo-Durán^{1a}, Edgar Alvarado-Méndez^b, J. M. Estudillo-Ayala^b, Everardo Vargas-Rodríguez^a, Ruth I. Mata-Chávez^a

^a DEM-DICIS, Universidad de Guanajuato, Av. Yacatitas, S/N. Col Yacatitas, Yuriria Gto. Mexico. C.P.36940;

^b Electronic Departament DICIS, Universidad de Guanajuato, carr. Salamanca-Valle Km 3.5 + 1.8 Com. Palo Blanco, Salamanca, Gto. México. C.P.36850,

ABSTRACT

In this work we present the study of nonlinear optical properties of Au nanoparticles suspended in water and lipoic acid using different combinations. Thermal lens model and Shiek-Bahae formalism were used to determine the nonlinear optical properties. Parameters as the sign and nonlinear refractive index (n_2), thermal-optic coefficient (dn/dt) and degree of nonlocality (σ) were found using the z-scan technique.

Keywords: nanoparticles, nonlinear optical properties, z-scan, lipoic acid.

1. INTRODUCTION

Nonlinear optical research has been increased in the last years. In general, a variety of mechanisms may contribute to the nonlinearity property in materials; local and no local effects give origin to nonlinear properties. There are different kind of materials that exhibit nonlocal linearities as ionic liquids [1,2], liquid crystals [3,4], In_2O_3 nanoparticles [5]. In this work we present the study of nonlinear optical properties of Au nanoparticles suspended in water with lipoic acid and reduced lipoic acid, using the z-scan technique, which is a sensitive and straightforward method to determine nonlinear optical properties. Experimental studies have suggested that the surface of nanoparticles plays a crucial role in determining their linear optical properties. Nonlocal response as consequence of the heat conduction process, it is giving origin to change on the refractive index. Parameters as the sign and nonlinear refractive index n_2 , dn/dt and σ were found. Results show a nonlocal nonlinearity of thermal origin.

2. THEORY

Some of models to obtain the nonlinearities properties are the formalisms Bahae, and Thermal lens. Two of these models were used to determine the refractive index change and Thermal lens. Influence of the presence of chopper when taking the data is analyzing.

2.1 Theoretical models

Bahae Model: In this model the sample is scanned along the propagation path of a focus Gaussian laser beam. We can obtain not only the magnitudes of real and imaginary part of nonlinear susceptibility, but also simultaneously clarify the sign of the real part. The on-axis normalized transmittance for closed aperture can be obtained approximately by [7]:

$$T(z) = 1 + \Delta\Phi_0 \frac{4x}{(1+x^2)(9+x^2)} \quad (1)$$

¹ email: mtrejo@ugto.mx

Where $\Delta\Phi_0$ is the on axis nonlinear phase shift at focus, x is the dimensionless sample position, $x = \frac{z}{z_0}$, $z_0 = \frac{\pi\omega^2}{\lambda}$ is the Rayleigh parameter of the Gaussian beam with waist ω_0 . The peak-valley difference ΔT is:

$$\Delta T = 0.406|\Delta\Phi_0| \quad (2)$$

The nonlinear phase shift is given by

$$\Delta\Phi_0 = \frac{2\pi d(1-e^{-\alpha L})}{\lambda\alpha} n_2 I_0 \quad (3)$$

Where n_2 is the third order nonlinear refractive index, α is the linear absorption coefficient, L is the thickness of the sample, I_0 is the peak intensity at the focus and λ is the wavelength of the laser beam.

The normalized transmittance for with open aperture z-scan, gives as:

$$T(z) = \frac{\ln[1+q_0(z)]}{q_0(z)} \quad (4)$$


For $|q_0(z)| < 1$, where $q_0(z) = I_0\beta L_{eff}/(1 + \frac{z^2}{z_0^2})$. β is the nonlinear absorption coefficient.

Thermal Lens Model: Is known the predicted a parabolic approximation to the temperature field and an approximating the optical effects due the temperature as behavior of a simple lens [8-10]. The time dependent expression [6] for the far- field on-axis transmittance is

$$T_N = \frac{I(z,t)}{I(z,0)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\theta}{1+t_c/2t}\right)\left(\frac{2x}{1+x^2}\right) + \left(\frac{\theta}{1+t_c/2t}\right)^2\left(\frac{1}{1+x^2}\right)} \quad (5)$$

Where $x = \frac{z}{z_0}$, $z_0 = \frac{\pi\omega^2}{\lambda}$, $t_c = \frac{\omega^2}{4k/C_p}$ t_c is thermal diffusion time, k is the thermal conductivity and C_p is the specific heat per volume at constant pressure, The on-axis phase shift is given by $\theta = \frac{\alpha PL}{\lambda\kappa} \frac{\partial n}{\partial T}$, where P is the power of the Gaussian beam and T is the temperature. To lower power the nonlinear phase shifts $\theta \ll 1$, then the second term of Eq. (5) considering $t > t_c$ is given by

$$T_N = \frac{1}{1 + (\theta)\left(\frac{2x}{1+x^2}\right)} \quad (6)$$

The magnitude of nonlocality can be estimated by degree of nonlocality. This parameter depends on the optical and thermal properties of the material and can be given by Ghofraniha et al [11]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\kappa |n_2|}{\alpha_0 \left| \frac{\partial n}{\partial T} \right| \omega_0^2}} \quad (7)$$

The larger the value of σ , the more nonlocal is the medium. On the other hand if $\sigma=0$ the medium can only present a local nonlinearity

3. METHODOLOGY

Gold nanoparticles stabilized with lipoic acid were prepared taking into account the method of Brust [12] to prepare small gold nanoparticles, and the sulphydryl groups' affinity with gold for forming covalent bonds. UV-vis to three solutions has been obtained (Fig. 1), where Au, DHLA, LA correspond to Au nanoparticles suspended in water, reduced lipoic acid, and lipoic acid respectively, The concentration of nanoparticles in each solution Au, AuDHLA and AuLA was 300 nM (nanomols/litre). Lipoic acid and reduced lipoic acid not absorb in visible while Au nanoparticles in water have absorption at 512 nm.

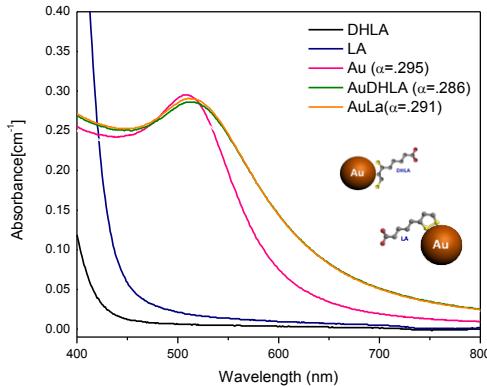


Figure 1. UV-vis spectra of DHLA, LA, Au, AuDHLA, AuLA

The Figure 2 shows the z-scan setup. We use a cw Argon laser at variable power at 514 nm, a lens (18 cm), a cell (2 mm) and an automatic control [13] of optical z-scan technique was used to characterization colloids liquids. We measure the transmittance using 16 mW and a chooper at 50Hz.

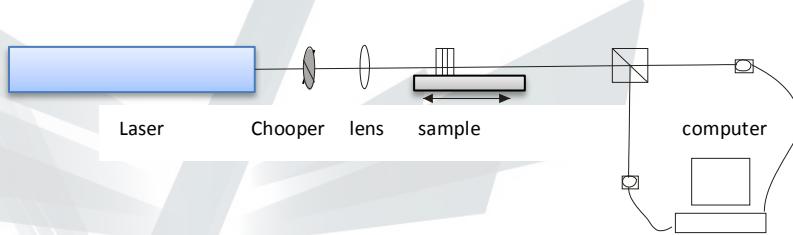


Figure 2. Z-scan technique setup to measure transmittance

4. RESULTS AND DISCUSSION

A beam of laser at different power was incident to solutions. Power of laser choose was 16 mW because present a low nonlinear absorption. When power was increased from 16 mW to 250 mW, and rings were obtained by self-diffraction. At 25 mW was possible observe one ring, the self-diffraction phenomena. In Fig 3, it is shown beam photograph of solutions at 25 mW. It implies at 16 mW there is weakly nonlinear absorption as is showing the results of the transmittance to open aperture in z-scan, see Figure 4. The transmittances obtained to solutions using automatic control of optical z-scan technique, adjusted curves are shown too according to models presented, was necessary filtering the data because we obtain 80000 data in each measure. Transmittance at close aperture is divided by transmittance a open aperture and normalized, this permits consider a nonlinear refractive index without nonlinear absorption contribution.

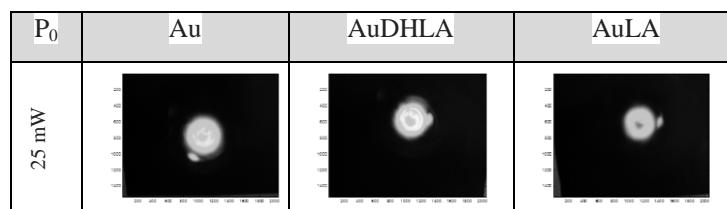


Figure 3. Photograph and profile of spot to far field of (a) Au, (b) AuDHLA (c) AuLA

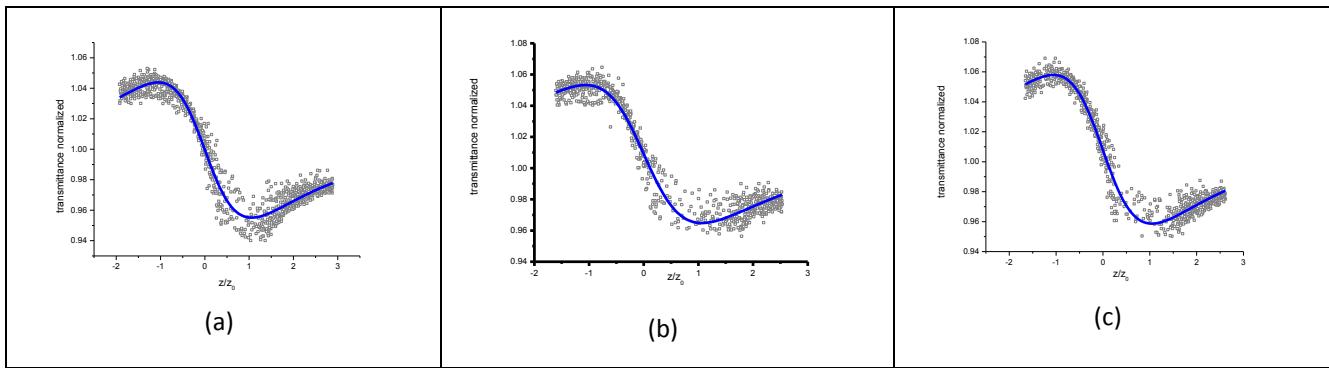
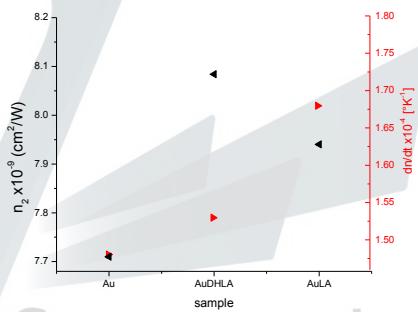


Figure 4. Z-scan with close aperture (a) Au, (b) AuDHLA (c) AuLA.

Figure 5 shows values to n_2 and dn/dt to samples. The values of dn/dt are high compared with others results [14]. n_2 value is low because samples have a Au nanoparticles concentration very low, 0.004% volume, it is used to permit measure the transmittance. Accord with some reports [15] the nonlinearity is increased if we increase the nanoparticles concentration or particle size.

Figure 5. Absolute values of (a) nonlinear absorption coefficient (β) and the phase shift (θ), (b) dn/dt and n_2

σ value was calculated using eq.7 and the value is accord that the heating occurring primarily near of sample input facet, due to absorption. Some simulations confirm this kind of process [Error! Marcador no definido.] whose reports have a behavior as our samples.

sample	σ
Au	0.356183372
AuDHLA	0.345291527
AuLA	0.363114899

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

5. CONCLUSIONS.

In summary, using the z-scan technique the thermo-optical nonlinearity, the nonlinear refractive index to Au nanoparticles with lipoic acid were obtained. Thermo-optical response is high despite low concentration. Nonlinear optical properties can be modified using a reduced lipoic acid or lipoic acid and modifying the concentration of Au-nanoparticles and nonlinear absorption is very low to this intensities.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was supported by CONACYT #166361.

REFERENCES

- [1] Cassio E.A Santos, Márcio A.R.C. Alencar, Pedro Migowski, Jairton Dupont, Jandir M. Hickmann, “Anionic and cationic influence on then nonlocal nonlinear optical response of ionic liquids”, *Chem Phys.* **43**, 33-36 (2012)
- [2] Monica Trejo-Duran, Edgar Alvarado-Mendez, Everardo Vargas-Rodriguez, Julian Moises Estudillo-Ayala, Ruth I. Mata-Chavez, “ Nonlinear optical characterization of ionics liquids of 1-methylpyrrolidine family” , *Proc. of SPIE* **8412**, (2012)
- [3] S.L. Gomez, F.L.S. Cuppo, A.M.Figueiredo Neto, T. Kosa, M. Muramatsu, and R.J. Horowicz, “Z-scan measurement of the nonlinear refractive indices of micellar lyotropic liquid crystals with and without the ferrofluid doping”, *Phys. Rev. E*, **59**(3), 3059-3063 (1999)
- [4] M.H. Majles Ara, S.H. Mousavi, E. Koushki, S. Salmani, A. Gharibi, A. Ghanadzadeh, “Nonlinear optical responses of Sudan IVdoped liquid crystal by z-scan and moiré deflectometry techniques”, *J. Mol. Liq.*, **142**, 29-31 (2008)
- [5] Baolong Yu, Congshan Zhu, Fuxi Gan, Yabin Huang, “Optical limiting properties of In₂O₃ nanoparticles under cw laser ilumintation” *Opt. Mat.* **7**, 103-107 (1997)
- [6] Sheik-Bahae, M., Said, A. A., Wei, T. H., Hagan, D. J., and Van-Stryland, E.W., “Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam,” *IEEE J. Quantum Electron*, **26**, 760 (1990)
- [7] C.A. Carter and J.M. Harris, “Comparison of models describing the thermal lens effect”, *Applied Optics*, **23**, 476-481 (1984).
- [8] J.P Gordon, R.C.C. Leite, R.S. Moore, s.P.S. Porto, and J.R. Whinnery, “Long transient effects in laser with Inserted liquid samples”, *Journal Applies Physics*, **36**(1), 3-8 (1965) .
- [9] C.A. Carter and J.M. Harris, “Comparasion of models describing the thermal lens effect”, *Applied Optics*, **23**, 476-481 (1984).
- [10] Fabio Luiz Sant’Anna Cuppo, Antonio Martins Fihuereido Neto, and Sergio Leonardo Gómez, “thermal-lens model compared with the Sheik Bahae formalism in interpreting Z-scan experiments on lyotropic liquid crystals” *J.Opt. Am.B*, **19**(6), 1342(2002)
- [11] N. Ghofraniha, C.Conti,G. Ruocco, S.Trillo, “Shocks in Nonlocal Media”, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 043903 (2007)
- [12] M. Brust, M. Walker, D. Bethell, D.J. Schiffrin and R. Whyman, “Synthesis of thiol-derivatised nanoparticles in two-phase liquid-liquid system”, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **7**, 801-802 (1994).
- [13] C. C. López-Mora, M. Trejo-Duran, E. Alvarado-Méndez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodríguez, J. M. Estudillo-Ayala, R. Mata-Chavez, I. Sukhoivanov, A. García-Pérez, O. G. Ibarra-Manzano, and J. A. Andrade-Lucio, “PC-Based systems for experiments in optical characterization of materials”, *Journal of Physics: Conference Series* **274**, 12059, (2011).
- [14] H. Nadjaria, F. Hajiesmaeilbaigib, and A. Motamedi, ” Thermo Optical Response and Optical Limiting in Ag and Au Nanocolloid Prepared by Laser Ablation”, *Laser Physics*, **20**(4), 859–864 (2010).
- [15] Esmaeil Shahriari, W Mahmood Mat Yunus, Kazem Naghavi, Z.A. Talib, “Effect of concentration and particle size on nonlinearity of Au nano-fluid prepared by γ (⁶⁰Co) radiation”, *Opt. Comm.* **283**,1929-1932 (2010).

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Aplicación basada en HTML5 para captura y procesamiento de video en tiempo-real independiente de la plataforma y dispositivo.

L. M. Burgara-Lopez * , G. Trejo-Caballero*, M. Arroyo-Almaguer*, C. H. Garcia-Capulin *

ABSTRACT

The emergence of HTML5 and other associated web technologies have turned browser applications to cross-platform and device independent ones, allowing to solve problems such as installation failures, configurations, or re-build applications for a particular platform. To overcome these problems mentioned above, We present an HTML5 based application, which uses its multimedia and streaming video features to get real-time video from any capture device connected to the computer or smart device, as well as be able to process it.

RESUMEN

El surgimiento de HTML5 y otras tecnologías Web han llevado a la realización de aplicaciones sobre navegadores que han permitido tener independencia de las plataformas y dispositivos, resolviendo así problemas tales como fallos de instalación, configuración, o tener que reconstruir la aplicaciones para la plataforma en particular. Para resolver los problemas antes mencionados, se presenta una aplicación basada en HTML5, la cual usa sus características multimedia y de transmisión de video para obtener video en tiempo-real desde cualquier dispositivo de captura conectado en la computadora o dispositivo inteligente, así como también tener la capacidad para procesarlo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el avance tecnológico se ha incrementado de forma exponencial, permitiendo que día a día se puedan crear nuevas aplicaciones en donde se involucra el desarrollo de software para multiples plataformas y distintos tipos de dispositivos [1]. Un tópico que un sector de la comunidad científica encuentra de interés, es el procesamiento digital de imágenes debido a su aplicación en diferentes áreas como lo son la robótica, la medicina, la biología, geografía, psicología, astronomía, por mencionar algunas [2, 3], y en sectores como la industria, seguridad, milicia, entre otras [4, 5]. Si bien los avances en este tema han sido grandes, siempre existe la falta de nuevas aplicaciones para el procesamiento de imágenes.

Por otra parte con el aumento de la diversidad de dispositivos que existe hoy en día, se presenta un nuevo problema al momento de querer crear aplicaciones que puedan funcionar en un ambiente multiplataforma y más aún cuando se trata de un ambiente multidispositivo, la solución ideal a este problema sería poder escribir un algoritmo en un solo lenguaje de programación y que con este mismo programa se pudiera realizar un procesamiento de una imagen digital sin la necesidad de: configurar un dispositivo, reprogramar o recomilar un código fuente en la plataforma que se quiere implementar, tampoco instalar drivers o componentes adicionales para que funcione una aplicación según el sistema operativo y/o el dispositivo usado.

Una alternativa que ha pretendido solucionar este problema durante varios años, es la librería OpenCV [6], la cual es una librería de código abierto para visión computacional que tiene alrededor de 500 funciones para procesar imágenes y video [7].

Palabras clave:
HTML5; multimedia; video en tiempo-real
Keywords:
HTML5; multimedia; real-time video

*Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Carretera Irapuato-Silao km. 12.5, Irapuato, Gto., México. Email: moburgara@itesi.edu.mx, getrejo@itesi.edu.mx, maarroyo@itesi.edu.mx, cagarcia@itesi.edu.mx

El principal inconveniente con esta y otras librerías es su incapacidad para funcionar en diversos sistemas operativos sin tener que recompilar el código o en su defecto realizar pequeños cambios en él, ya que para cada sistema operativo que soporta, se tiene que hacer una instalación diferente si se desea desarrollar alguna aplicación o tan solo si se desea utilizar una ya existente que utilice componentes de dichas librerías [8].

La problemática es aún mayor cuando de versiones de la librería y/o del sistema operativo se trata, ya que en muchas ocasiones no existe compatibilidad entre estos, con lo cual se limita el desarrollo y la implementación de aplicaciones dependiendo del dispositivo y del sistema operativo para el que se realizó. Como alternativa, en este trabajo se presenta un sistema multiplataforma y multidispositivo para el procesamiento digital de imágenes. Este sistema sugiere el uso del lenguaje de etiquetas HTML5 [9], debido a su fácil entendimiento, manejo e implementación, si bien aún no es considerado un estándar como tal, la tendencia marca que algún día lo será, esto en base a que los navegadores más usados y conocidos ya lo soportan y más aún, cada que la especificación de HTML5 sufre alguna modificación o una nueva implementación, los agentes de usuario se dan a la tarea de adaptarse a esa nueva especificación en una lucha por su sobrevivencia.

Además el lenguaje HTML5 tiene implementaciones como lo son WebSocket para transmisión de datos vía web y la API GetUserMedia que permite tener acceso al hardware multimedia (cámara y micrófono) [10, 11], además del elemento canvas que permite tener acceso de lectura y escritura de los componentes RGB de su lienzo. Por otra parte se sugiere usar el lenguaje de programación JavaScript [12], ya que los API's para usar las nuevas tecnologías que forman parte de HTML5 están escritas en este lenguaje, también es una excelente opción cuando se trata de manejar y procesar datos por parte del cliente, además de ser un lenguaje fácil de implementar y con sintaxis similar al lenguaje C.

HTML5 PARA CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE VIDEO

Nuestra aplicación aprovecha las bondades de la última revisión de la especificación del lenguaje HTML5 [13], en donde se incluye el elemento canvas [14]. El sistema comienza con la adquisición de video de una cámara conectada a la computadora o dispositivo. En este caso en particular se uso una cámara web, para ello utilizamos un navegador con soporte para HTML5, el cual es una extensión del estándar HTML que incluye un conjunto de nuevas tecnologías para poder desarrollar aplicaciones. Además se hace uso de la API

getUserMedia, la cual permite tener acceso de forma nativa a los medios de audio y video de un dispositivo por medio de un navegador web. Hasta la fecha la mayoría de los navegadores web dan soporte a estas tecnologías, inclusive para dispositivos móviles [15]. Un elemento utilizado para complementar el sistema, es el uso del canvas, también soportado por la mayoría de los navegadores. En lo que respecta al procesamiento de las imágenes se utilizó el lenguaje de programación JavaScript debido a que a la fecha es de los más utilizados para desarrollar aplicaciones cliente en HTML5. Para la adquisición del video y su posterior procesamiento se codificó el Algoritmo 1.

Algoritmo 1. Adquisición de video utilizando el elemento <video> y la API getUserMedia.

1. Crear un elemento <video>
2. Si el navegador utilizado soporta getUserMedia, capturar video y mostrarlo en elemento <video>
3. De lo contrario mostrar mensaje en navegador "getUserMedia no es soportado".

El paso 1 indica que se debe crear un elemento <video> con código HTML, en este caso como solo usamos un elemento de video, no es necesario nombrarlo o ponerle un identificador (id), aunque para este ejemplo lo haremos para exemplificar. El paso 2 es para verificar si el navegador en el que se trata de ejecutar la aplicación, tiene soporte para la API getUserMedia, en el caso de que así sea, se procede a realizar la captura del video para enseguida mostrarlo en el elemento <video>, en caso de que el navegador utilizado no tenga soporte para la API getUserMedia, se recomienda mandar un mensaje a la consola del navegador o en su defecto una alerta donde se indique que el navegador no soporta la API getUserMedia. El listado del código 1 en el Apéndice muestra cómo la codificación de la adquisición de video, basándose en el Algoritmo 1.

Siguiendo con la descripción de la aplicación, ahora se aborda la forma de cómo recuperar cuadros de video del elemento <video> para mostrarlos en un elemento <canvas>, con el fin de acceder a los pixeles de la imagen para su procesamiento según se requiera. El Algoritmo 2 muestra cómo realizar esta tarea.

Algoritmo 2. Mostrar video en el elemento <canvas> a partir de cuadros del elemento <video>

1. Crear un elemento <canvas>
2. Crear una variable en base al elemento <canvas>

3. Obtener el contexto del elemento <canvas> en base a la variable creada en el punto 2.
4. Agregar una variable global para hacer uso de la función requestAnimationFrame() según el navegador que se esté utilizando
5. Crear función mapa mostrar video en canvas
6. Mandar llamar la función para mostrar video en canvas

En el paso 1, el elemento <canvas> es creado después del elemento <video> con código de html, a partir del paso 2 corresponde la codificación de JavaScript. En este segundo paso se crea una variable para poder tener acceso a las propiedades del elemento <canvas> y principalmente a su lienzo (paso 3), ya que es el que se puede modificar agregándole o quitándole gráficos o imágenes para poder realizar animaciones y procesamientos puntuales. En el paso 4 se agrega una variable global para poder hacer uso de la función requestAnimationFrame() sin importar el navegador que se esté utilizando, está es más bien una variable de tipo función que viene a sustituir las diferentes variantes del método requestAnimationFrame() debido al navegador que se utilice, en pocas palabras con esta variable se generaliza el método requestAnimationFrame().

Posteriormente se crea una función para mostrar el video en canvas, este método debe obtenerse de un cuadro del video actual y actualiza el lienzo del canvas, para lo cual se invoca la variable del paso 4, pero en forma de función, de tal forma que ésta es la encargada de repintar la página en un determinado tiempo. Algo importante que cabe mencionar, es que la función correspondiente a la variable del paso 4 recibe un parámetro para poder hacer una llamada detrás de función, éste parámetro debe ser el nombre de la misma función que invoca a la variable del paso 4. Como paso 6 tenemos que invocar en algún lado la función creada en el paso 5, para lo cual, los lugares más indicados son al momento de haber asegurado que el navegador tiene soporte para la API getUserMedia, justamente después de comenzar la secuencia de comunicación entre el dispositivo y el elemento <video>. El listado del código 2 en el Apéndice muestra la codificación del Algoritmo 2.

Por último se realiza el procesamiento de una imagen de un elemento <canvas>. En el apartado anterior se visualizó el video en un elemento <canvas>, con el propósito de poder procesar los cuadros antes de que la página repinte su contenido, ahora el realizar el procesamiento de video resulta una tarea sencilla tal y como lo muestra el Algoritmo 3.

Algoritmo 3. Procesar cuadros del elemento <canvas>.

1. Crear una función para procesar imagen
 - (a) Obtener la imagen en forma de datos del lienzo del canvas
 - (b) Obtener los datos en forma de matriz de pixeles de lo obtenido en el punto (a)
 - (c) Realizar procesamiento sobre la matriz original de pixeles obtenida en el punto (b)
 - (d) Limpiar el contenido del lienzo del canvas
 - (e) Actualizar la imagen procesada en el lienzo del canvas
2. Invocar la función para procesar imagen

Analizando el Algoritmo 3, en el paso 1 se crea una función que es la encargada de realizar el procesamiento de las imágenes a partir del elemento <canvas>, en el paso (a) se obtiene una imagen en forma de datos del lienzo del canvas, en (b) se obtiene una matriz de pixeles a partir de la imagen en forma de datos, por medio de esta matriz se puede procesar los componentes RGB de cada pixel de una imagen contenida en el elemento <canvas>. Aunque algo práctico puede ser el crear un arreglo que contenga los valores de la matriz de pixeles y sobre este realizar el procesamiento. Como ejemplo de función de procesamiento en esta aplicación se implementó un algoritmo de detección de bordes, mediante la convolución de la imagen con una máscara tipo Laplaciano.

Una vez que se llevó a cabo el procesamiento, en caso de haber utilizado un arreglo auxiliar para respaldar los pixeles de la imagen, se procede a la asignación de estos nuevos valores a la matriz de pixeles, para enseguida limpiar el contenido del lienzo del canvas como lo sugiere el punto (d) para finalmente poner la imagen en forma de datos como se indica en el punto (e). El paso 2 indica que hay que invocar la función creada en el paso 1, pero hay que tener en cuenta que esta función tiene que ser invocada en un lugar en especial y es justo después de que el elemento <canvas> obtiene el cuadro del elemento <video> y antes de invocar la función que hace la solicitud de repintar la página, esto dentro del cuerpo de la función videoEnCanvas(). El listado de código 3 en el Apéndice muestra la implementación del Algoritmo 3.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para realizar las pruebas de la aplicación se utilizó un servidor de páginas web Apache 2.0.64 para alojar la aplicación, el cual está montado sobre una red de área local. Con el fin de mostrar la independencia

de la aplicación respecto de la plataforma y del dispositivo, se realizaron pruebas en diferentes sistemas operativos, usando diferentes navegadores, así como también en diversos dispositivos. En la Tabla 1 se muestra las características de los dispositivos donde se realizaron las pruebas y el tiempo que toma realizar el procesamiento de un cuadro de video. En las pruebas sólo se consideró el procesamiento de video en tiempo real utilizando el filtro Laplaciano con el único propósito de exemplificar la aplicación desarrollada. En las Figuras 1 a 3 se muestran gráficamente algunas pruebas realizadas sobre diferentes dispositivos.

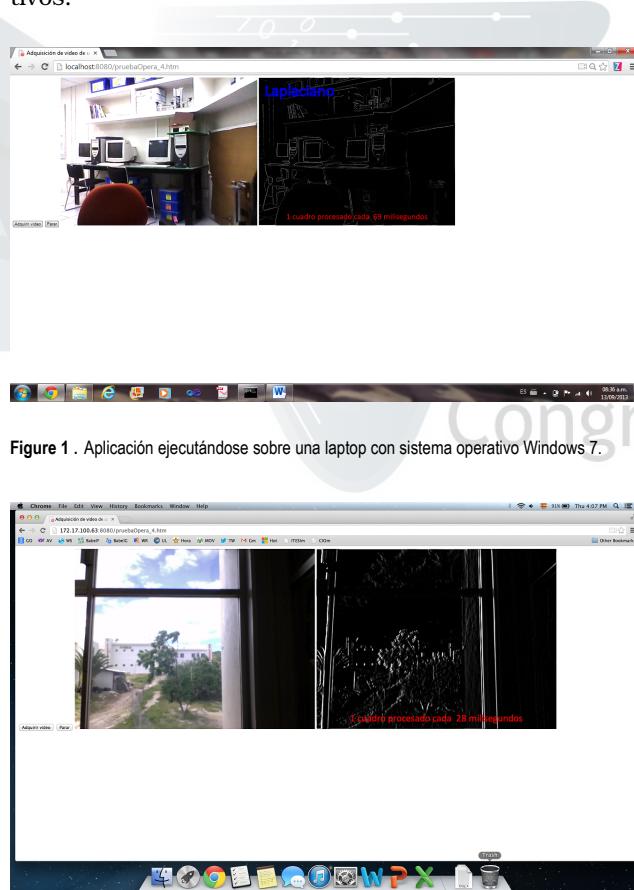


Figure 1 . Aplicación ejecutándose sobre una laptop con sistema operativo Windows 7.

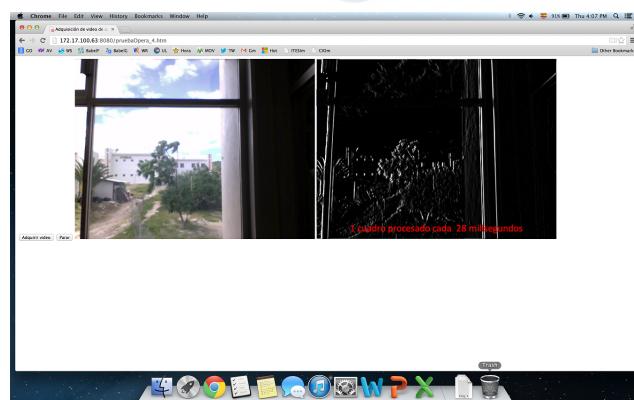


Figure 2 . Aplicación ejecutándose sobre una MacBookPro con sistema operativo OS X

En la Figura 1 se muestra la aplicación funcionando sobre una Laptop ASUS con sistema operativo Windows 7 de 64 bits, en la Figura 2 se muestra la misma aplicación ejecutándose sobre una MacBook con sistema operativo OS X y la Figura 3 se muestra a la aplicación ejecutándose sobre un celular Sony Xperia S con sistema operativo Android.



Figure 3 . Aplicación ejecutándose sobre un celular Sony Xperia S con sistema operativo Android.

Como se puede apreciar en las Tablas y Figuras donde se resumen las pruebas, la aplicación es totalmente independiente del sistema operativo, así como también del hardware y tipo dispositivo utilizado. Mostrando así que la aplicación se puede ejecutar sin problemas de configuraciones o recompilación de código alguno.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una aplicación basada en HTML5 para la captura y procesamiento de video en tiempo-real. La aplicación introduce el uso de la API getUserMedia de JavaScript con el fin de acceder a los recursos multimedia de distintos dispositivos.

Mediante las pruebas realizadas a la aplicación se demuestra su independencia del hardware y sistema operativo utilizado, así como también su funcionamiento en distintos navegadores web. Cabe mencionar que procesamiento es realizado por el lado del cliente que es quien hace uso del sistema.

Por otra parte, en un entorno cliente-servidor, puede ser aconsejable que el procesamiento se realice del lado del servidor, el cual puede tener características especiales para realizar esta tarea. De esta manera el cliente solo se encargaría de la adquisición del video y despliegado de los cuadros procesados.

Dependiendo de la velocidad de transferencia de datos por internet y de la velocidad de procesamiento del servidor, se podría tener un sistema de procesamiento independiente del sistema operativo y hardware de los dispositivos conectados a él.

Table 1.

Características de los dispositivos utilizados en las pruebas de la aplicación.

Dispositivo	Características	Sistema Operativo	Navegador	CPS
Acer Iconia Tab	Procesador a 1.2 GHZ , 512 MB de RAM, Doble núcleo	Android 4.1.2	Opera Classic 12	2.0
Laptop ASUS	Procesador AMD A4 a 1.9 GHz, Radeon HD Graphics, 4 GB de RAM	Windows 7 Home Premium 64 bits	Chrome 29.0.1547.57 m	11.2
Celular Sony Xperia S	Procesador Qualcomm Snapdragon S3 a 1.51 GHz, 2 núcleos, 1 GB de RAM	Android 4.1.2	Chrome 29.0.1547.59	2.5
Celular Black Berry	Procesador Qualcomm Snapdragon S4 a 1.51 GHz, 2 núcleos, 2 GB de RAM	OS 10 Black Berry 10.1.0.2050	BlackBerry Browser 10.0	4.3
Celular Samsung S3	Procesador Qualcomm Snapdragon S3 a 1.51 GHz, 2 núcleos, 2 GB de RAM	Android 4.1.2	Opera Classic 12	2.5
MacBookPro	Procesador Intel Core i7 a 2.9 GHz, Intel HD Graphics 4000, 2 núcleos, 8 GB de RAM	OS X Mountain Lion 10.8.4	Chrome 29.0.1547.76 m	40.0
Laptop Gateway	Procesador AMD Phenom II X4 a 1.9 GHz, ATI Mobility Radeon HD 4250, 4 núcleos, 4 GB de RAM	Windows 7 Ultimate 64 bits	Chrome 29.0.1547.76	15.3

APENDICE

Listado del código 1. Código en HTML y JavaScript para adquirir video de una cámara y mostrarla en un elemento <video>

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" >
<head>
    <title>Adquisición de video de una camara Web</title>
</head>
<body>
    <button id="btnAdquirir">Adquirir video</button>
    <button id="btnParar">Parar</button>
    <video id="videoSecuencia" class="secuenciaDeVideo" autoplay></video>
    <script>
        (function () {
            var video = document.querySelector('#videoSecuencia');
            var btnAdq = document.querySelector('#btnAdquirir');
            var btnPara = document.querySelector('#btnParar');
            var secuenciaDeComunicacionLocal = null;
            btnAdq.addEventListener('click', function (e) {
                if (navigator.getUserMedia) {
                    navigator.getUserMedia('video', function (secuencia) {
                        video.src = secuencia;
                        secuenciaDeComunicacionLocal = secuencia;
                    }, enCasoDeFallas);
                }
                else if(!navigator.getUserMedia){
                    navigator.getUserMedia = navigator.webkit GetUserMedia || navigator.mozGetUserMedia || navigator.msGetUserMedia;
                    if (navigator.getUserMedia) {
                        navigator.getUserMedia({ video: true }, function (secuencia) {
                            if (video.mozSrcObject !== undefined)
                                video.mozSrcObject = secuencia;
                            else
                                video.src = window.webkitURL.createObjectURL(secuencia);
                            secuenciaDeComunicacionLocal = secuencia;
                        }, enCasoDeFallas);
                    }
                }
            });
        });
    </script>
</body>
</html>
```

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

```

        }
        else {
            enCasoDeFallas({ target: video });
        }
    ), false);
btnPara.addEventListener('click', function (e) {
    video.pause();
    secuenciaDeComunicacionLocal.stop();
}, false);
})());
function enCasoDeFallas(e) {
    if (e.code == 1) {
        console.log('Permiso denegado para acceder al recurso de la cámara');
        alert('Permiso denegado para acceder al recurso de la cámara');
    }
    else {
        console.log('Tu navegador no soporta getUserMedia');
        alert('Tu navegador no soporta getUserMedia');
    }
}

```

Listado del código 2. Código en HTML y JavaScript para capturar cuadros de video del elemento <video> y mostrarlos en un elemento <canvas>

```

<!-- A2. Paso 1 !-->
<canvas id="lienzo" width="640" height="480"></canvas>
// A2. Paso 2
var canvas = document.querySelector('#lienzo');
// A2. Paso 3
var ctx = canvas.getContext("2d");
// A2. Paso 4
window.solicitudParaAnimarCuadro = (function (callback) {
    return window.requestAnimationFrame ||
        window.webkitRequestAnimationFrame ||
        window.mozRequestAnimationFrame ||
        window.oRequestAnimationFrame ||
        window.msRequestAnimationFrame ||
        function (callback) {
            window.setTimeout(callback, 1000 / 33);
        };
})();
// A2. Paso 5
function videoEnCanvas() {
    ctx.drawImage(video, 0, 0);
    solicitudParaAnimarCuadro(function () {
        videoEnCanvas();
    });
}
// A2. Paso 6
videoEnCanvas();

```

Listado del código 3. Procesamiento cuadro por cuadro del elemento <canvas> aplicándoles un filtro Laplaciano sobre un arreglo de pixeles en escala de grises.

```

//A3. Paso 1
function laplaciano() {
    var iamgeData = ctx.getImageData(0, 0, canvas.width, canvas.height);
    var data = iamgeData.data;
    var totalPixelles = iamgeData.width * iamgeData.height;

```

```

var nPixel = 0;
var width = iamgeData.width;
var height = iamgeData.height;
var factor = 1;
var offset = 0;
var conMat1 = new Array(0, 1, 0);
var conMat2 = new Array(1, -4, 1);
var conMat3 = new Array(0, 1, 0);
var conMat = new Array(conMat1, conMat2, conMat3);
var vector = new Array();
var color = 0;
for (var i = 0; i < totalPixel; i++) {
    color = (data[i * 4] + data[i * 4 + 1] + data[i * 4 + 2]) / 3;
    data[i * 4] = color;
    data[i * 4 + 1] = color;
    data[i * 4 + 2] = color;
    vector[i] = color;
}
for (var y = 1; y < iamgeData.height - 1; y++) {
    for (var x = 1; x < iamgeData.width - 1; x++) {
        nPixel = (((vector[width * (y - 1) + x] +
                    vector[width * y + x - 1] +
                    vector[width * y + x] * conMat[1][1] +
                    vector[width * y + x + 1] +
                    vector[width * (y + 1) + x]) /
                   factor) + offset);
        if (nPixel < 0) nPixel = 0;
        if (nPixel > 255) nPixel = 255;
        data[4 * width * y + 4 * x] = nPixel;
        data[4 * width * y + 4 * x + 1] = nPixel;
        data[4 * width * y + 4 * x + 2] = nPixel;
    }
}
ctx.clearRect(0, 0, iamgeData.width, iamgeData.height);
ctx.putImageData(iamgeData, 0, 0);
}

//A3. Paso 2
laplaciano();

```

REFERENCES

- [1] Kapetanakis, K., Panagiotakis, S., Malamos, A. G., 2013. Html5 and web-sockets: challenges in network 3d collaboration. In Proceedings of the 17th Panhellenic Conference on Informatics, PCI '13, pages 33–38. New York, NY, USA: ACM.
- [2] Rokita, P., 1997. Application of image processing techniques in computer graphics algorithms. Computer Networks and {ISDN} Systems 29(14):1705 – 1714. <ce:title>Visualization and Graphics on the World Wide Web</ce:title>.
- [3] Holdermann, F., Bohner, M., Bargel, B., Kazmierczak, H., 1978. Review of automatic image processing. Photogrammetria 34(6):225 – 258.
- [4] Metwalli, S., 1986. Industrial applications of computer image processing. Computers & Industrial Engineering 11(1-4):608 – 612.
- [5] Ejiri, M., Kashioka, S., Ueda, H., 1984. The application of image processing technology to industrial automation. Computers in Industry 5(2):107 – 113. <ce:title>Special Issue: Computers in Japanese Industry</ce:title>.

- [6] Bradski, G., 2000. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools .
- [7] Marengoni, M., Stringhini, D., 2011. High level computer vision using opencv. 2012 25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials 0:11–24.
- [8] Chaczko, Z., Yeoh, L. A., Mahadevan, V., 2010. A preliminary investigation on computer vision for telemedicine systems using opencv. In Proceedings of the 2010 Second International Conference on Machine Learning and Computing, ICMLC '10, pages 42–46. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- [9] Pilgrim, M., 2010. HTML5: Up and Running. O'Reilly Media, first edition.
- [10] Zhu, G., Zhang, F., Zhu, W., Zheng, Y., 2012. Html5 based media player for real-time video surveillance. In 2012 5th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), pages 245–248.
- [11] Pimentel, V., Nickerson, B. G., 2012. Communicating and displaying real-time data with websocket. IEEE Internet Computing 16(4):45–53.
- [12] Simpson, K., 2012. JavaScript and HTML5 Now. O'Reilly Media, first edition.

- [13] Way, J., 2012. Decoding HTML5. ROCKABLE PRESS.
- [14] Yue, X., 2011. Transmission and display technology for vital signs based on html5 canvas and comet machanism. In International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT),, volume 4, pages 2760–2763.
- [15] Juntunen, A., Jalonen, E., Luukainen, S., 2013. Html 5 in mobile devices -- drivers and restraints. In 46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), pages 1053–1062.



Perfiles de fase fotoinducidos por haces unidimensionales en un cristal fotorrefractivo

J. A. Andrade-Lucio, E. Alvarado-Méndez, M. A. Ibarra-Manzano,
R. Rojas-Laguna, J. M. Estudillo-Ayala, O. Shulika, I. Sukhoivanov.,
I. Guryev

División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca.

Departamento de Electrónica

Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km.3.5+1.8. Salamanca, Gto., México.

e-mail: andrade@salamanca.ugto.mx

Abstract

As a result of the experimental analysis for the propagation of one-dimensional beams in a nonlinear media, we show characteristics of the photoinduced refractive index change in a photorefractive crystal using an interferometric measurement technique.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

Resumen

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Como resultado del análisis experimental para la propagación de haces unidimensionales en un medio no lineal, mostramos características del cambio de índice de refracción fotoinducido en un cristal fotorrefractivo utilizando una técnica de medición interferométrica.

Key words: Photorefractive crystals, solitons.

Palabras clave: Cristales fotorrefractivos, solitones.

1 Introduction

El estudio de la propagación de haces ópticos en medios no lineales ha dado origen a un gran número de aplicaciones en diversas áreas de la ciencia. Particularmente en óptica, los llamados solitones espaciales ópticos (haz de luz autoenfocado por un efecto no lineal que compensa los efectos de difracción al propagarse en un medio) han sido sugeridos como una alternativa en aplicaciones para guías de onda ópticas, así como en dispositivos lógicos y de interconexión que sean tecnológicamente factibles en cuanto a características de compatibilidad, costo y dimensiones comparables con las empleadas actualmente en las tarjetas impresas para microcircuitos y tecnología de fibras ópticas [1-4]. El tema de los solitones espaciales ópticos o generación de guías de onda en cristales fotorrefractivos ha sido ampliamente estudiado y observado [2-4], este tipo de guías de onda, pueden ser empleados para guiar y controlar otros haces de luz, lo cual constituye un tipo de elemento óptico simple. Las llamadas uniones tipo X o Y para aplicaciones de comutación óptica, son formadas por la intersección de este tipo de guías de onda [5-7].

El objetivo de este artículo, el cual se divide en 4 secciones, es presentar una técnica experimental (sección 2) con la cual se puede estudiar y caracterizar la formación de guías de onda en materiales fororrefractivos, analizando el cambio de índice de refracción fotoinducido en el material no lineal bajo la aplicación de un campo eléctrico externo. Este trabajo se divide en 4 secciones, la sección 2

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

presenta el arreglo experimental utilizado. En la sección 3, se presentan los resultados experimentales del cambio de fase foto-inducida por un haz unidimensional propagándose en un cristal de SBN. En la sección 4 se tienen las conclusiones de los resultados obtenidos.

2 Arreglo experimental

El arreglo experimental empleado en este trabajo se muestra en la fig. 1. Se utilizó un láser He-Ne de onda continua y linealmente polarizado, con una longitud de onda de 633 nm y una potencia de 10 mW. Este haz fue filtrado espacialmente y colimado a un diámetro de 1 cm. Para generar una distribución de intensidad unidimensional se utilizó una rendija rectangular de 120 μm de ancho, y establecer así la condición de entrada a propagar en el cristal fotorrefractivo de SBN. Se utilizó además otro láser continuo He-Ne, el cual fue también filtrado y colimado para proporcionar una iluminación uniforme al cristal y formar con esta, un arreglo interferométrico tipo Mach-Zehnder. El cristal fotorrefractivo empleado es un cristal no lineal de SBN:Ce (Niobato de Estroncio y Bario dopado con Cerio) con un porcentaje en peso de 0.01% de Cerio, las dimensiones de este son de 6x6x6 mm. Las imágenes del haz unidimensional empleado como condición inicial a propagar en la cara de entrada y salida del cristal, así como los interferogramas generados bajo las diferentes condiciones experimentales, fueron captados y almacenados empleando un sistemas de visión con una lente y una cámara tipo CCD conectada a una tarjeta de adquisición de imágenes para su posterior procesado.

Para el análisis de los interferogramas obtenidos bajo las diferentes condiciones experimentales, se utilizaron técnicas de interferometría como método para obtener información de la fase fotoinducida en el medio por el haz unidimensional incidente. En este caso, la información de la fase del frente de onda se obtiene a través de la distribución de intensidad $I(x,y,z)$, la cual se supone sin cambio a lo largo de la propagación en el cristal (eje z), resultando el cambio de fase como:

$$\delta\phi(x,y)=2\pi d\delta n(x,y)/\lambda,$$
 donde $\delta n(x,y)$ es el perfil de índice de refracción inducido por el haz láser y d es la longitud del cristal a lo largo del eje z (6 mm). El cambio en el índice de refracción fotoinducido en el material es supuesto de forma proporcional a la componente $E_x(x,y)$ de el campo eléctrico aplicado al cristal, esto es: $\delta n(x,y)=-(1/2)r_en_0^3E_x(x,y)$, donde $r_e=220 \text{ pm/V}$ es el coeficiente electroóptico efectivo y n_0 es el índice de refracción promedio [6]. El análisis de los interferogramas fue realizado utilizando un programa de cómputo basado en interferometría de Fourier [9]. La idea básica de la interferometría de Fourier es obtener digitalmente el interferograma, por ejemplo utilizando la cámara CCD conectada a una tarjeta digitalizadora, y de este, obtener su transformada de Fourier. Esta transformación nos entrega tres ordenes de difracción (1, 0, -1), de los cuales, solo el primer orden nos proporciona información sobre la fase, por lo tanto, este se filtra y por medio de la transformada inversa de Fourier se recobra el frente de onda original.

3 Resultados experimentales

En la fig. 2 a), se muestran las imágenes en la cara de salida para 0.66, 1.33 y 2 kV/cm aplicados al cristal. Los perfiles de intensidad correspondientes a este caso, se muestran en la fig. 2 b). El efecto observado en esta figura, se puede explicar en base a que, como realmente no se tiene un perfil inicial con una intensidad constante, entonces esas perturbaciones dan lugar a un enfocamiento por inestabilidad modulacional [10]. Los cambios de fase fotoinducidos en el cristal, se muestran en la fig. 2 c), para diferentes valores del parámetro de saturación, el cual esta definido como la razón de intensidades del haz enfocado con respecto al haz de iluminación uniforme.

Una primera característica que se observa en estos perfiles de fase es que prácticamente siguen el perfil de intensidad inicial, con lo cual podemos afirmar que el efecto es de tipo local. Otra característica importante es que a mayor campo aplicado, mayor es el cambio de fase, en una relación directa también con el parámetro de saturación [8].

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

4 Conclusiones

Hemos presentado una técnica experimental para analizar como es el proceso de propagación de un haz con simetría unidimensional en un cristal fotorrefractivo SBN:Ce. Como una conclusión general, se observó como las distribuciones de fase fotoinducidas prácticamente siguen el perfil del haz incidente. La magnitud de

los cambios de fase puede ser aumentada, incrementando el campo externo aplicado o el parámetro de saturación. Por otro lado, el efecto observado de un sobreenfocamiento y efecto de filamentación de este, a medida que se aumenta la intensidad del campo aplicado al cristal, da lugar a la posibilidad de generar múltiples guías de onda.

Referencias

- [1] M. Segev, B. Crosignani, A. Yariv, and B. Fisher. (1992). *Spatial solitons in photorefractive media*. Phys. Rev. Lett. (68) 923-926.
- [2] M. D. Iturbe-Castillo, P. Márquez-Aguilar, J. J. Sánchez-Mondragón, S. Stepanov, V, Vysloukh. (1994). *Spatial solitons in photorefractive $Bi_{12}TiO_{20}$* . Appl. Phys. Lett. (64) 408-410.
- [3] M. Segev, G. C. Valley, B. Crosignani, P. Dj Porto, and A. Yariv. (1994) *Steady-state spatial screening solitons in photorefractive materials with external applied field*. Phys. Rev. Lett. (73) 3211-3214.
- [4] G. I. Stegeman, D. N. Christodoulides, and M. Segev. (2000). *Optical spatial solitons: historical perspectives*. Invited Paper, Special Millenium Issue of the IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics (6), 1419-1427.
- [5] J. A. Andrade-Lucio, M. D. Iturbe-Castillo, P. A. Marquez-Aguilar, R. Ramos-García. (1998) *Self-focusing in photorefractive $BaTiO_3$ crystal under external DC electric field*. Opt. Quantum Electron. (30) 829-834.
- [6] J. A. Andrade-Lucio, B. Alvarado-Méndez, R. Rojas-Laguna, O. G. Ibarra-Manzano, M. Torres-Cisneros, R. Jaime-Rivas, and E. A. Kuzin. (2000) *Optical*

switching by coherent collision of spatial solitons. Electronics Letters (36), 16 1403-1404.

[7] J. A. Andrade-Lucio, M. M. Méndez-Otero, C. M. Gómez-Sarabia, M. D. Iturbe-Castillo, S. Pérez-Marquez, and G. E. Torres-Cisneros. (1999). *Controllable optical Y-junctions based on dark spatial solitons generated by holographic masks.* Optics Communications. (165) 77-82.

[8] N. Korneev, P. A. Márquez-Aguilar, J. J. Sánchez-Mondragón, and S. Stepanov. (1996) *Anisotropy of steady-state two-dimensional lenses in photorefractive crystals with drift nonlinearity.* (43) 311-321.

[9] C. G. Treviño-Palacios, (1992). *Interferometría de Fourier.* Tesis de Maestría, CIO, Universidad de Guanajuato.

[10] M. D. Iturbe-Castillo, J. J. Sánchez-Mondragón, V. A. Vysloukh, S. I. Stepanov, S. Chavez-Cerda, and G. E. Torres-Cisneros, (1995). *Experimental evidence of modulation instability in a photorefractive BTO crystal.* Opt. Lett. (20) 1853-1856.

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Figuras

[1] Arreglo experimental utilizado para la obtención de los perfiles de fase fotoinducidos en un cristal fotorrefractivo de SBN:Ce. D1- Divisor de haz, E1- Espejo, CDH1,2- Cubos divisores de haz, A- Abertura.

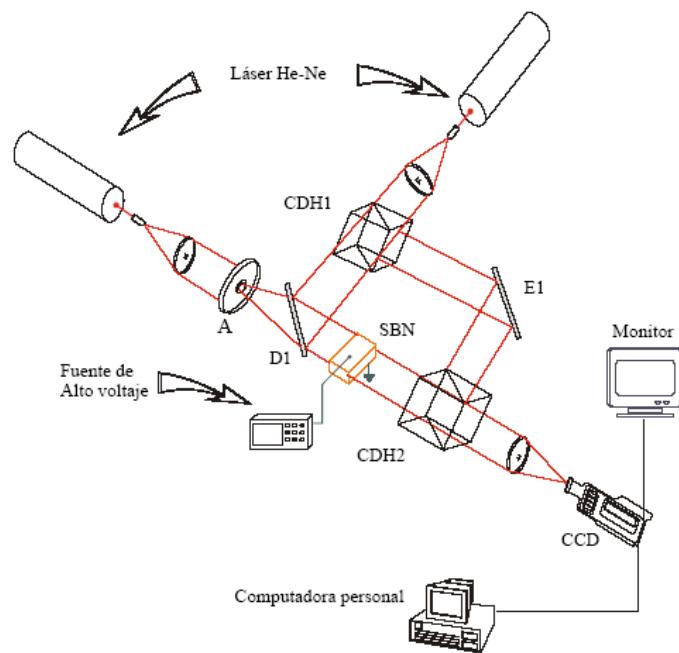
[2] a) Imágenes en la cara de salida para 0.66, 1.33 y 2 kV/cm aplicados al cristal
b) Perfiles de intensidad para las imágenes de la figura 2 a)
c) Cambios de fase fotoinducidos en el cristal para diferentes parámetros de saturación.

[3] Imágenes en la cara de salida del cristal fotorrefractivo con campo eléctrico aplicado de 0.6, 1.3 y 2 kV/cm.

Congreso Internacional
de
la
Ciencia de Sistemas

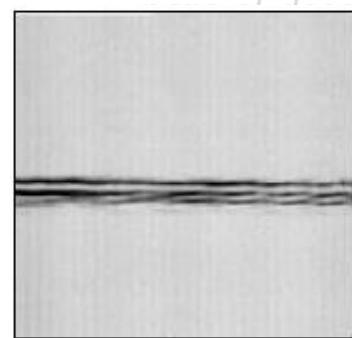
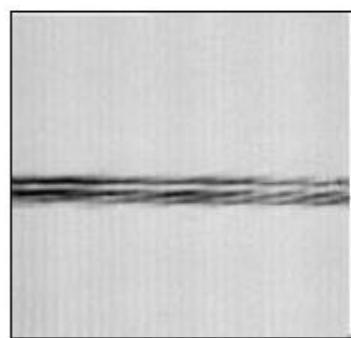
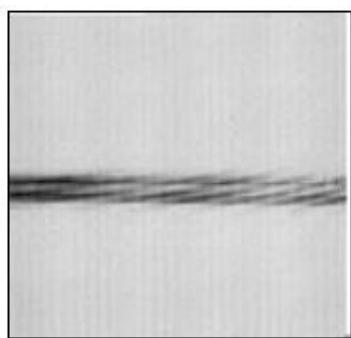
*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Fig. 1



Ciencia de Sistemas

Fig. 2 a)



*“Conocimiento Sistemico
en el desarrollo”*

Fig. 2 b)

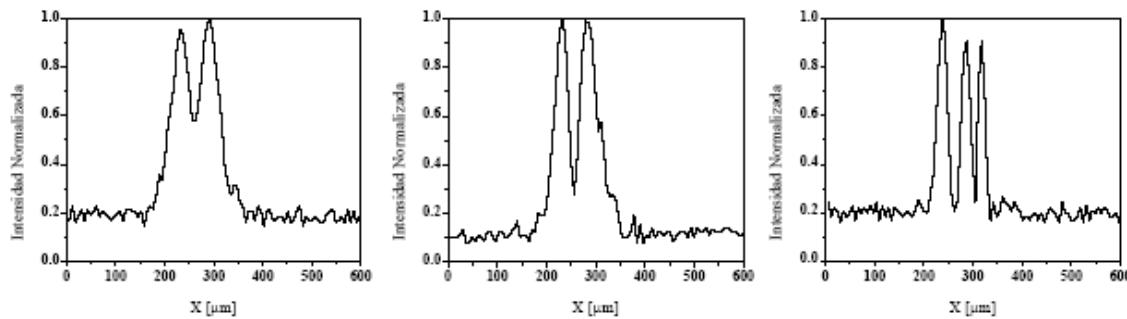
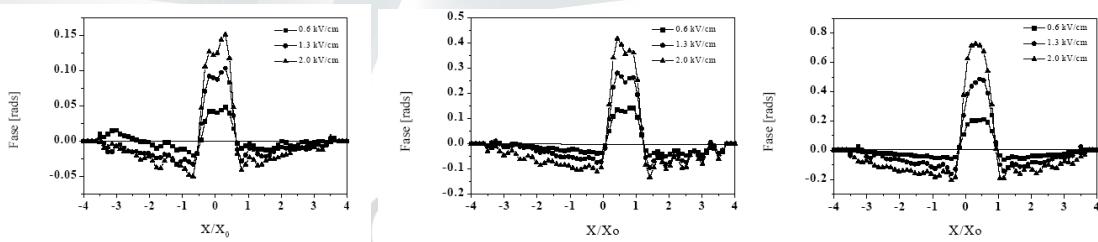


Fig. 2 c)



“Conocimiento Sistémico
para el desarrollo”

Regresión no paramétrica usando curvas B-spline y algoritmos genéticos jerárquicos

C. H. Garcia-Capulin * , G. Trejo-Caballero*, L. M. Burgara-Lopez *, H. Rostro-Gonzalez** , J. G. Avina-Cervantes**

ABSTRACT

We present a nonparametric regression method for noisy data fitting with b-spline curves. The B-spline curve is fitted to data in the least square sense, which are optimized by a hierarchical genetic algorithm. In addition, the method searches solutions with fewer parameters within the space of the B-spline basis functions.

RESUMEN

Se presenta un método de regresión no paramétrica para ajustar una curva b-spline a un conjunto de datos ruidosos. La curva B-spline se ajusta a los datos en el sentido de mínimos cuadrados los cuales son optimizados por medio de un algoritmo genético jerárquico el cual además busca obtener una solución que utilice el menor número de parámetros posible dentro del espacio de las funciones base B-spline.

Recibido: 08 Septiembre 2013

Aceptado: 22 Septiembre 2013

INTRODUCCIÓN

En muchos campos de la ciencia e ingeniería el ajuste de curvas es un problema recurrente [1]. En el cual el objetivo es modelar la relación entre dos variables, una dependiente y la otra independiente en presencia de ruido de acuerdo a la siguiente expresión:

$$y = f(x) + \epsilon \quad (1)$$

donde $f(x)$ es la relación funcional desconocida, ϵ es el error presente, x y y son las variables independiente y dependiente respectivamente. El objetivo entonces es encontrar la función $f(x)$ que se aproxime de la mejor forma la relación existente entre las dos variables.

En la actualidad existen una gran cantidad de métodos propuestos para dar solución al problema, aunque el método a utilizar depende en gran parte del conocimiento a priori que se tenga del mismo; para el caso en que no se cuenta con información sobre el tipo de relación, en los últimos años se han propuesto métodos como la regresión con splines [2, 3] y el suavizado con splines [4, 5], los cuales han mostrando buenos resultados. Aunque estos métodos se han utilizado con éxito, aun se requiere que el usuario especifique ciertos criterios, como por ejemplo el factor de suavidad en el caso del suavizado o comúnmente recurrir a reducir la complejidad definiendo a priori algunas variantes del problema como lo son el número y la posición de los nodos en el caso de la regresión con spline.

En este trabajo se pretende obtener un método de regresión no paramétrica mediante el uso de curvas B-spline [6], el cual sea totalmente automático y que mejore los resultados de los métodos actuales. Dada la cantidad de variables que se requiere ajustar dentro de las funciones B-spline así como el comportamiento multimodal del ajuste, el uso de los algoritmos genéticos para optimizar dichas funciones es ideal [7, 8]. Particularmente en este trabajo se propone utilizar un algoritmo genético jerárquico [9] a fin de optimizar todas las variables necesarias del problema, pero al mismo tiempo establece ciertas relaciones estructurales que existen entre dichas variables. Lo cual lo hace muy bueno para tratar con el problema del ajuste de B-splines.

Palabras clave:

regresión; suavizado; B-spline; algoritmos genéticos

Keywords:

regression; smoothing; B-spline; genetic algorithm

*Departamento de Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Irapuato, Gto., México. Email: cagarcia@itesi.edu.mx, getrejo@itesi.edu.mx, moburgara@itesi.edu.mx
**Departamento de Electrónica, DICIS - Universidad de Guanajuato. Salamanca, México. Email: hrostrog@ugto.mx, avina@ugto.mx

Con las pruebas realizadas a nuestro algoritmo y en comparación contra uno de los mejores métodos existentes los resultados muestran que podemos obtener aproximaciones más exactas. Adicionalmente nuestra propuesta tiene una gran flexibilidad para adoptar muchas otras características de un problema en particular a resolver, dado que el algoritmo genético permite añadirlas de manera simple a la función de adaptación con la que se evalúa la población del algoritmo genético. Lo cual permite que este método pueda ser aplicado para resolver problemas complejos dentro diversos campos de la ingeniería.

REGRESIÓN NO PARAMÉTRICA USANDO B-SPLINE Y ALGORITMOS GENÉTICOS JERÁRQUICOS

Podemos expresar el problema de regresión de una función de la siguiente manera: dados n pares de datos (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$ que pueden ser modelados en la forma de la Ecuación 1. El problema es encontrar el mejor estimado de la función desconocida $f(x)$. En el presente trabajo asumimos que f es una función suave que puede ser aproximada en el intervalo $[a, b]$ mediante una regresión usando función polinomial a trozos, y que el ruido presente en los datos es independiente con media cero y varianza constante. Para encontrar la función de regresión entonces, podemos utilizar las funciones base B-spline.

Las funciones base B-spline son construidas de trozos de polinomios unidos en ciertos valores de x llamados nodos, las cuales cumplen con criterios de continuidad y suavidad determinados por el usuario. Las funciones base B-spline están definidas por las siguientes relaciones recursivas:

$$\begin{aligned} B_{i,k}(x) &= \frac{x - t_i}{t_{i+k-1} - t_i} B_{i,k-1}(x) + \\ &\quad \frac{t_{i+k} - x}{t_{i+k} - t_{i+1}} B_{i+1,k-1}(x) \end{aligned} \quad (2)$$

and

$$B_{i,1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } t_i \leq x < t_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

donde t_i es el vector de nodos definido sobre el dominio de la variable independiente x , y k es el orden de la B-spline que representa el grado de las funciones base más uno. Esto es, si deseamos funciones base cúbicas, el orden de la B-spline debe ser cuatro. Finalmente podemos expresar una función mediante la siguiente combinación lineal de funciones base B-spline:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{m+k} \alpha_i B_{i,k}(x) \quad (4)$$

donde α_i son los coeficientes de la B-spline y $B_{i,k}$ son las funciones base B-spline con m número de nodos

y orden k . Si asumimos el orden $k = 4$, es decir utilizamos una función B-spline cúbica, podemos determinar la función únicamente especificando el número y posición de los nodos del vector t_i y los coeficientes α_i dentro de un vector de parámetros definido como $\theta = \{t_i, \alpha_i\}$. Por lo que el problema se centra en encontrar los parámetros θ que minimicen el siguiente criterio de evaluación:

$$AIC(\hat{f}_\theta) = n \log \sum_{j=1}^n \{y_j - \hat{f}_\theta(x_j)\}^2 + 2p \quad (5)$$

donde AIC, originalmente desarrollado por Akaike [10], es una medida de la calidad del ajuste de una estimación en relación al número de parámetros necesarios para alcanzar ese particular grado de ajuste, \hat{f}_θ es la relación funcional estimada del modelo para un vector de parámetros específico θ , y p es el número de parámetros utilizados por el modelo consistente del número de nodos más el número de coeficientes de la B-spline.

Para minimizar la expresión de la Ecuación 5. En este trabajo se utiliza un algoritmo genético jerárquico, el cual permite optimizar todas las variables necesarias del problema pero al mismo tiempo establece ciertas relaciones estructurales que existen entre dichas variables esto debido a que se establece una relación directa entre el número de nodos, su posición y el número de coeficientes necesarios para especificar la función de regresión mediante la Ecuación 4.

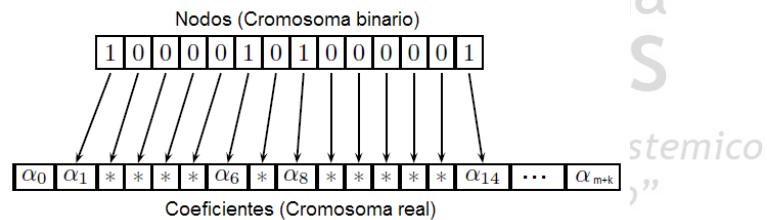


Figure 1 . Codificación del cromosoma

CONFIGURACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO JERÁRQUICO

El algoritmo genético implementado utiliza una codificación binaria para el representar el vector de nodos y al mismo tiempo una codificación de tipo real para representar el vector de coeficientes [11, 12]. Cada uno de los genes de tipo binario representa un nodo dentro del intervalo $[a, b]$, el cual es dividido uniformemente entre el total de bits que componen el cromosoma binario, así que donde existe un 1 binario se activa dicho nodo, de lo contrario dicho nodo desaparece. Al mismo tiempo cada gen binario tiene una relación establecida con un gen de tipo real (coeficiente) del tal forma que si un nodo en específico es

activado, también se activa un coeficiente correspondiente, de esta manera se pretende buscar la mejor estructura para los nodos así como su cantidad y de forma simultánea se van optimizando el valor de los coeficientes. Un ejemplo de la codificación de un individuo se muestra en la Figura 1. Los parámetros restantes correspondientes a la configuración utilizada por el algoritmo genético se muestran en la Tabla 1.

Table 1.

Configuración del algoritmo genético

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	300
Probabilidad de crusa	0.85
Probabilidad de muta	0.01
Individuos elite	9
Número de generaciones	900
Operador de selección	Ruleta
Operador de crusa	Uniforme,SBX
Operador de muta	Bit,Aleatoria

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para probar el desempeño de nuestro algoritmo se tomaron dos funciones típicas de la literatura, las cuales se muestran en la Tabla 2. Para cada una de ellas se simularon 100 conjuntos de datos ruidosos. En cada conjunto de datos se tomaron 201 muestras uniformemente distribuidas dentro del intervalo $[0, 1]$ y se le añadió ruido aleatorio con media cero y desviación estándar σ de tal forma que la razón de la señal al ruido (SNR) fuera 3, donde SNR está definido como la desviación estándar de la función de prueba f dividida por σ de acuerdo con [13].

Table 2.

Funciones de prueba utilizadas

No.	Función de Prueba
1	$f(x) = (4x - 2) + 2 \exp(-16(4x - 2)^2)$
2	$f(x) = \sin^3(2\pi x^3)$

A cada uno de los 100 conjuntos de datos simulados se le aplicó el algoritmo propuesto y para efectos de comparación se aplicó también el algoritmo denominado “Bayesian Adaptive Regression Spline” (BARS) descrito en [13] el cual está implementado en el software estadístico R [14].

Como resultado de cada algoritmo se obtiene una función estimada. Para cada una de estas estimaciones se calcula el error cuadrático promedio (MSE) definido como:

$$MSE(\hat{f}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{\hat{f}(x_i) - f(x_i)\}^2 \quad (6)$$

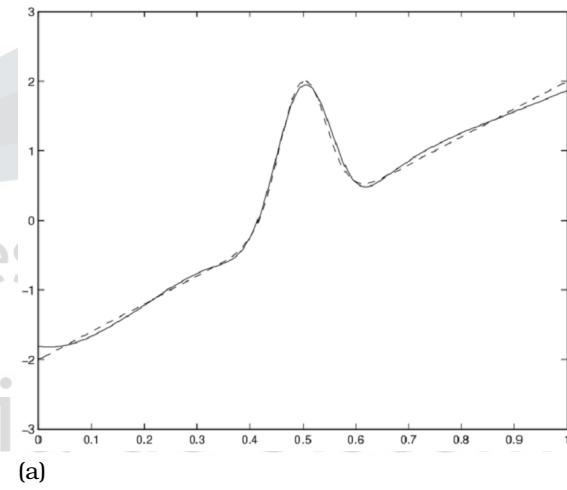
donde \hat{f} es la función estimada por el algoritmo y f es la función real de prueba. Con los resultados

obtenidos se calculó como medida de comparación del desempeño, el valor de la mediana y el promedio del MSE sobre los 100 conjuntos de datos simulados para cada una de las funciones probadas como se resume en la Tabla 3. Para apreciar gráficamente los resultados se muestra un ejemplo para cada una de las funciones de prueba en la Figura 2. Con las pruebas realizadas a nuestro algoritmo y en comparación contra uno de los mejores métodos existentes los resultados muestran que podemos obtener aproximaciones más exactas.

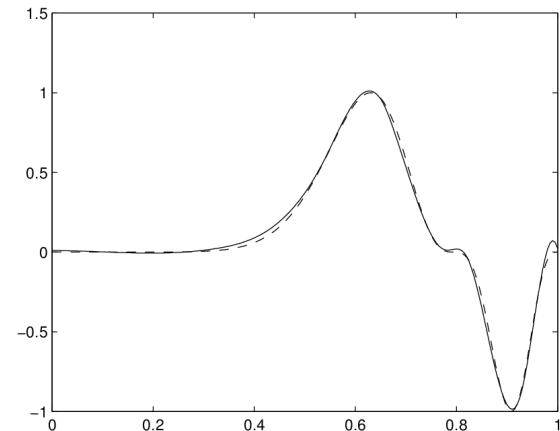
Table 3.

Resultados obtenidos para cada función. Mediana del MSE sobre 100 conjuntos de datos simulados

Función	Algoritmo Genético	BARS
1	0.008719	0.009148
2	0.001506	0.001703



(a)



(b)

Figure 2 . Ejemplos de funciones estimadas por el algoritmo genético jerárquico: (a) y (b) funciones de prueba 1 y 2 respectivamente. (línea sólida: función estimada; línea discontinua: función real)

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados se muestra que el método propuesto puede obtener soluciones óptimas con un mínimo de parámetros dentro del espacio de las funciones base B-spline. Esto se logra debido al uso del algoritmo genético jerárquico, el cual es capaz de optimizar de manera simultánea la cantidad y posición de los nodos así como el valor de los coeficientes, favoreciendo aquellas soluciones que contengan la menor cantidad de nodos pero que cumplan con el objetivo de minimizar el error.

Por otra parte, el uso del algoritmo genético nos brinda una gran flexibilidad para adoptar otras características específicas a cada problema dado que permite añadirlas de manera simple a la función de adaptación con la que se evalúa la población. Como parte de este trabajo se tiene contemplado extender este método para poder hacer el ajuste de superficies y aplicarlo en problemas complejos dentro del campo del procesamiento digital se señales como lo es la eliminación del ruido.

REFERENCES

- [1] Ahmed, M. A., DeJong, K. A., 1997. Function approximator design using genetic algorithms. In Evolutionary Computation., IEEE International Conference on, pages 519--524. Indianapolis, IN, USA.
- [2] Lee, T. C. M., 2002. On algorithms for ordinary least squares regression spline fitting: a comparative study. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 72(8):647--663.
- [3] Smith, M., Kohn, R., 1996. Nonparametric regression using bayesian variable selection. *Journal of Econometrics* 75(2):317--343.
- [4] Wand, M. P., 2000. A comparison of regression spline smoothing procedures. *Computational Statistics* 15(4):443--462.
- [5] Lee, T. C. M., 2003. Smoothing parameter selection for smoothing splines: a simulation study. *Computational Statistics & Data Analysis* 42(1-2):139--148.
- [6] De Boor, C., 1978. *A Practical Guide to Splines*. New York: Springer-Verlag.
- [7] Yoshimoto, F., Moriyama, M., Harada, T., 1999. Automatic knot placement by a genetic algorithm for data fitting with a spline. In SHAPE MODELING INTERNATIONAL '99 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON SHAPE MODELING AND APPLICATIONS, PROCEEDINGS, pages 162--169. IEEE COMPUTER SOC, 10662 LOS VAQUEROS CIRCLE, PO BOX 3014, LOS ALAMITOS, CA 90720-1264 USA.
- [8] Manela, M., Thornhill, N., Campbell, J. A., 1993. Fitting spline functions to noisy data using a genetic algorithm. In Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms, pages 549--556. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [9] Man, K.-F., Tang, K.-S., Kwong, S., 1999. *Genetic Algorithms: Concepts and Designs with Disk*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Inc.
- [10] Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6):716--723.
- [11] Goldberg, D. E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley Professional.
- [12] Holland, J. H., 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press.
- [13] Dimatteo, I., Genovese, C. R., Kass, R. E., 2001. Bayesian curve-fitting with free-knot splines. *Biometrika* 88(4):1055--1071.
- [14] R Development Core Team, 2009. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.

*"Conocimiento Sistemico
para el desarrollo"*

EL PROCESO DE DISEÑO DE MÁQUINAS CON VISIÓN SISTÉMICA.

Arturo Lara López*

ABSTRACT

A systematic approach to the machine design process is presented. Three design situations commonly encountered are discussed. Each one of such situations required a particular procedure demanding different levels of creative effort. Each situation is defined from a conceptual stand point and a corresponding practical case is presented .

RESUMEN

Se presenta un enfoque sistemico del proceso de diseño de máquinas, distinguiéndose tres situaciones comúnmente encontradas en tal proceso, las cuales demandan procedimientos específicos en cada caso con sus correspondientes niveles de exigencia creativa. Se presenta conceptualmente cada situación y se ejemplifica con un caso práctico y se discute el enfoque sistemico en el proceso de diseño de máquinas.

Recibido: 1 Octubre 2013

Aceptado: 1 Octubre 2013

INTRODUCCION

La capacidad de diseñar máquinas es muy antigua y ha dado una ventaja a las sociedades que la han desarrollado en mayor medida. A tal capacidad se asocia la disponibilidad de bienes al alcance de mayoría de la población, incluyendo desde lo más básico como salud, alimento, vestido y vivienda hasta el entretenimiento. En la antigüedad, el proceso de diseño de máquinas era más cercano al de invención partiendo de una idea original a partir de la cual se construía la máquina. Aún en los principios de la era de la revolución industrial, muchas máquinas básicas surgieron antes que el entendimiento científico de su funcionamiento, si bien tal conocimiento posteriormente permitió el mejoramiento de tales inventos.

En nuestros días el proceso de diseño de máquinas forma parte del currículum de los ingenieros de varias ramas, si bien existen diferencias entre los enfoques de los autores más reconocidos. Asimov (1962) presenta un enfoque filosófico del proceso de diseño sosteniendo que éste parte de una necesidad primitiva que aparece implícita y nebulosa en una situación problemática. En tal sentido debe definirse y evaluarse tal necesidad para después definir a partir de tal análisis el problema de diseño a resolver. La búsqueda de alternativas de solución incluye la revisión de antecedentes y la generación de alternativas nuevas. Posteriormente recomienda un análisis comparativo entre alternativas factibles para finalizar con las etapas de diseño de detalle, construcción y pruebas de prototipos y la extensa etapa de planeación de un producto y su retiro del mercado.

Palabras clave:

Diseño;Maquinas;Sistemas; Procesos

Keywords:

Design;Machines;Systems;process

Johnson R. C. (1971) propone un proceso de diseño mecánico en el que en la búsqueda de alternativas se incorpora la configuración óptima de la máquina incorporando para tal fin varias técnicas que generen las acciones (fuerzas) requeridas. Posteriormente, en la etapa de cálculo de dimensiones y selección de materiales la propuesta es la aplicación de los métodos de optimización para tal fin. Este enfoque hace énfasis en las alternativas que pueden generar las características físicas requeridas en la definición del problema de diseño.

Pahl G. y W.Beitz (1988) presentan un enfoque novedoso del proceso de diseño mecánico que incorpora las etapas de clarificación del objetivo, diseño conceptual, diseño del conjunto y diseño de detalle. Además los autores presentan nuevos métodos para estimular la creatividad de los diseñadores.

*Universidad de Guanajuato

En general los autores mencionados coinciden en iniciar el proceso de diseño con una definición abstracta del problema para después buscar alternativas concretas de solución. Es importante mencionar que las referencias antes citadas tratan el problema general de diseño que significa el desarrollo de una nueva máquina. Es frecuente que el problema de diseño no se defina para lograr tal alcance y que en su caso se limite a una mejora de un sistema existente. En esta ponencia se abordarán los casos más frecuentemente encontrados en la práctica del diseño mecánico.

SITUACIONES FRECUENTES DEL DISEÑO DE MÁQUINAS

Se distinguirán los siguientes tres casos comúnmente encontrados en el proceso de diseño mecánico: Mejorar un sistema mecánico existente, diseñar un sistema basado en principios (conceptos) experimentados y diseñar un sistema basado en conceptos originales.

Mejorar un sistema mecánico existente

En este caso pueden distinguirse dos casos. El más general implicaría cambios en la configuración de sistema sin abandonar el principio de funcionamiento del sistema. Un segundo caso implicaría solamente la búsqueda de los parámetros físicos del sistema y sus componentes que mejoran su desempeño según un criterio de diseño definido por el valor de alguna variable de interés. Resulta evidente que en el primer caso podría incorporarse una mejora paramétrica como la implicada el segundo caso.

En la búsqueda de parámetros mejorados tienen un lugar especial los métodos de optimización paramétrica y de forma Johnson R. C. Op. Cit. En cambio en el caso de mejoramiento de la configuración, Tiene lugar la aplicación de métodos para generar alternativas tales como la tormenta de ideas y otros más recientes reportados descritos ampliamente por Pahl G. y W. Beitz Op. Cit.

Diseño de un nuevo sistema mecánico basado en principios experimentados

Es frecuente encontrar una alternativa factible a la solución del problema de diseño definido basada en conceptos cuyo funcionamiento es predecible mediante la simulación matemática o bien mediante la aplicación de modelos empíricos previamente probados. La opinión del autor es que está solución al problema de diseño en ingeniería es la que se encuentra más frecuentemente. Las ciencias de la ingeniería y el modelado por computadora son la base para la solución de este tipo de problemas de diseño. En general, en este caso son aplicables los métodos de generación

creativa de alternativas antes comentados así como búsquedas de antecedentes en gacetas de patentes, revistas especializadas y catálogos de fabricantes de equipo en el ramo respectivo.

DISEÑO DE MÁQUINAS BASADAS EN CONCEPTOS ORIGINALES

Con más frecuencia de lo esperado, la búsqueda de antecedentes no conduce a conceptos de diseño que sirvan de base para la solución del problema definido. En este caso resulta necesaria la generación de nuevas ideas que conduzcan a la clarificación del concepto de diseño que sirva de base para el desarrollo de la nueva máquina. En general, no es suficiente la sola generación de una idea brillante. Además de ello se requiere de investigación y experimentación para el desarrollo y entendimiento del funcionamiento del nuevo principio.

Una vez concluida la etapa anterior, tiene lugar el diseño conceptual de la máquina en su conjunto para continuar con las etapas de diseño de detalle, construcción y pruebas de prototipos.

EL PROCESO GENERAL DE DISEÑO DE MÁQUINAS

“Sistémico para el desarrollo”

Como se mencionó anteriormente, los autores más reconocidos en la metodología del diseño aportan su propia visión del proceso. Sin embargo, aunque difieren en la terminología y definición de etapas coinciden en el concepto básico del proceso, iniciando con el reconocimiento de una situación problemática (Necesidad primitiva) y la valoración de tal necesidad, la definición del problema de diseño en términos objetivos y cuantificables, la búsqueda de alternativas de solución y el análisis comparativo entre ellas para definir el concepto básico del diseño, el diseño de detalle, desarrollo y pruebas. La fig. 1 muestra una propuesta del proceso de diseño de máquinas, Lara-López A. (1981).

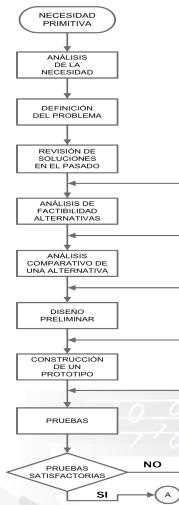


Figure 1 . Proceso de diseño de 'mecánico'.

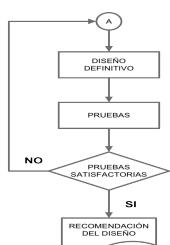


Figure 2 . El problema de diseño visto con enfoque sistemático.

PRIMER CASO

A continuación se presenta un caso que ejemplifica el mejoramiento de un sistema mecánico existente y cuyo esfuerzo de diseño consiste en optimizar sus parámetros característicos para dos propósitos diferentes. En el primero se buscan los parámetros que maximizan el desempeño del sistema y en el segundo los parámetros que minimizan el costo de materiales que constituyen el sistema. En ambos procesos se incorporan restricciones definidas por los requerimientos normativos que debe cumplir el sistema.

Es reconocible que el proceso de diseño de máquinas tiene un carácter iterativo y que cada iteración puede representar altos costos y tiempo valioso, por lo que las consideraciones de los escenarios previsibles y su análisis cuidadoso pueden conducir a ahorros importantes.

El enfoque sistémico del diseño inicia con una clarificación de la necesidad primitiva y del entorno relevante en el que funcionará el sistema mecánico para a partir de este punto definir el problema de diseño cuya solución satisaría la necesidad primitiva que previamente debió calificarse como relevante para merecer el inicio de un proyecto. En el caso general, la definición del problema deberá contener las funciones que realizará el sistema mecánico a diseñar así como los indicadores de desempeño correspondientes a tales funciones. Tal información en su conjunto constituye las características de diseño de la futura máquina o sistema de máquinas sin que se especificado el funcionamiento o configuración de la máquina. Además la definición del problema incluye los insumos o materias primas de que dispondrá la máquina para su funcionamiento. Adicionalmente, se considerarán las los recursos disponibles para su fabricación (materiales y procesos) y las restricciones a que debe sujetarse el diseño, incluyendo aspectos de espacio, ecológicos, financieros, sociales o políticos, fig. 2. La definición del problema puede demandar de gran experiencia y de la participación de talentos diferentes.

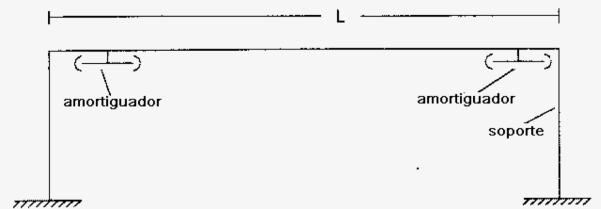


Figure 3 . Esquema de una línea de transmisión.

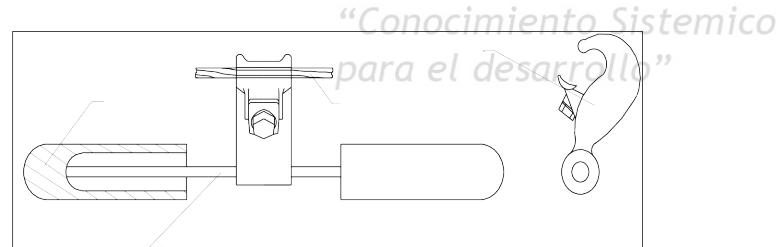


Figure 4 . Esquema del amortiguador Stockbridge.

El sistema mecánico es el amortiguador para vibraciones eólicas de cables de alta tensión que se esquematiza en la fig. 3. Navarro C. et al (2008) Tales dispositivos se han aplicado desde los años treinta del siglo XX continuando en uso y en estudio hasta la actualidad. La fig. 4 muestra el detalle de un amortiguador eólico el cual debe superar una prueba de atenuación de vibración en un cable experimental sujeto a una excitación armónica, fig. 5(a). La amplitud

de vibración del cable en la ubicación del sensor de aceleración debe reducirse en ochenta porcientos como resultado de la presencia del amortiguador. Además, el amortiguador debe soportar al menos un millón de ciclos de oscilación a su primera frecuencia natural de vibración en una prueba de fatiga sujeto a una mesa vibratoria. La respuesta dinámica del amortiguador puede predecirse mediante la aplicación del método del elemento finito y por ende conocer los esfuerzos a que se somete el cable mensajero, fig. 5(b).

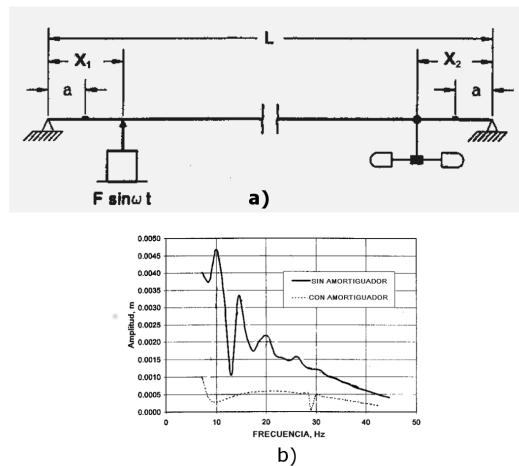


Figure 5 . Prueba de laboratorio de amortiguación y Simulación de respuesta por E.F.

Las variables de diseño son la masa del amortiguador m , la longitud del cable mensajero l , el momento de inercia centroidal de la masa J y la posición del centro de masa G . Para la optimización de máxima atenuación, la función objetiva es:

$$(1) \quad A = 100(1 - D_{ca}/D_{sa})$$

Donde:

A , atenuación de la vibración en la ubicación de los sensores de aceleración

D_{ca} , amplitud de vibración en el sensor con presencia del amortiguador

D_{sa} , amplitud de vibración en el sensor con ausencia del amortiguador

Las restricciones de diseño son:

$$A \geq 80$$

(2)

$$S \leq S_e \quad (3)$$

Siendo:

S , El esfuerzo de flexión en el cable mensajero

S_e , El mayor esfuerzo permitido de flexión para evitar la fatiga del cable mensajero

El cálculo del esfuerzo flexionante en el cable mensajero y de las amplitudes de desplazamiento en los sensores de aceleración se efectuaron mediante el método de elemento finito, Navarro C. et al. Tales cálculos se efectuaron en cada iteración del proceso de optimización.

Para la optimización buscando el el mínimo costo de material, la función objetiva es:

$$(4) \quad C = m(Cm) + l(Cc)$$

Las restricciones provienen de la normatividad de calidad que debe cumplirse, por lo que siguen siendo aplicables las ecuaciones 2 y 3.

Con el propósito de explorar la influencia de las variables de diseño en la atenuación del amortiguador de la vibración se efectuó un barrido paramétrico en el intervalo factible de tales variables, fig. 6, de la cual se observa que la masa es la que causa el mayor efecto en la atenuación.

La fig. 7 muestra tanto la región de diseño factible como la solución óptima para mínimo costo y la tabla 1 resume los resultados de la optimización con ambos criterios observándose una gran diferencia en el costo del material y una diferencia menor en el desempeño la atenuación de ambos diseños óptimos, por lo que la solución de mínimo costo en este caso sería la más recomendable.

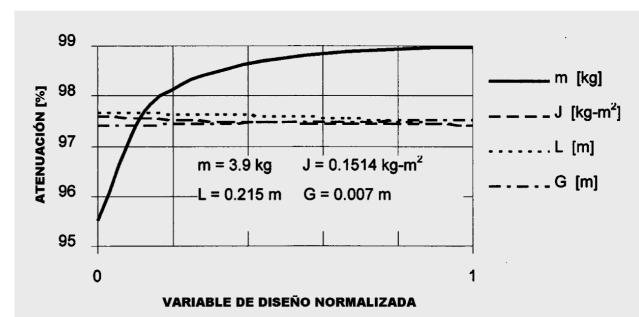


Figure 6 . Influencia de la variable en la atenuación.

Table 1 .

Resultados de la optimización.

Parametro	Costo imo	Min-	Máxima eficiencia	Efi-	Amortiguador Comercial
Masa m.kg	2.47		5.0	3.9	
Longitud del cable mensajero L.m	0.20		0.15	0.215	
Momento de inercia J.kg-m	0.1514		0.1514	0.1514	
cable G,m	0.007		0.007	0.007	
Eficacia del lado amortiguado EF11, %	97.24	70.0	98.33	77.0	No disponible
Eficacia del lado amortiguado EF12, %	95.99		95.64		No disponible
Factor de Seguridad, FAC	8.00		5.35		No disponible
Costo mínimo de materiales C.\$	1.054		1.943		1.5314

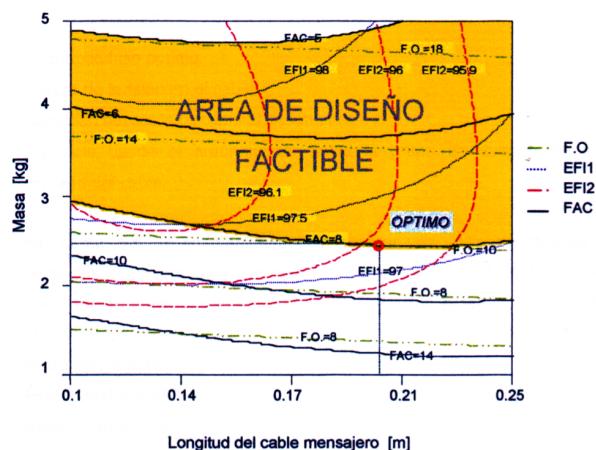


Figure 7 . Región de diseño factible y solución óptima.

SEGUNDO CASO

En este caso se ejemplifica el diseño de una nueva máquina basada en conceptos experimentados. En la década de los años setenta del siglo XX la concentración de potencia mecánica promedio en México mostraba un valor muy inferior a lo que se consideraba como la potencia óptima de 0.75 kW/ha para minimizar el costo asociado a la labranza, incluyendo los costos estimados por pérdidas de producción debidos al atraso en la realización de las operaciones de

labranza en tiempo, Lara-López A., W.J. Chancellor, R.A. Kepner and S. Kaminaka ().

El problema se definió en términos de diseñar un sistema mecánico que proporcionara al productor agrícola la potencia más económica para realizar las operaciones de labranza requeridas en los cultivos más comunes en el país.

Se procedió a evaluar la necesidad primitiva investigando los aspectos sociales y económicos de la agricultura mexicana de esa época. Las tablas 2 y 3 muestran un resumen de tales aspectos resaltando que los principales cultivos son maíz y frijol y que aproximadamente existían 1.5 millones de granjas en el sector de subsistencia con una superficie promedio de 7.9 ha. A tal sector se orientó el proyecto por su significancia social y económica.

Table 2 .

Agricultura mexicana.

Concepto	Total	Moderna	Tradicional	Subsistencia
Participación relativa de cada sector	100.00	7.10	40.50	52.40
Número de granjas privadas	957,082.00	81,183.00	463,841.00	412,058.00
Número de granjas de ejidatarios	1,858,825.00	120,267.00	676,192.00	1,062,366.00
Tamaño promedio, hectáreas	12.10	33.10	13.90	7.90
Porcentaje de tierra con irrigación	17.60	71.40	16.80	10.90
Ingreso anual por granja (pesos*)	10,069.00	62,840.00	9,282.00	3,472.00
Capital por granja (pesos*)	21,540.00	110,315.00	23,003.00	6,377.00
Porcentaje de tierra fertilizada	31.70	83.10	41.80	16.80
Porcentaje de producción de autoconsumo	27.10	7.20	15.50	38.80
Ingreso anual promedio por persona (pesos* por año)	1,547.00	9,975.00	1,428.00	489.00

Table 3 .

Principales cultivos producidos en México.

Cultivo	Moderna*	Tradicional*	De Subsistencia*
Alfalfa	1.42	0.92	0.12
Cebada	0.96	1.64	1.94
Frijol	3.08	13.08	16.43
Garbanzo	0.52	1.73	1.28
Maíz	32.98	56.94	56.02
Algodón	15.43	1.55	0.23
Arroz	1.62	0.69	0.76
Ajonjoli	0.73	1.53	2.54
Sorgo	11.96	4.94	1.77
Soya	2.64	0.54	--
Tomate	0.79	0.32	0.08
Trigo	12.54	3.50	0.89
Otros cultivos	16.02	12.62	17.94

*Porcentajes
de tierra
cultivada en
1968



Figure 8 . Motocultor de alto despeje.

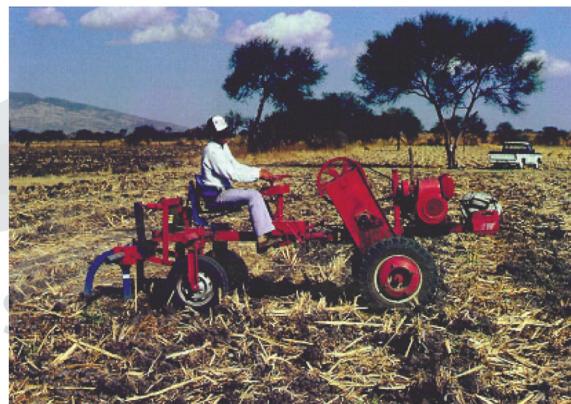


Figure 9 . Motocultor de alto despeje con carro porta accesorios.

Se buscaron alternativas para el sector con la más amplia visión incluyendo un sistema de contratistas con maquinaria comercial y el desarrollo de un tractor pequeño económico y con capacidad para realizar las operaciones de labranza requeridas para los principales cultivos. Al comparar ambos sistemas, este último resultó el más económico, cuando se trataba de tractores de dos ruedas.

Los tractores de dos ruedas, conocidos como motocultores han existido desde el primer tercio del siglo XX, principalmente en Asia y Europa dedicados en el primer caso al cultivo del arroz y en el segundo a las hortalizas y viñedos. En ninguno de los dos casos se requiere alto despeje para escardas secundarias y los requerimientos tractivos son menores a los de labranza en suelos secos y con residuos de cultivos anteriores como ocurre en la agricultura del país.

Se tenía un concepto probado, el motocultor, pero sujeto a requerimientos nuevos. Además se deseaba explorar la posibilidad de un diseño fabricable en talleres con tecnología universal y aprovechando componentes y materiales de la producción industrial estándar. Tal definición del problema de diseño implicó el desarrollo de una nueva máquina, Lara López A. et al (1982).

Después de un esfuerzo considerable de desarrollo y pruebas resultaron dos versiones del "Motocultor de Alto despeje" mostradas en las figs. 8 y 9 con número de patente en México 158176 y fabricadas en pequeñas series piloto por dos empresas medianas.

CASO TERCERO

Con el propósito de exemplificar el proceso de diseño de máquinas basado en un nuevo concepto, se presenta el desarrollo de equipo experimental para la cosecha selectiva y no selectiva de tunas. La cosecha selectiva se aplica para fruta destinada al mercado fresco mientras que la no selectiva para la obtención de derivados mediante un proceso industrial. Actualmente la cosecha de tuna se efectúa manualmente, lo que constituye un cuello de botella para el mercado fresco como un costo excesivo para la industria de derivados. Además la cosecha manual resulta difícil y la presencia de espinas la hace accidentada lo que causa escasez de mano de obra.

La búsqueda de antecedentes no proporcionó conceptos previamente probados para la cosecha selectiva o no selectiva de tunas, lo que hizo necesaria la experimentación para definir el sistema de fuerzas que mejor desprendiera las tunas de la planta y con el menor daño al fruto. Se encontró que la aplicación de un par de torsión respecto al eje longitudinal de las

tunas de 1.0 Nm las desprendía sin daño apreciable. A tal concepto se le denominó cosecha de tunas mediante torsión. Lara-López A. et al (1986). Mediante un proceso de generación de alternativas aplicando primero el método de lluvia de ideas y posteriormente una segunda etapa de mejoramiento sucesivo se desarrolló una herramienta manual para la cosecha selectiva de tunas, fig. 10, Manriquez Y. y A. Lara-López () .



Figure 10 . Cosechadora selectiva manual.

Esta herramienta mostró una velocidad de cosecha muy superior a la cosecha con navaja o puramente manual y un porcentaje de daño aceptable.

Para la cosecha no selectiva y considerando que la mayoría de las tunas se aloja en el extremo circular de la penca se propuso un módulo cosechador que imprime torsión a las tunas mediante un par de discos de hule espuma contrarrotantes. La fig. 11 muestra una versión mejorada del módulo original, González Galván E. J. et al (1991). El porcentaje de daño fue igualmente reducido y la efectividad del corte aceptable. La operación de este módulo requiere potencia hidráulica o eléctrica además de cargar y transportar las tunas cosechadas fuera del campo para llevarlas a la planta procesadora. Tales operaciones se efectuarán con un vehículo de alto despeje con potencia hidrostática que pueda circular en las huertas de tunas, fig. 12.



Figure 11 . Discos contrarrotantes para la cosecha no selectiva.



Figure 12 . Vehiculo hidrostático de alto despeje.

Las componentes de este sistema cosechador se han probado individualmente y el proceso de integración y prueba del sistema completo está en proceso.

CONCLUSIONES

“Conocimiento Sistémico para el desarrollo”

1. El enfoque sistémico del proceso de diseño de sistemas mecánicos permite ordenar tal proceso definiendo el problema en forma abstracta para una búsqueda de alternativas, inicialmente con pensamiento divergente sin orientarse preferentemente hacia un concepto predeterminado sino permitiéndose la mayor amplitud.
2. Los tres casos más frecuentemente encontrados en el diseño mecánico, aunque con amplitudes distintas, quedan incorporados en el proceso general del diseño de máquinas.
3. Es recomendable fomentar el enfoque sistémico con su máxima amplitud en la solución de problemas para reducir las probabilidades de fallas

sorpresivas por ignorar algún aspecto particularmente importante. En este sentido, el profesional a cargo de un sistema está exigido para desarrollar una capacidad de interacción, comunicación y trabajo con profesionales de diversos campos del conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCES

- [1] Asimow, M., 1962. Introduction to design. Prentice-Hall series of engineering design: Fundamentals of engineering design. Prentice-Hall.
- [2] Pahl, G., Beitz, W., Wallace, K., 1988. Engineering Design: Systematic Approach. Springer-Verlag GmbH.
- [3] C., J. R., 1971. Mechanical Design Synthesis with Optimization Applications. VAN NOSTRAND COMPANY.
- [4] López, A. L. Proceso general de diseño en ingeniería. notas de clase no publicadas.
- [5] Canales, C. N., López, A. L., Venegas, J. C., Razo-García, J., Aguilera-Cortés, L. A., 2008. Optimal design of stockbridge dampers. Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo 2(6):193–199.
- [6] Lara-López A, R. A. K., W. J. Chancellor, Kaminaka, S., 1982. A two-wheeled tractor for manufacture in méxico. Transactions of the ASAE 25:1189–11951203.
- [7] Mejoras en motocultor de alto despejes.
- [8] Lara-López A., J. M. [U+FFFD]. Z. T., 1986. Dispositivos para cosecha de tunas. Memorias del XII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería A. C. 1:16–20.
- [9] y A. Lara López ., G. G. E. J., 1991. Módulo de cosecha no selectiva de tunas. Memorias del XVII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería A. C. .

Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

Evaluación de modelos homogéneos para la caída de presión en un flujo en dos fases vertical

José Manuel Riesco-Ávila, Edgar Enrique Vázquez-Ramírez, Francisco Elizalde-Blancas, Juan Serrano-Arellano, Antonio Alberto Aguilar-Moreno

Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato,
Carr. Salamanca–Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto.

Teléfono: 01 464 64 79940 Ext. 2387

riesco@ugto.mx, ee.vazquezramirez@ugto.mx, franciscoeb@ugto.mx, jserrano@cenidet.edu.mx,
aa.aguilarmoreno@ugto.mx



Evaluación de modelos homogéneos para la caída de presión en un flujo en dos fases vertical

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la efectividad de 96 modelos homogéneos para predecir la caída de presión en un flujo en dos fases vertical, comparando los resultados con una base de datos de 246 experimentos. Los 96 modelos surgen de la combinación de 4 modelos de densidad y 24 de viscosidad para el cálculo de las propiedades de la mezcla. Además, para calcular la caída de presión por fricción, se comparan los resultados obtenidos con la clásica ecuación de Darcy, para el factor de fricción para flujo laminar completamente desarrollado, con los obtenidos con la ecuación de Shah y London, la cual considera los efectos del flujo en desarrollo. Por otro lado, para calcular el factor de fricción en flujo turbulento, se usan 6 ecuaciones reportadas en la literatura. Se presentan los resultados de los 15 modelos que presentan mejor desempeño de acuerdo con el error porcentual absoluto promedio calculado.

ABSTRACT

In this work the effectiveness of 96 homogeneous models to predict the pressure drop in vertical two-phase flow is evaluated, comparing the results with a database of 246 experiments. The 96 homogeneous models are formed by the combination of 4 density and 24 viscosity models for calculating the mixture properties. Besides, in order to calculate the frictional pressure drop, the results obtained with the classical Darcy equation for the local friction factor for a laminar, hydrodynamically fully developed flow in a circular tube, are compared with the average friction factor that includes the developing region for a circular tube, proposed by Shah and London. On the other hand, to calculate the friction factor for turbulent flow, 6 equations reported in the literature are used. The results of the 15 models that show the best performance according to the calculated mean absolute percentage error are presented.

Palabras clave: Flujo en dos fases; caída de presión; flujo vertical ascendente; modelo homogéneo.

Keywords: Two-phase flow; pressure drop; vertical ascendant flow; homogeneous model.

Introducción

El estudio clásico de la mecánica de fluidos se concentra en el flujo de una sola fase; por ejemplo, agua, aire, vapor de agua, etc. Sin embargo, muchos procesos industriales importantes implican el flujo simultáneo de múltiples fases, como burbujas de gas en aceite, vapor húmedo, o partículas dispersas en gas o líquido. Los ejemplos incluyen el flujo de líquido-vapor en sistemas de refrigeración y columnas de destilación, flujos de agua-vapor en calderas y condensadores y el transporte neumático de partículas sólidas. Hasta ahora, se han diseñado tuberías capaces de manejar flujos multifásicos, pero no se sabe con exactitud lo que sucede adentro y por ende se tiende a sobredimensionar el sistema de tuberías y accesorios que van a manejar el flujo. Los sistemas de flujos en dos fases son el caso más reducido del gran número de configuraciones de los flujos multifásicos y pueden presentarse en varias configuraciones, de las cuales el flujo líquido-gas es una de las combinaciones más complejas, debido principalmente a la gran diversidad de configuraciones relacionadas con la distribución espacial de las dos fases en la tubería y a la compresibilidad de la fase gaseosa.

El conocimiento de la caída de presión en un flujo en dos fases es de primordial importancia en equipos que operan con este tipo de flujo. No obstante de que el cálculo de esta caída de presión ha sido objeto de investigación desde hace muchos años, hasta ahora no existe un modelo o correlación que permita determinarla con exactitud.

La solución rigurosa de las ecuaciones de conservación para el flujo en dos fases es muy compleja, debido al gran número de variables de flujo asociadas con ambas fases y a su complicada naturaleza, como la compresibilidad de la fase gaseosa y diferentes velocidades de las fases, situación que se complica si se presenta evaporación o condensación. Sin embargo, se han desarrollado modelos simplificados como el homogéneo y el de flujo separado, para el cálculo de la caída de presión en un flujo en dos fases. En el modelo de flujo homogéneo se trata a la mezcla de las dos fases como una pseudo-fase de fluido cuya velocidad y propiedades físicas se calculan a partir de las propiedades de

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

ambas fases. En el modelo de flujo separado cada fase es analizada por separado y considera que cada una de éstas puede tener velocidades y propiedades físicas diferentes.

En este trabajo se comparan los resultados obtenidos en una instalación experimental de la caída de presión en un flujo en dos fases (líquido-gas) vertical ascendente, con los resultados que predicen la combinación de 4 modelos de densidad y 24 de viscosidad, usando el modelo de flujo homogéneo.

Por lo general, la mayoría de los trabajos encontrados en la literatura utilizan la ecuación clásica de Darcy para el cálculo del factor de fricción en régimen laminar. Sin embargo, esta ecuación es válida para la región de flujo completamente desarrollado y no toma en cuenta la región de entrada. Dada las características de la instalación de pruebas usada en este trabajo, es evidente que existe una región de entrada, pudiendo incluso tener casos en los que el flujo no alcance a desarrollarse completamente. Por esta razón, en este trabajo se utiliza la ecuación propuesta por Shah y London (1978), para el cálculo del factor de fricción en régimen laminar, la cual considera los efectos del flujo en desarrollo, y se comparan los resultados con los que se obtienen con la ecuación de Darcy (Cengel y Cimbala, 2006).

Además, ya que no existe un criterio único para considerar la transición entre un flujo laminar y uno turbulento, se utilizan diferentes estrategias. Primero, se considera que el flujo es laminar hasta un valor del número de Reynolds (Re) de 2300, considerando que por encima de este valor el flujo es turbulento.

Otra estrategia es considerar una región de transición; en este caso, se considera que el flujo es laminar hasta $Re = 2000$ y que existe una zona de transición que va de $Re > 2000$ hasta $Re < 3000$. Para esta zona, el factor de fricción se calcula mediante una interpolación lineal entre la ecuación para flujo laminar y la de flujo turbulento. Para el flujo turbulento, el factor de fricción es prácticamente independiente de la forma del ducto, pero es sensible a la rugosidad de la superficie. En este trabajo se utilizan las ecuaciones de Blasius (1913), Petukhov (1970), Zigrang y Sylvester (1982) y Fang et al. (2011), para el cálculo del factor de fricción para el flujo turbulento completamente desarrollado.

Además, también se utilizan las ecuaciones de Churchill (1977) y F. García et al. (2003), desarrolladas

para el cálculo del factor de fricción en el rango completo de números de Reynolds (laminar y turbulento).

MODELO HOMOGÉNEO

El modelo de flujo homogéneo representa la técnica más sencilla para analizar flujos en dos fases; en este modelo, se trata a la mezcla de las dos fases como un pseudofluido cuyas propiedades se calculan a partir de las propiedades de ambos fluidos y se le aplican las ecuaciones desarrolladas para el flujo de una sola fase.

El gradiente de presión total para el flujo en tuberías, se puede expresar como:

$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_{total} = \left(\frac{dP}{dz}\right)_f + \left(\frac{dP}{dz}\right)_a + \left(\frac{dP}{dz}\right)_g \quad (1)$$

donde el primer término del lado derecho representa la componente del gradiente de presión debido a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería, el segundo es la componente debida al cambio en la energía cinética y el tercero es la debida al cambio en la energía potencial.

Para el modelo homogéneo del flujo en dos fases, la Ec.(1) se puede escribir como:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{total} = f_m \frac{\rho_m u_m^2}{2D} + \rho_m u_m \frac{du_m}{dz} + g \rho_m \cdot \operatorname{sen}\theta \quad (2)$$

donde D es el diámetro de la tubería, f_m , ρ_m y u_m son el factor de fricción de Darcy-Weisbach, la densidad y la velocidad de la mezcla, respectivamente, y θ es el ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal.

El factor de fricción local para el flujo laminar completamente desarrollado hidrodinámicamente en un tubo circular está dado por (Cengel y Cimbala, 2006):

$$f_{m,cd} = \frac{64}{Re_m} \quad (3)$$

El factor de fricción promedio (algunas veces llamado factor de fricción aparente) que incluye la región de entrada hidrodinámica (región desarrollándose hidrodinámicamente) para un tubo circular está dado por (Shah y London, 1978):

$$f_{m,ap} = \frac{4}{Re_m} \left[\frac{3.44}{\sqrt{L^+}} + \frac{\frac{1.25}{4L^+} + \frac{64}{4} - \frac{3.44}{\sqrt{L^+}}}{1 + \frac{0.00021}{(L^+)^2}} \right] \quad (4)$$

donde L^+ es la longitud adimensional apropiada para un flujo interno desarrollándose hidrodinámicamente, definida como:

$$L^+ = \frac{L/D}{Re_m} \quad (5)$$

En la Figura 1 se muestra la variación del factor de fricción aparente en función de la relación L/D , para dos números de Reynolds y se compara con el factor de fricción para flujo completamente desarrollado, para los mismos números de Reynolds.

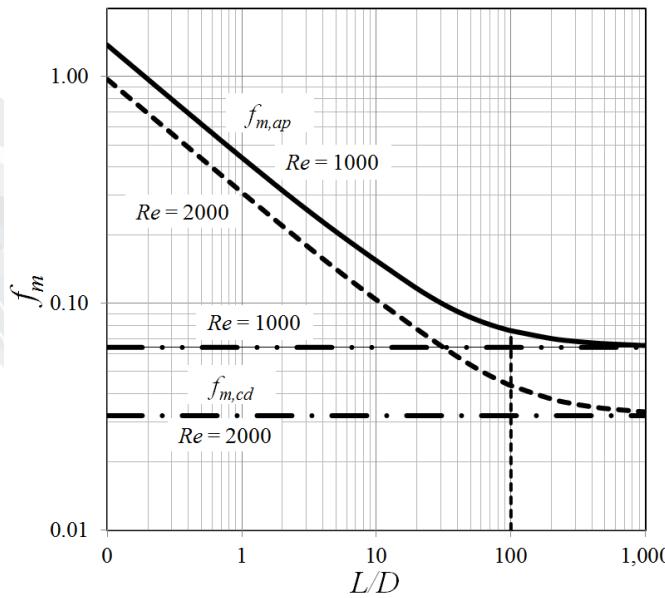


Figura 1. Variación del factor de fricción aparente, $f_{m,ap}$, en función de la relación L/D , para dos números de Reynolds, $Re = 1000$ y $Re = 2000$.

Como se observa en la Figura 1, en la región de entrada el factor de fricción completamente desarrollado, Ec.(3), subestima el valor aparente del factor de fricción y, dependiendo de la relación L/D y del número de Reynolds, el error puede ser considerable. Por ejemplo, para una relación $L/D = 100$, la diferencia entre el factor de fricción aparente y el de flujo completamente desarrollado es de aproximadamente 0,011, para ambos números de Reynolds; sin embargo, el error de usar el factor

de fricción para flujo completamente desarrollado es de 16% y 26%, aproximadamente, para números de Reynolds de 1000 y 2000, respectivamente, con respecto al uso del factor de fricción aparente.

Para el cálculo del factor de fricción de la mezcla, para el flujo turbulento completamente desarrollado, se utilizan 4 correlaciones:

Ecuación F1: (Blasius, 1913),

$$f_m = \frac{0.3164}{Re_m^{1/4}} \quad (6)$$

Ecuación F2: (Petukhov, 1970),

$$f_m = \frac{1}{[0.790 \ln(Re_m) - 1.64]^2} \quad (7)$$

Ecuación F3: (Zingrang y Sylvester, 1982),

$$f_m = \left\{ -2.0 \log_{10} \left[\frac{2e}{7.54D} - \frac{5.02}{Re_m} \log_{10} \left(\frac{2e}{7.54D} + \frac{13}{Re_m} \right) \right] \right\}^{-2} \quad (8)$$

Ecuación F4: (Fang, Xu y Zhou, 2011),

$$f_m = 0.25 \left[\log \left(\frac{150.39}{Re_m^{0.98865}} - \frac{152.66}{Re_m} \right) \right]^{-2} \quad (9)$$

Y para el rango completo de números de Reynolds, se utilizan dos ecuaciones:

Ecuación F5: (Churchill, 1977),

$$f_m = 8 \left[\left(\frac{8}{Re_m} \right)^{12} + \frac{1}{(B_m + C_m)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

donde,

$$B_m = \left[2.457 \ln \frac{1}{(7/Re_m)^{0.9} + (0.27e/D)} \right]^{16} \quad (11)$$

$$C_m = \left(\frac{37530}{Re_m} \right)^{16} \quad (12)$$

Ecuación F6: (F. García, R. García, Padrino, Mata, Trallero y Joseph, 2003),

$$f_m = 4 \left[0.0925 Re_m^{-0.2534} + \frac{13.98 Re_m^{-0.9501} - 0.0925 Re_m^{-0.2534}}{\left(1 + \left(\frac{Re_m}{293} \right)^{4.864} \right)^{0.1972}} \right] \quad (13)$$

En las ecuaciones anteriores, el número de Reynolds de la mezcla se define como:

$$Re_m = \frac{\rho_m D u_m}{\mu_m} \quad (14)$$

donde ρ_m , μ_m y u_m son la densidad, la viscosidad y la velocidad de la mezcla, respectivamente, y D es el diámetro de la tubería. La velocidad de la mezcla se determina mediante la siguiente ecuación:

$$u_m = u_{sl} + u_{sg} \quad (15)$$

donde u_{sl} y u_{sg} representan las velocidades superficiales del líquido y del gas, respectivamente, y están definidas como:

$$u_{sl} = \frac{Q_l}{A} \quad (16)$$

$$u_{sg} = \frac{Q_g}{A} \quad (17)$$

siendo Q_l y Q_g los flujos volumétricos de las fases líquida y gaseosa, respectivamente, y A el área de la sección transversal del tubo.

Para el cálculo de la densidad de la mezcla se usan 4 modelos:

Modelo D1: (Dukler, Wicks III y Cleveland, 1964),

$$\rho_m = \rho_l \frac{\lambda_l^2}{H_l} + \rho_g \frac{(1-\lambda_l)^2}{(1-H_l)} \quad (18)$$

Modelo D2: (Oliemans, 1976),

$$\rho_m = \frac{\rho_l \lambda_l + \rho_g (1 - H_l)}{1 - H_l + \lambda_l} \quad (19)$$

Modelo D3: (Beattie y Whalley, 1982),

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l} \quad (20)$$

Modelo D4: (Ouyang, 1998),

$$\rho_m = \rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l) \quad (21)$$

Y para el cálculo de la viscosidad de la mezcla se utilizan 24 modelos:

Modelo V01: (Arrhenius, 1887),

$$\mu_m = \mu_l^{\lambda_l} \mu_g^{(1-\lambda_l)} \quad (22)$$

Modelo V02: (Bingham, 1906),

$$\mu_m = \left[\frac{\lambda_l}{\mu_l} + \frac{(1-\lambda_l)}{\mu_g} \right]^{-1} \quad (23)$$

Modelo V03: (Einstein, 1909),

$$\mu_m = \mu_l (1 + 2.5 \lambda_l) \quad (24)$$

Modelo V04: (Hatschek, 1928),

$$\mu_m = \frac{\mu_l}{1 - \lambda_l^{1/3}} \quad (25)$$

Modelo V05: (Taylor, 1932),

$$\mu_m = \mu_l \left[1 + 2.5 \left(\frac{\mu_g + 0.4 \mu_l}{\mu_g + \mu_l} \right) \lambda_l \right] \quad (26)$$

Modelo V06: (Richardson, 1933),

$$\mu_m = \mu_l \exp(2.5 \lambda_l) \quad (27)$$

Modelo V07: (McAdams, Woods y Heroman, 1942),

$$\frac{1}{\mu_m} = \frac{x}{\mu_g} + \frac{1-x}{\mu_l} \quad (28)$$

Modelo V08: (Brinkman, 1952),

$$\mu_m = \frac{\mu_l}{1 - \lambda_l}$$

Modelo V09: (Vermueulen, Williams, y Langlois, 1955),

$$\mu_m = \left[\frac{\mu_l}{1 - \lambda_l} \right] \left[1 + \frac{1.5 \mu_g \lambda_l}{\mu_l + \mu_g} \right] \quad (30)$$

Modelo V10: (Hoogendoorn, 1959),

$$\mu_m = \mu_l^{H_l} \mu_g^{(1-H_l)} \quad (31)$$

Modelo V11: (Cicchitti, Lombardi, Silvestri, Soldaini, Zavattareui, 1960),

$$\mu_m = \mu_g x + \mu_l (1 - x) \quad (32)$$

Modelo V12: (Bankoff, 1960),

$$\mu_m = H_l \mu_l + (1 - H_l) \mu_g \quad (33)$$

Modelo V13: (Dukler, Wicks III y Cleveland, 1964),

$$\mu_m = \mu_l \lambda_l + \mu_g (1 - \lambda_l) \quad (34)$$

Modelo V14: (Cengel, 1967),

$$\mu_m = \mu_l (1 + 2.5 \lambda_l - 11.01 \lambda_l^2 + 52.62 \lambda_l^3) \quad (35)$$

Modelo V15: (Soot, 1971)

$$\mu_m = \mu_l \left[\left(\frac{1}{1 + \lambda_l \left[\frac{\rho_g}{\rho_l} - 1 \right]} \right)^{\left(\frac{1}{0.08} - 1 \right)} \right] \quad (36)$$


Modelo V16: (Oliemans, 1976),

$$\mu_m = \frac{\mu_l \lambda_l + \mu_g (1 - H_l)}{1 - H_l + \lambda_l} \quad (37)$$

Modelo V17: (Oglesby, 1979),

$$\mu_m = \mu_l \exp \left[\left(\frac{\mu_g + 0.4 \mu_l}{\mu_g + \mu_l} \right) (\lambda_l + \lambda_l^{1.667} + \lambda_l^{3.66}) \right] \quad (38)$$

Modelo V18: (Beattie y Whalley, 1982),

$$\mu_m = \mu_l (1 - \beta) (1 + 2.5 \beta) + \mu_g \beta \quad (39)$$

donde,

$$\beta = \frac{\rho_l x}{\rho_l x + \rho_g (1 - x)}$$

“Conocimiento Sistemico (40)
para el desarrollo”

Modelo V19: (Lin, Kwok, Li, Chen y Chen, 1991),

$$\mu_m = \frac{\mu_l \mu_g}{\mu_g + x^{1.4} (\mu_l - \mu_g)} \quad (41)$$

Modelo V20: (Fourar y Bories, 1995),

$$\mu_m = \lambda_l \mu_l + (1 - \lambda_l) \mu_g + 2 [\lambda_l (1 - \lambda_l) \mu_l \mu_g]^{0.5} \quad (42)$$

Modelo V21: (Awad y Muzychka 1, 2008),

$$\mu_m = \mu_l \left[\frac{2 \mu_l + \mu_g - 2(\mu_l - \mu_g)x}{2 \mu_l + \mu_g + (\mu_l - \mu_g)x} \right] \quad (43)$$

Modelo V22: (Awad y Muzychka 2, 2008),

$$\mu_m = \mu_g \left[\frac{2\mu_g + \mu_l - 2(\mu_g - \mu_l)(1-x)}{2\mu_g + \mu_l + (\mu_g - \mu_l)(1-x)} \right] \quad (44)$$

Modelo V23: (Awad y Muzychka 3, 2008),

$$\mu_m = \frac{1}{4} \left[(3x - 1)\mu_g + (3(1 - x) - 1)\mu_l + \sqrt{\left((3x - 1)\mu_g + [3(1 - x) - 1]\mu_l \right)^2 + 8\mu_l\mu_g} \right] \quad (45)$$

Modelo V24: (Awad y Muzychka 4, 2008),

$$\mu_m = \frac{1}{2} \left\{ \mu_l \left[\frac{2\mu_l + \mu_g - 2(\mu_l - \mu_g)x}{2\mu_l + \mu_g + (\mu_l - \mu_g)x} \right] + \mu_g \left[\frac{2\mu_g + \mu_l - 2(\mu_g - \mu_l)(1-x)}{2\mu_g + \mu_l + (\mu_g - \mu_l)(1-x)} \right] \right\} \quad (46)$$

En estas ecuaciones μ_l , μ_g , ρ_l y ρ_g , representan las viscosidades y densidades del líquido y del gas, respectivamente. H_l y λ_l representan las fracciones volumétricas de líquido con deslizamiento ($u_l \neq u_g$) y sin deslizamiento ($u_l = u_g$), respectivamente, y están definidas como:

$$H_l = \frac{A_l}{A}; \quad (u_l \neq u_g) \quad (47)$$

$$\lambda_l = \frac{A_l}{A} = \frac{\left(\frac{Q_l}{u_l} \right)}{\left(\frac{Q_l + Q_g}{u_l + u_g} \right)} = \frac{Q_l}{Q_l + Q_g}; \quad (u_l = u_g) \quad \left(\lambda_l = \frac{u_{sl}}{u_{sl} + u_{sg}} \right) \quad (48)$$

donde u_l y u_g son las velocidades del líquido y del gas, respectivamente, y A_l es el área de la sección transversal del tubo ocupada por el líquido.

INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

“Conocimiento Sistemico para el desarrollo”

Para analizar la caída de presión del flujo en dos fases a través de un ducto vertical de forma experimental, se construyó la instalación mostrada en la Figura 2 con las siguientes características.

- Zona de prueba (tubo de vidrio de 9 mm de diámetro interno y 87 cm de longitud).
- Medidor de caída de presión, ΔP (tubo de acrílico graduado de 5,7 cm de diámetro interno y 99 cm de longitud).
- Tanque A (tanque de alimentación con una capacidad 60 L con nivel de agua constante de 42 cm).
- Tanque B (tanque de recirculación del sistema con una capacidad de 60 L).

- Tanque C (depósito de descarga de la zona de prueba con una capacidad de 12,5 L).
- Tanque D (depósito graduado para medir flujo de agua con una capacidad de 3 L).
- Rotámetro para aire con rango de operación de 0-14 L/min (a).
- Válvula *check* (b).
- Tubo de acero para alimentación de aire de 3,1 mm de diámetro interno y 17 cm de longitud.
- Tubería de distribución de CPVC $\frac{1}{2}$ ".
- Bomba sumergible para el sistema de recirculación (c).
- Manómetro digital con rango de operación de 0-7 bar (0-100 psi) (d).
- Mezclador (depósito cilíndrico de 15,2 cm de diámetro y 16,8 cm de longitud).

La instalación experimental consta de tres subsistemas. El primero es el del agua, el cual consiste en hacer circular agua desde el Tanque A al mezclador para producir el flujo en dos fases en la zona de pruebas. Una vez que el flujo abandona la zona de prueba, el aire escapa y en el Tanque C se separa el agua y pasa al Tanque D (medidor de flujo), el cual está conectado con el tanque de recirculación (Tanque B), este último cuenta con dos líneas de flujo hacia el Tanque A, una de alimentación y otra de drene con la finalidad mantener el nivel del Tanque A constante.

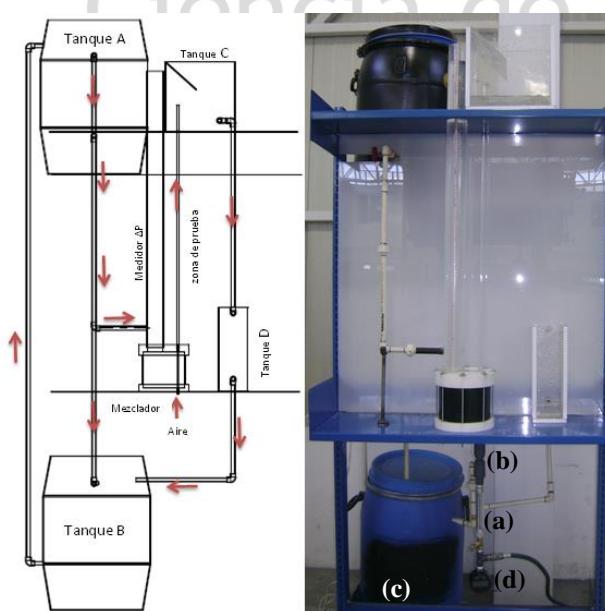


Figura 2. Instalación experimental de flujo en dos fases.

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

El segundo y el tercer subsistemas son el del aire y el del flujo en dos fases, respectivamente, los cuales son simples ya que el aire sólo se presenta en la alimentación del mezclador y ambos en la zona de prueba.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la evaluación de los modelos se utilizaron 246 datos experimentales de una mezcla adiabática de agua y aire bajo condiciones controladas de operación. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los rangos de operación utilizados en los experimentos.

Tabla 1. Resumen de los resultados experimentales.

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estandar	Mediana
u_{sl} [m/s]	0,155	0,741	0,478	0,155	0,474
u_{sg} [m/s]	0,105	3,668	1,357	1,017	1,048
ΔP [Pa]	3600	9079	6916	1506	6848

EVALUACIÓN DE MODELOS

Los 96 modelos resultantes de la combinación de los 4 modelos de densidad y los 24 de viscosidad, se evalúan contra los resultados experimentales obtenidos. En las Tablas 2 y 3 se presenta el error porcentual absoluto promedio de los mejores 15 modelos evaluados, esta desviación se define como:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |r_i|$$

donde

$$r_i = \left(\frac{\Delta P_{calc} - \Delta P_{exp}}{\Delta P_{exp}} \right) \cdot 100 \quad (50)$$

y n es el número de datos experimentales.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos cuando no se considera una región de transición entre el flujo laminar y el turbulento; esto es, el flujo es laminar hasta un valor de $Re = 2300$ y

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

(49)

turbulento para valores de Reynolds mayores. Por otro lado, en la Tabla 3 se presentan los resultados cuando se considera una región de transición; esto es, el flujo es laminar hasta $Re \leq 2000$ y existe una zona de transición de $2000 < Re < 3000$.

Tabla 2. Error porcentual absoluto promedio sin transición. Flujo laminar $Re = 2300$, flujo turbulento $Re > 2300$.

Modelo	Factores de fricción									
	F1		F2		F3		F4		F5	F6
	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$		
V06-D4	24,5	24,1	24,0	23,6	24,5	24,1	24,5	24,1	24,7	22,7
V03-D4	25,0	24,9	24,5	24,5	25,0	25,0	25,0	24,9	25,0	23,6
V09-D4	25,4	25,3	25,1	25,0	25,5	25,4	25,5	25,4	25,4	24,0
V08-D4	25,4	25,3	25,1	25,0	25,5	25,4	25,5	25,4	25,4	24,0
V14-D4	25,8	25,4	25,5	25,0	25,8	25,4	25,8	25,4	25,9	24,1
V05-D4	25,8	25,8	25,6	25,6	25,9	25,9	25,9	25,9	25,8	24,6
V17-D4	26,0	26,0	25,8	25,8	26,2	26,1	26,2	26,1	26,1	24,7
V15-D4	26,6	26,6	26,6	26,6	26,8	26,8	26,8	26,8	26,7	25,4
V11-D4	26,7	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,4
V21-D4	26,7	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,5
V23-D4	26,7	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,5
V24-D4	27,0	27,0	27,0	27,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,1	25,7
V19-D4	27,0	27,0	27,0	27,0	27,3	27,3	27,3	27,3	27,2	25,8
V22-D4	27,3	27,3	27,3	27,3	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	26,1
V18-D4	27,6	27,6	27,6	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	26,4

Ciencia de Sistemas

“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”

Tabla 3. Error porcentual absoluto promedio con transición. Flujo laminar $Re \leq 2000$, transición $2000 < Re < 3000$, flujo turbulento $Re \geq 3000$.

Modelo	Factores de fricción									
	F1		F2		F3		F4		F5	F6
	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$	$f_{m,cd}$	$f_{m,ap}$		
V06-D4	25,5	24,9	24,3	23,7	24,7	24,2	24,7	24,1	24,7	22,7
V03-D4	25,4	25,2	24,6	24,5	25,1	25,0	25,1	24,9	25,0	23,6
V09-D4	25,6	25,5	25,1	25,0	25,5	25,4	25,5	25,4	25,4	24,0
V08-D4	25,7	25,5	25,2	25,0	25,6	25,4	25,5	25,4	25,4	24,0
V14-D4	26,7	26,1	25,6	25,1	26,0	25,4	26,0	25,4	25,9	24,1
V05-D4	25,8	25,8	25,6	25,6	25,9	26,0	25,9	25,9	25,8	24,6
V17-D4	26,1	26,1	25,8	25,8	26,2	26,1	26,2	26,1	26,1	24,7
V15-D4	26,6	26,6	26,5	26,6	26,8	26,8	26,8	26,8	26,7	25,4
V11-D4	26,6	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,4
V21-D4	26,7	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,5
V23-D4	26,7	26,7	26,6	26,6	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	25,5
V24-D4	26,9	27,0	26,9	27,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,1	25,7
V19-D4	27,0	27,0	27,0	27,0	27,3	27,3	27,2	27,3	27,2	25,8
V22-D4	27,3	27,3	27,3	27,3	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	26,1
V18-D4	27,6	27,6	27,6	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	26,4

Como se observa en las Tablas 2 y 3, entre los 15 modelos que presentan mejor desempeño no hay mucha diferencia en el error porcentual absoluto promedio, el cual varía entre 22,7 y 27,8%. Además,

tampoco existe diferencia significativa entre las dos estrategias analizadas; esto es, los resultados presentados en la Tabla 2 (sin transición) son prácticamente iguales a los de la Tabla 3 (con transición).

A continuación se describe el desempeño de los modelos en función de cada una de las variables utilizadas.

Factor de fricción

El uso del factor de fricción aparente, Ec.(4), mejora los resultados obtenidos con la ecuación del factor de fricción para flujo completamente desarrollado, Ec.(3), para la región de flujo laminar, solo en medio punto porcentual, aproximadamente. Por otro lado, no existe una diferencia apreciable entre los resultados obtenidos con las diferentes ecuaciones del factor de fricción para flujo turbulento, a excepción de la ecuación de F. García et al. (F6), la cual predice los valores más bajos de este error.

Esto coincide con el comportamiento del factor de fricción con el número de Reynolds, como se observa en la Figura 3. Los factores de fricción F1 a F5 coinciden básicamente en el rango de valores de Reynolds estudiados, con excepción de la ecuación de Blasius (F1), la cual predice valores menores del factor de fricción para números de Reynolds mayores de 60 000, aproximadamente. Por otro lado, la ecuación de F. García et al. (F6) predice valores mayores del factor de fricción, excepto para números de Reynolds mayores de 400 000, aproximadamente, donde el valor determinado por esta ecuación es menor que el calculado por las ecuaciones F2, F3, F4 y F5, pero sigue siendo mayor que el calculado con la F1.

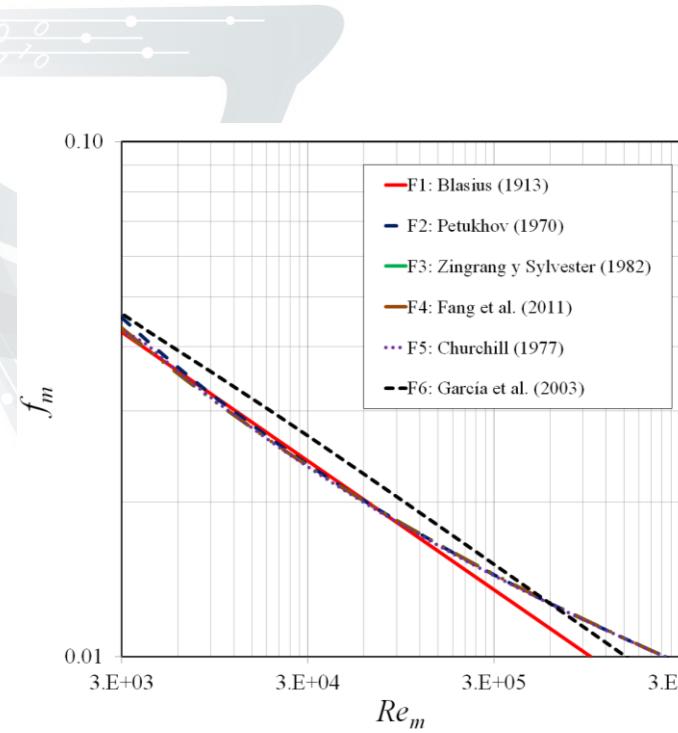


Figura 3. Factores de fricción utilizados para la región de flujo turbulento.

Densidad de la mezcla

El único modelo de densidad de la mezcla que aparece en los mejores 15 modelos presentados es el D4, (Ouyang, 1998). En la Figura 4 se muestra el comportamiento del modelo de Ouyang para la densidad de la mezcla en función de la velocidad superficial del gas u_{sg} para diferentes valores de la velocidad superficial del líquido u_{sl} . En esta figura se muestra con líneas punteadas verticales el rango de la velocidad superficial del gas usado en los experimentos.

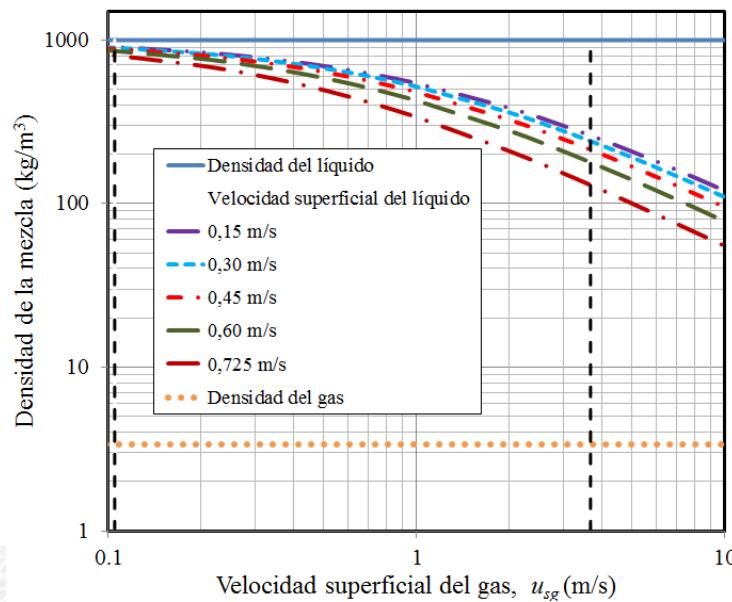


Figura 4. Comportamiento de la ecuación de densidad de Ouyang (1998) (D4).

Viscosidad de la mezcla

Aunque el modelo de viscosidad que mejores resultados presenta es el V06 de Richardson (1933), en realidad no existe mucha diferencia con los otros 14 modelos, siendo ésta de sólo 4 puntos porcentuales máximo, aproximadamente.

Una característica particular de los primeros 4 mejores modelos de viscosidad es que éstos predicen valores de viscosidad de la mezcla mayores que el de la viscosidad del líquido; no obstante, combinados con el modelo de densidad D4, estos modelos hacen que al menos más del 60% de los datos experimentales caigan dentro del régimen turbulento, lo cual concuerda con lo observado experimentalmente. En la Figura 5 se muestra el comportamiento del modelo de Richardson para la viscosidad de la mezcla en función de la velocidad superficial del gas u_{sg} para diferentes valores de la velocidad superficial del líquido u_{sl} . Las líneas punteadas verticales señalan el rango de la velocidad superficial del gas usado en los experimentos.

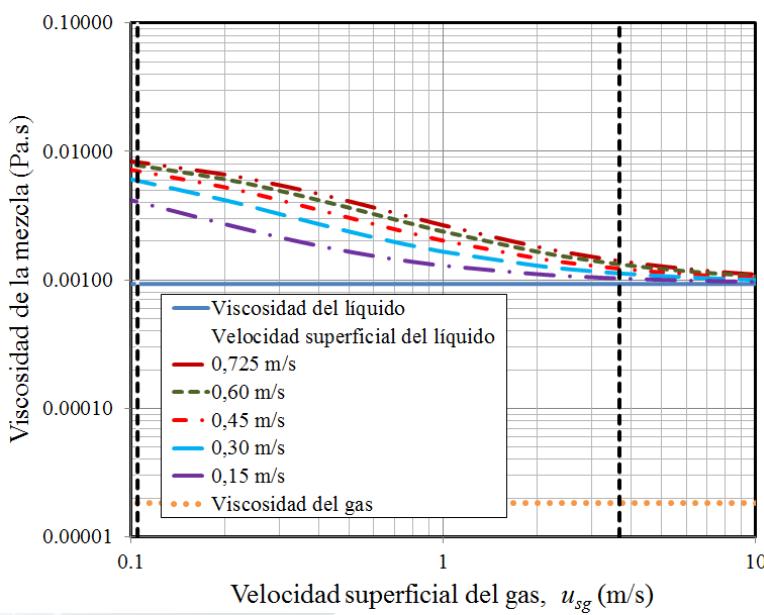


Figura 5. Comportamiento de la ecuación de viscosidad de Richardson (1933) (V06).

CONCLUSIONES

En este trabajo se utiliza el modelo de flujo homogéneo para calcular la caída de presión en un flujo en dos fases (líquido-gas) vertical en una tubería de diámetro pequeño (9 mm) y se comparan con los resultados obtenidos experimentalmente.

De los 96 modelos homogéneos utilizados, resultantes de la combinación de 4 ecuaciones de densidad y 24 de viscosidad, se presentan los 15 con un error porcentual absoluto promedio más bajo. Entre estos modelos la diferencia máxima encontrada en dicho error es de 5%, aproximadamente.

Entre las dos estrategias usadas para el cálculo de la caída de presión por fricción, no existe una diferencia significativa; esto es, los resultados considerando que no hay una región de transición entre el régimen laminar y el turbulento, son similares a los que se obtienen cuando se considera una zona de transición entre estos dos regímenes de flujo.

Los resultados muestran que el desempeño de los mejores modelos es prácticamente independiente del factor de fricción turbulento utilizado, siendo solo ligeramente menor el error obtenido cuando se utiliza la ecuación de F. García et al. (2003) (F6), que fue desarrollada con base en un estudio

*"Conocimiento Sistemico
para el desarrollo"*

estadístico de datos experimentales reportados en la literatura, para el rango completo de números de Reynolds, y que no tiene una interpretación científica de sus términos.

La densidad y la viscosidad homogénea que están íntimamente relacionadas con el cálculo del número de Reynolds de la mezcla, son elementos que afectan de mayor manera la adecuada predicción de los modelos que la selección del factor de fricción.

De los 4 modelos de densidad utilizados, el que mejores resultados presenta es el D4 de Ouyang (1998), que aparece en los 15 mejores modelos analizados.

De los modelos de viscosidad no hay uno que sobresalga del resto, siendo el modelo V06 de Richardson (1933) el que mejor desempeño presenta, aunque en realidad no existe mucha diferencia con los otros 14 presentados, siendo ésta de máximo 4 puntos porcentuales, aproximadamente.

De los resultados presentados en este trabajo se puede observar que la predicción de la caída de presión en un flujo en dos fases sigue siendo una tarea muy complicada, ya que dependiendo de los resultados experimentales usados, el comportamiento de los modelos puede ser muy diferente, sin ninguna explicación aparente (hasta ahora) para este hecho. Sin embargo, se puede concluir que el uso del modelo de densidad D4 de Ouyang (1998), combinado con el modelo de viscosidad V06 de Richardson (1933) presenta el mejor desempeño, con un error porcentual absoluto promedio de 22,7%, cuando se usa la ecuación de F. García et al. (2003) (F6), para predecir la caída de presión en un flujo en dos fases vertical ascendente en tuberías de diámetro pequeño, que es el caso de los resultados experimentales usados en este trabajo.

REFERENCIAS

- Arrhenius, S. (1887). On the internal friction of solution in water. Zeitschrift fur Physikalische Chemie (Leipzig), 1, 285-298.
- Awad, M.M., and Muzychka, Y.S. (2008). Effective property models for homogeneous two-phase flows. Experimental Thermal and Fluid Science, 33, 106-113.

- Bankoff, S.G. (1960). A variable-density, single-fluid model for two-phase flow with particular reference to steam-water flow. *Trans. ASME*, 8.
- Beattie, D., and Whalley, P.D. (1982). A Simple Two-Phase Frictional Pressure Drop Calculation Method. *Int. J. Multiphase Flow*, 8 (1), 83-87.
- Bingham, E.C. (1906). Viscosity and fluidity. *American Chemical Journal*, (35) 3, 195-217.
- Blasius, H. (1913). Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten, *Forch. Geibiete Ingenieurw*, 131, 1-41.
- Brinkman, H.C. (1952). The viscosity of concentrated suspensions and solutions, *Journal of Chemical Physics*, (20) 4, 571.
- Cengel, Y.A., and Cimbala, J.M., (2006). Fluid Mechanics. Fundamentals and Applications: McGraw-Hill.
- Cengel, Y.A. (1967). Viscosity of Liquid-Liquid Dispersions in Laminar and Turbulent Flow. PhD Thesis, Oregon State University, Abst. No. 67-11805.
- Churchill, S.W. (1977). Friction factor equation spans all fluid flow regimes, *Chem. Eng.* 84 (24), 91-92.
- Cicchitti, A. (1960). Lombardi, C., Silvestri, M., Soldaini, G., Zavattareui, R., Two-Phase Cooling Experiments-Pressure Drop, Heat Transfer and Burnout Measurements, *Energy Nucl.* 7 (6), 407-425.
- Dukler, A.E., Wicks III, M., and Cleveland, R. (1964). Frictional Pressure Drop in Two-Phase Flow: B. An Approach through Similarity Analysis, *AICHE Journal*, 10, 44-51.
- Einstein, A. (1909). A new definition of molecular dimensions, *Annalen der Physik*, (4) 19, 289-306.
- Fang, X.D., Xu, Y., Zhou, Z.R. (2011). New correlations of single-phase friction factor for turbulent pipe flow and evaluation of existing single-phase friction factor correlations, *Nucl. Eng. Des.* 241, 897-902.

- Fourar, M., Bories, S. (1995). Experimental study of air-water two-phase flow through a fracture (narrow channel), Int. J. Multiphase Flow, 21 (4), 621-637.
- García, F., García, R., Padrino, J.C., Mata, C., Trallero, J.L. and Joseph, D.D. (2003). Power law and composite power law friction factor correlations for laminar and turbulent gas-liquid flow in horizontal pipelines. Int. J. Multiphase Flow, 29 1605-1624.
- Hatschek, E. (1928). The Viscosity of Liquids. London: Bell & Sons Ltd.
- Hoogendoorn, C. (1959). Gas-liquid flow in horizontal pipes. Chem. Eng. Sci. 9, 205-217.
- Lin, S., Kwok, C.C.K., Li, R.Y., Chen, Z.H., and Chen, Z.Y. (1991). Local Frictional Pressure Drop During Vaporization of R-12 Through Capillary Tubes. Int. J. Multiphase Flow, 17 (1), 95-102.
- McAdams, W., Woods, W., Heroman, L. (1942). Vaporization Inside Horizontal Tubes. Trans. ASME 64, 193.
- Oglesby, K. (1979). An Experimental Study on the Effects of Oil Viscosity Mixture Velocity and Water Fraction on Horizontal Oil-Water Flow. TEGM The University of Tulsa.
- Oliemans, R. (1976). Two Phase Flow in Gas-Transmissions Pipelines. ASME paper 76-Pet-25, presented at Pet.Div. ASME Meeting, Mexico.
- Ouyang, L. (1998). Single Phase and Multiphase Fluid Flow in Horizontal Wells. PhD Dissertation Thesis. Department of Petroleum Engineering. School of Earth Sciences. Satnford University. Stanford, CA.
- Petukhov, B.S. (1970). in Advanced in Heat Transfer, Vol.6, T.F. Irvine and J.P. Hartnett eds., Academic Press, New York.
- Richardson, E.G. (1933). On the viscosity of emulsions. Kolloid Zeitschrift, (65) 1, 32-37.
- Shah, R.K., London, A.L. (1978). Laminar Flow Forced Convection in Ducts: Academic Press, New York.
- Soot, P.M. (1971). A Study of Two-Phase Liquid-Liquid Flow in Pipes, PhD Thesis, Oregon State University, Abst. No. 71-2479.

Taylor, G.I. (1932). The viscosity of fluid containing small drops of another fluid, Proceeding of the Royal Society of London, (138A), 41-48.

Vermeulen, T. Williams, G.M., and Langlois, G.E. (1955). Interfacial area in liquid-liquid and gas-liquid agitation. Chem. Eng. Progress, (51) Feb. 2, 85F-94F.

Zigrang, D.J. and Sylvester, N.D. (1982). Explicit approximations to the solution of Colebrook's friction factor equation, AIChE Journal, Vol.28, pp.514-515.



Aproximación de funciones basada en algoritmos genéticos y funciones de base radial

G. Trejo-Caballero*, H. Rostro-Gonzalez*, O. Ibarra-Manzano*, J. G. Avina-Cervantes*, M. G. Garcia-Hernandez*, C. H. Garcia-Capulin **, L. M. Burgara-Lopez**

ABSTRACT

Function approximation from noisy data and non-linear behaviour is a typical engineering problem, which is commonly tackled by using either polynomial method or radial basis functions. However, an issue associated with these methods is the number of parameters to estimate, thus, the approximation becomes an optimisation problem. In this paper, we propose a method based on genetic algorithms and radial basis functions in order to tackle this problem. Our approach, considers a genetic algorithm to estimate a lineal combination of radial functions to approximate an input noisy data set from a chromosome codification, which allows to optimise as the centres and ratios of Gaussians as the curves fit coefficients. Numerical results on three standard functions are provided.

RESUMEN

La aproximación de funciones a partir de un conjunto de datos ruidosos que presentan un comportamiento no-lineal, es un problema recurrente en el campo de la ingeniería que se aborda a través del uso de métodos que utilizan segmentos de polinomios unidos en puntos específicos o los basados en funciones de base radial. La principal problemática asociada a estos métodos es el incremento en la cantidad de parámetros a estimar, por lo que la aproximación se convierte en un problema de optimización. En este artículo, se aborda el problema con un método basado en algoritmos genéticos y funciones de base radial. El método planteado utiliza el algoritmo genético para encontrar una combinación lineal de funciones radiales que se aproxima a un conjunto de datos ruidosos de entrada, ello gracias a la codificación del cromosoma que permite optimizar simultáneamente los valores de los centros y radios de las Gaussianas, además de los coeficientes asociados a cada una de las curvas. A fin de validar la eficacia del método propuesto, se incluyen los resultados obtenidos sobre tres funciones de referencia.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería es recurrente encontrar el problema asociado a la estimación de funciones a partir de un conjunto de datos ruidosos y donde el conocimiento sobre la relación que existe entre estos datos es poco o casi nulo. En este sentido, dependiendo del método de solución, a éste problema se hace referencia por alguno de los siguientes nombres: regresión paramétrica o no-paramétrica, regresión lineal o no-lineal, aproximación de funciones, identificación de sistemas, aprendizaje supervisado, entre otras.

Palabras clave:

Aproximación, Regresión, Algoritmos genéticos, Funciones de base radial

Keywords:

Approximation, Regression, Genetic algorithm, Radial basis function

Dentro de la aproximación de funciones existen varios métodos, todos ellos ampliamente estudiados, tal es el caso de los métodos de regresión por mínimos cuadrados y el de mínimos cuadrados ponderados. Tipicamente, estos métodos son aplicables sobre datos que presentan comportamientos lineales, sin embargo para el caso de relaciones no-lineales, los métodos más utilizados son aquellos que utilizan segmentos de polinomios unidos en puntos específicos para representar la relación entre los datos, entre los que encontramos las aproximaciones basadas en polinomios (spline), curvas Bezier, B-splines, NURBS o las basadas en funciones de base radial, abordados en [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

*Departamento de Electrónica, DICS - Universidad de Guanajuato. Salamanca, México. Email: trejocg@ugto.mx

**Departamento de Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Irapuato, Gto., México. Email: cagarcia@itesi.edu.mx

La principal problemática asociada a estos métodos es el incremento en la cantidad de parámetros a estimar, esto de acuerdo al tipo de funciones base que se desean utilizar. Debido a la cantidad de parámetros y la no-linealidad de algunos de ellos, la aproximación se convierte en un problema de optimización no-lineal multivariable y multimodal, ideal para aplicar técnicas de computación flexible como los algoritmos genéticos, tal y como lo realizado en [5, 8, 9].

Por otro lado, en el caso de las funciones de base radial (RBF por sus siglas en inglés), su principal aplicación es la interpolación [10], lo anterior debido a que el número de parámetros que este tipo de funciones requiere hace complicada su utilización en problemas de aproximación, especialmente por métodos tradicionales.

Aunado a lo anterior, las RBF se utilizan como elemento principal de procesamiento dentro de un tipo específico de Redes Neuronales Artificiales conocidas como Redes Neuronales de Base Radial, [11, 12, 13]. Al igual que las redes neuronales de tipo perceptrón multicapa, éstas sirven como aproximadores universales. La principal desventaja en las redes neuronales de base radial radica en la necesidad de reducir el número de parámetros a fin de permitir la aplicación de métodos de aprendizaje tradicionales [14].

ANTECEDENTES

Definición del problema

Podemos definir el problema de aproximar una función de la siguiente manera: dado un conjunto de n pares de mediciones (x_i, y_i) , para $i = \{1, \dots, n\}$, el cual puede ser expresado por el siguiente modelo:

$$y_i = f(x_i) + \epsilon_i \quad (1)$$

donde y_i es la i -ésima observación en el punto x_i , el término ϵ_i representa un error aleatorio, y f es la relación funcional desconocida que deseamos aproximar. Entonces el problema consiste en encontrar la mejor estimación para la función $f(x_i)$.

Como ya se mencionó, existen diversas técnicas que nos permiten encontrar dicha relación funcional. En el presente trabajo, abordaremos el problema de encontrar esa relación mediante la minimización de la sumatoria de los errores cuadráticos E , dada por:

$$E = \sum_{i=1}^n \{y_i - f(x_i)\}^2 \quad (2)$$

donde f puede ser expresada por una función en particular, un polinomio, o una combinación lineal de

funciones base, dependiendo de la técnica a utilizar. El trabajo aquí presentado está centrado en encontrar la función a partir de una combinación lineal de funciones base, específicamente utilizando una base de funciones radiales.

Funciones de base radial

Las RBF son una clase particular de funciones cuya característica principal es que su respuesta decrece (o crece) monótonamente en todas direcciones respecto de la distancia a un punto central. Si su respuesta es decreciente respecto de la distancia, entonces son consideradas como funciones con respuesta local, por el contrario si su respuesta se incrementa respecto de la distancia a su centro, son consideradas como funciones con respuesta global.

Las RBF están determinadas por la siguiente expresión:

$$\Phi_j(x) = \phi(|x - c_j|) \quad (3)$$

donde $|\cdot|$ denota la norma de distancia utilizada para medir la separación de cualquier punto x al centro c_j de la j -ésima función base y $\phi(\cdot)$ es un tipo específico de RBF. La norma de distancia típicamente empleada es la Euclidiana, y las funciones radiales típicamente utilizadas en la literatura se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo con la definición anterior, podemos construir cualquier función como una combinación lineal de m funciones de base radial con la siguiente expresión:

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \Phi_j(x) \quad (4)$$

donde λ_j son los coeficientes y las Φ_j forman la base de funciones.

“conocimiento sistemico para el desarrollo”

Para lograr la linealidad del modelo es necesario definir tres parámetros importantes: en primer lugar el tipo de RBF a utilizar, segundo los parámetros dependientes del tipo específico de RBF usada y finalmente el número m de funciones radiales y los centros de cada una de ellas. Todos los parámetros mencionados hacen que el uso de las RBF siempre esté supeditado a ciertas restricciones, lo anterior a fin de que pueda ser resuelto por métodos convencionales.

Table 1.

Tipos de funciones de base radial. (Para $r = |x - c_j|$)

Función	Nombre de la función
$\phi(r) = r$	Lineal
$\phi(r) = r^3$	Cúbica
$\phi(r) = r^2 \log(r)$	Placa delgada
$\phi(r) = \sqrt{1 + r^2}$	Multicuádrica
$\phi(r) = \exp^{-\frac{r^2}{\sigma^2}}$	Gaussiana

Algoritmos genéticos

La computación evolutiva, en particular los algoritmos genéticos, son usados para optimizar una función de adaptación imitando la evolución natural de los organismos. Los individuos en este caso son representaciones computacionales de soluciones potenciales para resolver un problema. Cada individuo es representado por un cromosoma computacional el cual puede estar codificado por una cadena binaria o por un arreglo de valores reales.

El total de individuos examinados en cada iteración es llamado población. Dicha población es evaluada con una función de adaptación que determina qué individuos representan mejores soluciones para nuestro problema, de esta manera los individuos con mejor adaptación son beneficiados en el proceso de evolución. La evolución de la población se lleva acabo mediante tres operadores:

Selección. El proceso de selección es generalmente un operador que trabaja sobre los individuos de la población. Este operador determina los individuos que se recombinarán basándose en el nivel de adaptación del individuo.

Cruza. El proceso de cruza es un operador que trabaja sobre pares de individuos, intercambiando material genético entre dos individuos seleccionados llamados padres para generar un nuevo individuo. La cruza se realiza tomando en cuenta un factor que determina la probabilidad que tienen dichos padres para cruzarse.

Mutación. El operador de mutación altera aleatoriamente algunos elementos del cromosoma. Este operador es de vital importancia debido a que evita una convergencia prematura del algoritmo. La probabilidad de que la mutación se efectúe, es función de un valor que determina la probabilidad que existe para que se realice.

APROXIMACIÓN DE FUNCIONES BASADA EN ALGORITMOS GENÉTICOS

Para resolver el problema de la aproximación de funciones en este trabajo se propone el uso de curvas basadas en funciones de tipo Gaussiano. Una curva formada por una combinación lineal de funciones de tipo Gaussiano queda totalmente determinada por la

siguiente expresión:

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \lambda_j e^{-\frac{(x-c_j)}{\sigma_j^2}} \quad (5)$$

donde c_j, σ_j son los centros y radios de las Gaussianas, λ_j son los coeficientes para la suma ponderada.

Así pues, para determinar específicamente una curva usando la expresión anterior, es necesario determinar todos los parámetros antes mencionados. Este problema no tiene solución a menos que se limiten los grados de libertad de la curva. Típicamente, se determinan los radios y los centros para poder resolver el problema, o se aplican métodos iterativos para tratar de resolver el problema optimizando también los centros.

En este trabajo se plantea utilizar un algoritmo genético para optimizar de forma simultánea todos los grados de libertad de la curva, para ello utilizamos un algoritmo genético para optimizar los centros y radios de las Gaussianas así como los coeficientes. La configuración del algoritmo genético utilizado se describe en las líneas siguientes.

Codificación del Cromosoma

Para representar un individuo o solución potencial para nuestro problema se utiliza un cromosoma con codificación real. Un cromosoma con codificación real es representado como un vector de valores de tipo real, donde cada uno de ellos representa una característica o parámetro del sistema. En particular para representar una curva basada en una suma de Gaussianas, nuestro cromosoma C es representado por la siguiente expresión:

$$C = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, c_1, c_2, \dots, c_m, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m\} \quad (6)$$

donde cada elemento del vector es un valor real, el cual representa una característica particular asociada a cada curva: coeficiente, centro o radio.

Método de selección

El método de selección utilizado es el de tipo ruleta. En éste método, a cada individuo se le asigna una porción de la ruleta proporcional a su nivel de adaptación de tal manera que los individuos mejor adaptados obtienen porciones más grandes de la ruleta y por lo tanto tienen mayor probabilidad de ser seleccionados para su reproducción. Por otra parte, el método siempre permite la posibilidad de que los individuos menos adaptados puedan reproducirse alguna vez.

Para prevenir la convergencia prematura del algoritmo, utilizamos el método de escalamiento sigma. Éste método trata de mantener una presión de selección relativamente constante sobre todo el proceso de evolución y es calculado de acuerdo a:

$$F_n = \begin{cases} F_a - (\bar{F} - c \cdot \sigma) & \text{if } (F_a > \bar{F} - c \cdot \sigma) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

donde F_n es el nuevo valor de adaptación escalado, F_a es el valor actual de adaptación, \bar{F} y σ son los valores de adaptación promedio y la desviación estándar de la población respectivamente. El valor c es una constante que permite controlar la presión de selección.

Aunado a lo anterior, el concepto de Elitismo es utilizado, lo cual significa que los mejores individuos de la población (la élite) son mantenidos generación tras generación para prevenir la pérdida de la mejor solución encontrada.

Operadores genéticos

Los operadores genéticos utilizados en el proceso de evolución de la población son la cruza y la mutación. Como operador de cruza utilizamos la cruza uniforme, la cual es aplicada sobre toda la población atendiendo a una probabilidad de cruza. En éste método, dos individuos seleccionados como padres son combinados para formar un nuevo individuo, tomando un valor real de uno de los dos padres dependiendo de una probabilidad fija (típicamente de 0.5).

Para llevar a cabo la mutación, cada valor numérico es modificado dependiendo de una probabilidad de muta dada por:

$$\gamma_i = \gamma_i + \delta(\text{rand} - 0.5) \quad (8)$$

donde γ representa un valor real del cromosoma, δ es una constante que determina el máximo incremento o decremento del valor real y rand es una función que genera un valor aleatorio entre 0 y 1.

Función de adaptación

La función de adaptación utilizada para optimizar los parámetros necesarios para resolver el problema de la aproximación de funciones, es la siguiente:

$$F(C) = \sum_{i=1}^n \left\{ y_i - \sum_{j=1}^m \lambda_j e^{-\frac{(x_i - c_j)^2}{\sigma_j^2}} \right\}^2 \quad (9)$$

Esta función evalúa el cromosoma C de cada individuo, el cual contiene todos los parámetros necesarios para especificar una curva usando RBF de tipo

Gaussiano. Entonces cada curva es comparada contra las observaciones y_i en función de los puntos de muestreo x_i , por lo que el algoritmo genético se utiliza en este caso para optimizar dicha expresión en el sentido de mínimos cuadrados, para ello es necesario determinar el número m de Gaussianas a utilizar en la aproximación.

Table 2 .

Configuración del algoritmo genético

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	300
Probabilidad de crusa	0.8
Probabilidad de muta	0.05
Individuos élite	1
Número de generaciones	3000
Operador de selección	Sigma
Operador de crusa	Uniforme
Operador de muta	Delta aleatoria

RESULTADOS

Para probar el desempeño de nuestro algoritmo se evaluaron tres funciones de prueba típicas presentes en la literatura, mismas que poseen características específicas que las hacen útiles para probar este tipo de algoritmos. Para cada una de ellas, se simularon un conjunto de datos ruidosos consistente de 100 muestras uniformemente distribuidas dentro del intervalo $[0, 1]$ a las que se les añadió ruido aleatorio con media cero y desviación estándar σ de tal forma que la razón de la señal al ruido (SNR por sus siglas en inglés) fuera 3, tal y como se aprecia en las figuras 1, 3 y 5.

En nuestro caso, SNR está definido como $SNR = SD(f)/\sigma$. En el caso de la función de prueba 1, el intervalo de muestreo esta entre $[0, 10]$ y posteriormente se escala al intervalo $[0, 1]$.

A cada conjunto de datos simulados se le aplicó el algoritmo propuesto con la configuración de la Tabla 2. Todos los parámetros usados por el algoritmo genético fueron sintonizados experimentalmente. Como resultado de la aplicación del algoritmo se obtiene una función estimada \hat{f} . Para cada una de estas estimaciones se calcula el error cuadrático promedio (MSE) definido como:

$$MSE(\hat{f}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{\hat{f}(x_i) - f(x_i)\}^2 \quad (10)$$

donde \hat{f} es la función estimada por el algoritmo y f es la función real de prueba. Los resultados de los valores del MSE para cada función de prueba se resumen en la Tabla 3.

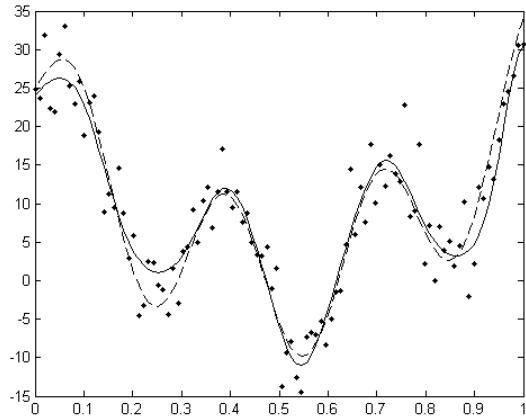


Figure 1 . Aproximación de la función de prueba 1 con 100 datos ruidosos y SNR=3 (línea continua: función original, línea discontinua: función estimada).

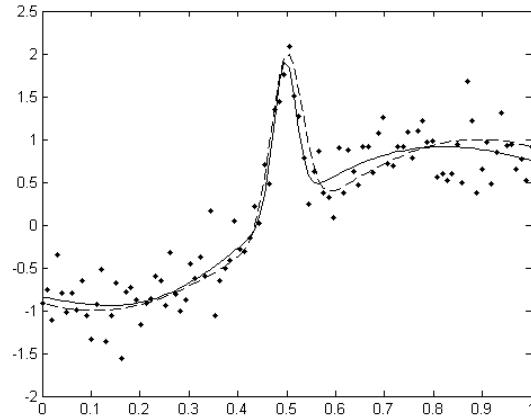


Figure 3 . Aproximación de la función de prueba 2 con 100 datos ruidosos y SNR=3 (línea continua: función original, línea discontinua: función estimada).

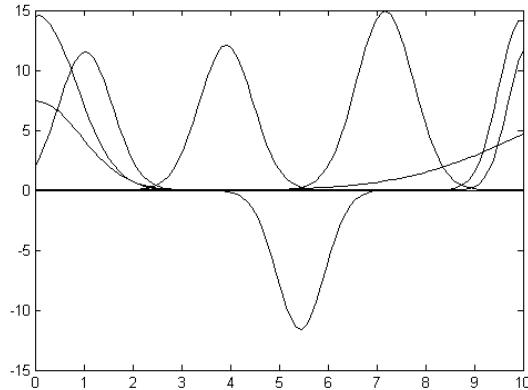


Figure 2 . Conjunto de funciones Gaussianas que conforman la función estimada para la función de prueba 1 mostrada en la figura 1.

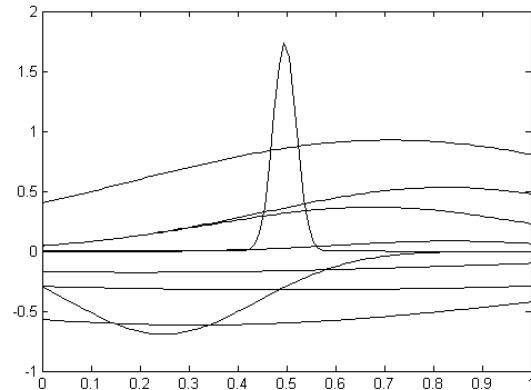


Figure 4 . Conjunto de funciones Gaussianas que conforman la función estimada para la función de prueba 2 mostrada en la figura 3.

Table 3 .

Resultados del MSE obtenido para cada función de prueba

Función de Prueba	MSE
1. $f(x) = 10 \sin(2 * x) + (x - 5)^2$	0.480537
2. $f(x) = \sin(x) + 2 \exp(-30x^2)$	0.015993
3. $f(x) = \sin(2(4x - 2)) + 2 \exp(-16(4x - 2)^2)$	0.011332

Las figuras 1, 3 y 5 son ejemplo de los resultados obtenidos por el algoritmo propuesto, en ellas se muestran los puntos que conforman el conjunto de datos ruidosos de entrada, la función original y la función aproximada obtenida. Similarmente, en las figuras 2, 4 y 6 se muestran el conjunto de funciones Gaussianas obtenidas para aproximar cada una de las funciones de prueba respectivas.

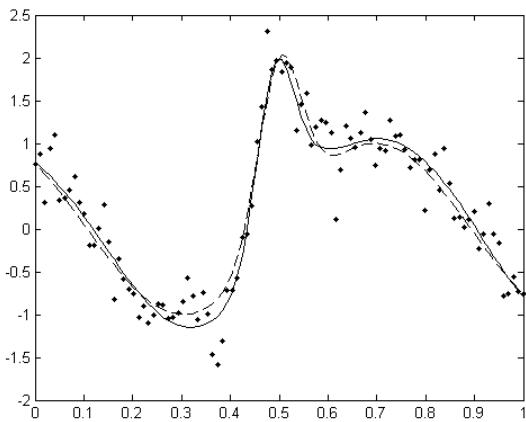


Figure 5 . Aproximación de la función de prueba 3 con 100 datos ruidosos y SNR=3 (línea continua: función original, línea discontinua: función estimada).

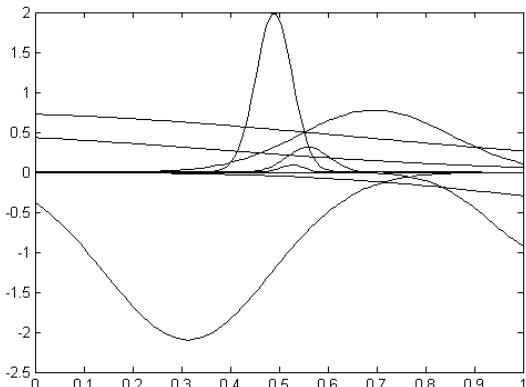


Figure 6 . Conjunto de funciones Gaussianas que conforman la función estimada para la función de prueba 3 mostrada en la figura 5.

CONCLUSIONES

En este artículo, se presenta el empleo de un algoritmo genético y el uso de funciones de base radial para abordar el problema de la aproximación de funciones. El método planteado encuentra mediante un algoritmo genético, una combinación lineal de funciones radiales que se aproxima a un conjunto de datos ruidosos. La codificación propuesta para el cromosoma del algoritmo genético permite optimizar simultáneamente todos los grados de libertad de las curvas que conforman la base: esto es los valores de los centros y radios de las Gaussianas, además de los coeficientes asociados a cada una de las curvas dentro de la combinación lineal.

El método se ha probado sobre tres funciones de referencia y los resultados obtenidos han sido incluídos. Análisis cualitativos preliminares sugieren un buen desempeño del algoritmo presentado, por lo que

a futuro se debe realizar un análisis cuantitativo del desempeño del algoritmo a fin de compararlo con algoritmos estándar ampliamente utilizados en el problema de aproximación de funciones.

REFERENCIAS

- [1] Broomhead, D. S., Lowe, D., 1998. Multivariable functional interpolation and adaptive networks. *Complex Systems* 2(3):321–355.
- [2] Hastie, T. J., Tibshirani, R. J., 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall CRC.
- [3] Vucina, D., Lozina, Z., Pehnec, I., 2012. Computational procedure for optimum shape design based on chained bezier surfaces parameterization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 25(3):648 -- 667.
- [4] Lee, T. C. M., 2002. On algorithms for ordinary least squares regression spline fitting: a comparative study. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 72(8):647–663.
- [5] Yoshimoto, F., Harada, T., Yoshimoto, Y., 2003. Data fitting with a spline using a real-coded genetic algorithm. *Computer-Aided Design* 35(8):751–760.
- [6] Samareh-abolhassani, J., 1994. Triangulation of nurbs surfaces. In in *Numerical Grid Generation in Computational Fluid Dynamics and Related Fields*, pages 377–388. The Cromwell Press Ltd.
- [7] Gutmann, H.-M., 2001. A radial basis function method for global optimization. *Journal of Global Optimization* 19(3):201–227.
- [8] Pittman, J., 2002. Adaptive splines and genetic algorithms. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 11(3):615–638.
- [9] Pingping, L., Xuyang, Z., Bo, Y., 2010. Automatic knot adjustment by an improved genetic algorithm. In *International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC)*, volume 3, pages 763–768.
- [10] Jakobsson, S., Andersson, B., Edelvik, F., 2009. Rational radial basis function interpolation with applications to antenna design. *J. Comput. Appl. Math.* 233(4):889–904.
- [11] Park, H. S., Pedrycz, W., Chung, Y. D., Oh, S. K., 2012. Modeling of the charging characteristic of linear-type superconducting power supply using granular-based radial basis function neural networks. *Expert Syst. Appl.* 39(1):1021–1039.
- [12] Valdes, J., Biscay, R., Jimenez, J., 1999. Geometric selection of centers for radial basis function approximations involved in intensive computer simulations. *Mathematics and Computers in Simulation* 48(3):295 -- 306.
- [13] Carr, J. C., Fright, W. R., Beatson, R. K., 1997. Surface interpolation with radial basis functions for medical imaging. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 16:96–107.
- [14] Whitehead, B. A., Choate, T. D., 1995. Cooperative - competitive genetic evolution of radial basis function centers and widths for time series prediction. *IEEE Transactions on Neural Networks* 7:869–880.
- [15] Buhmann, M. D., 2003. *Radial Basis Functions: Theory and Implementations*. Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics. Cambridge University Press.

Gestión Segura de Redes SCADA

Dr. José Manuel Ballester Fernández

Resumen

En el momento que se introduce en el mercado nuevas tecnologías basadas en entornos distribuidos comienzan a surgir en paralelo nuevos problemas de seguridad en los sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), los cuales monitorizan y gestionan otras infraestructuras de gran complejidad y escala. Un fallo o una interrupción en uno de sus componentes podría suponer un impacto negativo sobre la funcionalidad de otras infraestructuras, por lo que se hace necesario realizar frecuentes análisis de seguridad para así mantener actualizado el conocimiento y proveer recomendaciones y/o soluciones para mitigar o evitar futuras ocurrencias, garantizando una gestión de red fiable y siempre disponible.

1.- Introducción

Un sistema SCADA es un sistema complejo cuyo objetivo principal es el de llevar a cabo los procesos de supervisión y gestión de otros sistemas complejos, cuyos recursos son considerados críticos (por ejemplo, el agua, gas, gasóleo o la electricidad). Estos sistemas de control han ido evolucionando con el paso de la historia, estando actualmente basados en entornos distribuidos y con componentes (hardware y software) muy variados, siendo la mayoría de ellos componentes COTS (*Commercial-Off-The-Shelf*) para reducir costes de implementación y mantenimiento.

Esta mezcla e interacción de componentes, junto con la apertura de sus conexiones hacia redes externas como Internet, podría conllevar multitud de problemas de vulnerabilidad en estos sistemas críticos. Además, un fallo o interrupción en alguno de sus componentes podría suponer un impacto importante sobre la continuidad de otras infraestructuras, pudiendo incluso repercutir económicoamente a una región, a una nación o naciones [1].

Todos estos problemas obligan al sector industrial a colaborar con la comunidad científica y diversas instituciones. Actualmente, existen varios documentos técnicos y artículos científicos que tratan muchos de estos aspectos [2][3][4]. Sin embargo, y debido al carácter crítico de estos sistemas de control, se hace prácticamente necesario mantener siempre actualizados los procedimientos técnicos-científicos, políticas y estándares, donde se detalle en profundidad nuevas vulnerabilidades y soluciones, y en su caso prever ocurrencias y alternativas futuras. De hecho, este artículo muestra un profundo análisis de seguridad en los puntos de control y accesos al sistema (tanto físico como lógico), proveyendo una visualización reciente de nuevos

problemas junto con sus recomendaciones para mejorar la disponibilidad y gestión de una red SCADA.

2.- Arquitectura de un sistema SCADA y problemas

Un sistema SCADA está compuesto por dos tipos de redes básicas (ver figura 1): la red corporativa y la red de control. En la red corporativa, las operaciones están más relacionadas con la supervisión general del sistema y cuyos empleados requieren de procedimientos de autentificación fuerte para interactuar con las bases de datos (históricos, alarmas, etc.) y servidores críticos del sistema. En cambio, en la red de control se proceden a realizar todas aquellas tareas relacionadas con la supervisión, como por ejemplo, abrir/cerrar bomba o solicitar la lectura de un dato. Tales tareas son gestionadas por un IHM (Interfaz Humano Máquina) localizado en el centro principal de control SCADA o subestaciones, y transmitidas a un dispositivo de campo localizado físicamente en la propia planta industrial o en alguna subestación remota. Estos dispositivos, como por ejemplo la RTU (Remote Terminal Unit), se caracteriza por sus capacidades limitadas, su autonomía e independencia para procesar datos e identificar de entre un conjunto de sensores o actuadores cuál es el responsable de la ejecución de la orden. Además, son capaces de establecer comunicaciones con otras subestaciones, con otras RTUs y con otros dispositivos de campo, como por ejemplo una PLC (Programmable Logic Controller). Pueden soportar múltiples sesiones con TCP/IP, y por lo tanto, podrían simultáneamente procesar y responder a varios mensajes provenientes de múltiples fuentes, e igualmente, una misma fuente podría establecer conexión con varias RTUs. Para el control remoto, son capaces de interpretar protocolos específicos, como pueden ser Modbus/TCP [5] o DNP3.0 [6], y algunas RTUs manejan Linux/Unix o Microsoft Windows para dar soporte a aplicaciones Web, y así proveer mediante interfaces gráficas informes a los operarios.

Para gestionar estas remotas desde cualquier punto de localización física es necesario utilizar infraestructuras de comunicación muy versátiles, desde una red Ethernet o una línea de teléfono hasta el uso de Satélite, Microondas, fibra óptica, WiFi, WiMAX, etc., e incluso, algunos sistemas SCADA podrían proveer servicios Web y móviles (GSM o TETRA) para reducir las tareas de mantenimiento y maximizar los costes de operación.

Además, en estos sistemas de control pueden convivir multitud de protocolos propios de automatización industrial basados en TCP/IP para el control remoto, tales como: Modbus/TCP, DNP3.0, ICCP [7], o todos aquellos pertenecientes a la familia de Common Industrial Protocol (CIP), mantenido por Open DeviceNet Vendors Association (ODVA) [8], como Ethernet/IP, DeviceNet, CompoNet y ControlNet. No obstante, la mayoría de ellos

presentan altas vulnerabilidades al carecer de mecanismos de seguridad.

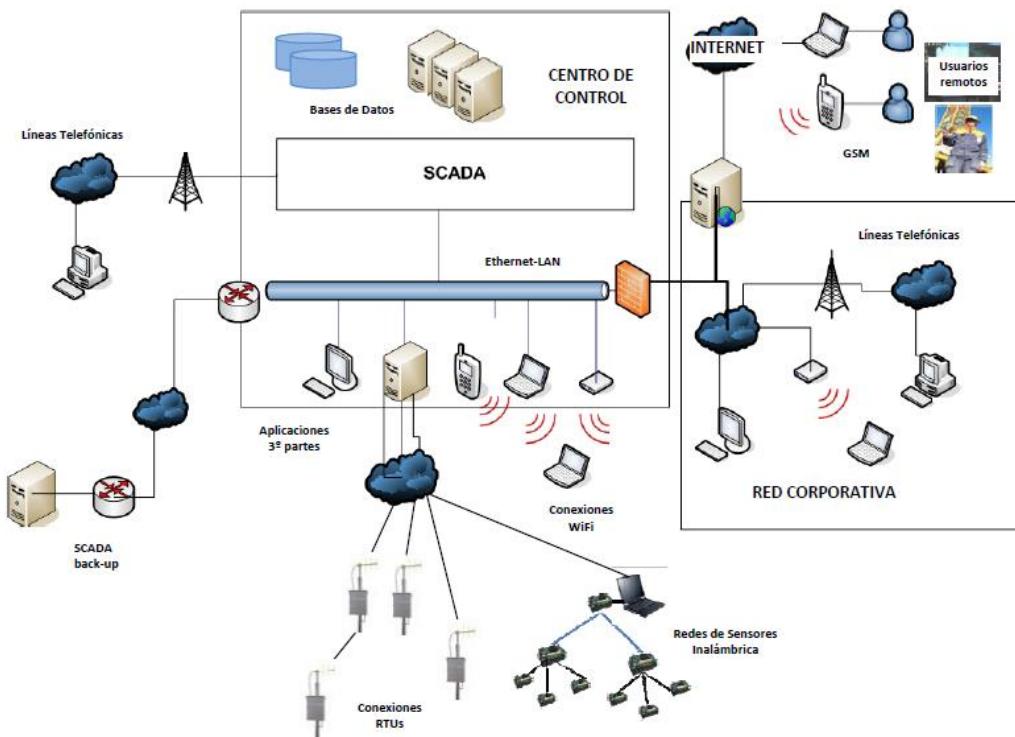


Figura 1: Arquitectura de un sistema de red SCADA

Obviamente, esta arquitectura presenta un riesgo importante desde el punto de vista de la seguridad y disponibilidad del sistema, ya que no sólo suman los diversos ataques conocidos cuando el sistema era cerrado, sino que también se le suman todos aquellos asociados con el estándar TCP/IP y el uso de nuevas tecnologías (por ejemplo, RFID o Redes de Sensores inalámbricas), incluyendo además, todos aquellos problemas de vulnerabilidades asociados con los COTS [9]. Muchas de estas debilidades están registradas en bases de datos públicas, como es el caso de CERT [10], el cual tiene publicado desde 1998 alrededor de 2.500 vulnerabilidades y 150 informes técnicos de seguridad, o el BCIT (British Columbia Institute of Technology) [11] con ISID (Industrial Security Incidents Data). De hecho, ISID permitió a Byres et.al. [12] concluir que el índice de vulnerabilidades desde el año 2001 eran la mayoría causadas por amenazas externas.

3.- Identificación y autorización en Sistemas SCADA

Para establecer un perímetro de seguridad entre personal no autorizado y cada uno de los componentes e instalaciones críticas de un sistema SCADA es necesario definir e implantar una política de control de acceso fuerte. Esta política debe tener asociado un conjunto de mecanismos adicionales de seguridad que comprenda al menos el uso de dispositivos eléctricos asociados a un computador, como por ejemplo, sistemas biométricos, tarjetas magnéticas, smart cards, RFID, cámara de videos, o incluso, software especializado en realizar los procesos de gestión de identificación y autorización desde un IHM. En caso de que estos sistemas dejen de funcionar, se aconseja tener como segunda alternativa algún tipo de procedimiento manual para realizar los controles provisionales. El hecho de que se tiendan a diseñar arquitecturas complejas y automatizadas es debido a que estos procedimientos manuales tienen la característica especial de que presentan problemas de seguridad al depender de mecanismos no confiables como una simple llave (tal vez electrónica) o listas de control gestionadas por un ser humano.

Hoy en día, la gran mayoría de los sistemas SCADA están basados principalmente en mecanismos de autenticación automatizados basado en usuario/contraseña. La asignación de cuentas dependerán de dos factores importantes, como son: el área de responsabilidad junto con permisos y privilegios asignados a un operador, y el tiempo de actividad según lo prefijado en su contrato. Para el control de cuentas activas como inactivas (tanto por expiración como por baja de contrato), el sistema deberá ejecutar frecuentemente un procedimiento de análisis para comprobar en términos de tiempo la validez de las credenciales de seguridad, y cualquier cambio asociado al usuario deberá ser registrado. Asimismo, cualquier tipo de actividad en una sesión debe ser igualmente registrada para facilitar posteriores procesos de análisis (por ejemplo, estadísticos o forenses). Las credenciales de seguridad deberán estar frecuentemente actualizadas siguiendo unos patrones y una política de control de accesos fuerte. El sistema deberá bloquear todas aquellas cuentas que sobrepasen un cierto umbral de intentos fallidos, limitar el número de sesiones por usuario, y evitar el envío de credenciales de seguridad en claro usando mecanismos criptográficos.

Además, muchos de los sistemas SCADA tienden a utilizar en sus arquitecturas servicios Web no sólo para acceder al sistema desde Internet sino para realizar operaciones de control (recibir datos de campo o enviar órdenes de control) en tiempo real desde cualquier IHM. Generalmente, estas páginas web interactúan con las bases de datos relacionales para realizar los procesos de autorización. En caso extremo de que estos servicios web presenten deficiencias de seguridad, existe la posibilidad de que las bases de datos se vean comprometidas. Por lo tanto, se hace casi inevitable adoptar técnicas de desarrollos que prevengan futuros ataques, haciendo uso de herramientas

de filtrado que elimine diversos errores de implementación, como por ejemplo DEADBOLT para códigos escritos en C y C++ [13].

No obstante, puede existir un riesgo añadido, y es que habiéndose adoptado las medidas de seguridad comentadas anteriormente, el sistema podría verse comprometido por ataques de ingeniería social o por fuerza bruta. Por lo tanto, es importante definir una política de seguridad adecuada.



4.- Políticas de Seguridad en Sistemas SCADA

Dentro de los sistemas SCADA, es esencial definir una serie de políticas de seguridad. Las políticas de seguridad trasladan los requerimientos de seguridad y fiabilidad de cada sistema SCADA particular a una serie de procedimientos auditables, los cuales permiten salvaguardar la seguridad en su diseño, implementación, y posterior funcionamiento. El alcance de las políticas de seguridad es muy amplio: éstas definen qué acciones pueden o no pueden ser realizadas por los diversos elementos físicos (por ejemplo, los operarios) y lógicos (por ejemplo, el subsistema de comunicaciones), los pasos a seguir durante las operaciones de mantenimiento y gestión de incidencias, además de la cadena de mando y las responsabilidades de cada uno de los miembros de la organización con respecto a la seguridad del sistema.

A la hora de desarrollar políticas de seguridad para sistemas SCADA, es recomendable seguir las normativas que contemplan controles de seguridad genéricos para sistemas de información. Entre otras, se encuentran las normas NIST 800-53 [14], ISO/IEC 17799 [15], y COBIT [16]. No obstante, los requerimientos específicos de los sistemas SCADA, tales como una alta disponibilidad, fiabilidad, y tiempo de reacción, requieren de un conjunto de normas y políticas adaptadas especialmente a sus necesidades [9]. Con este fin, se han extendido normas existentes [14], desarrollando normas como la NIST 800-82 [17], y definiendo diversos esquemas de políticas de seguridad dentro del ámbito académico [18].

Para cada sistema SCADA, hay que tener en cuenta principalmente las siguientes políticas de seguridad [18]: protección de datos (acceso y almacenaje), configuración del hardware y software (virus, detección de intrusos, control de acceso, cifrado), seguridad en las comunicaciones (acceso inalámbrico, local, remoto), recursos humanos (uso del sistema, preparación y reciclaje), auditorías, seguridad física (acceso a equipamiento, destrucción de material), y ejecución de operaciones de forma manual en caso de fallo. Todas estas políticas de seguridad están influenciadas por los siguientes factores: las interdependencias existentes dentro de la organización, los roles de los diversos recursos humanos, la arquitectura del sistema de información, los datos manejados dentro de SCADA, y los riesgos asociados al sistema.

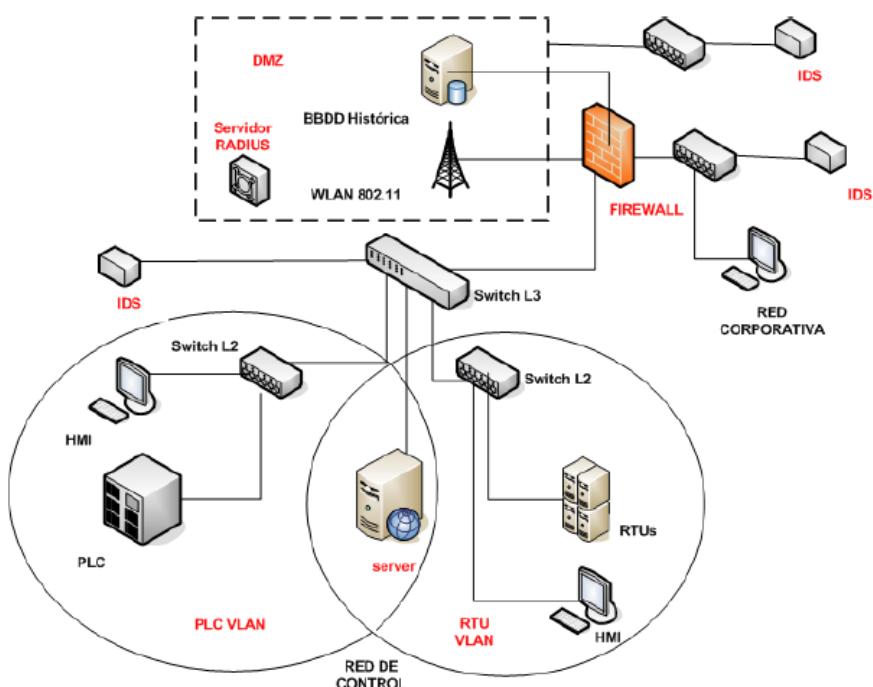
Como ejemplo de dichas políticas, es posible mencionar las políticas de gestión de incidencias. Un sistema SCADA debe recuperar su funcionamiento lo antes posible ante situaciones anómalas. Por lo tanto, hay que definir tanto el almacenamiento como el acceso a los eventos ocurridos dentro del sistema. También hay que controlar la visibilidad de dichos eventos, así como forzar que operarios con suficientes privilegios conozcan de su existencia. Estos operarios deben disponer de suficiente información (número de teléfonos, correo, claves de cifrado e instrucciones para verificar su identidad) con el fin de contactar con los encargados de la respuesta frente a incidentes.

Finalmente, junto con procedimientos de recuperación y puesta en marcha, deben existir accesorios para recopilar y analizar pruebas de evidencias, las cuales pueden preservarse en previsión de posibles acciones legales.



5.- Protección de las Redes de Comunicación SCADA

Para llevar a cabo procesos de gestión de una red SCADA segura será necesario previamente identificar y gestionar todas aquellas conexiones abiertas y directas desde Internet hacia y desde la red SCADA, y desde la red corporativa hacia la red de control mediante mecanismos especializados y restrictivos, tales como: firewalls, IDS (Intrusion Detection System), IPS (Intrusion Prevention Systems), antivirus, servidores RADIUS o protocolos VPN (Virtual Private Networks). Cada uno de estos componentes deberá estar bien configurado y distribuido estratégicamente por todo el sistema con el fin de alcanzar una protección fuerte, y garantizar una defensa en profundidad [19]. Además, será necesario controlar los accesos desde la red corporativa hacia la red de control y hacia diversos servidores críticos, e igualmente, se deberá proteger los enlaces de comunicaciones mediante túneles cifrados, sistemas de gestión de claves y/o mediante herramientas específicas, como por ejemplo, SecSS (Security Services Suite) [20].



L
de
la
ias
o Sistemico
rollo”

Figura 2: Arquitectura de red SCADA propuesta por NISCC

En el caso de que una parte del sistema está basada en una comunicación inalámbrica (por ejemplo, dispositivos de bluetooth, Rogue APs o WiFi), la política de control de acceso debe ser restrictiva y fuerte. Los puertos inactivos y el broadcast del SSID (Service Set Identifier) deberán estar desactivados, y se debe hacer uso de mecanismos criptográficos. Es recomendable en estos escenarios el empleo de WPA-Radius y TLS. Por último, dentro de esta categoría, hay que destacar también el papel de las Redes de Sensores

Inalámbricas en los procesos de control, ya que esta tecnología es considerada en el presente como una perfecta candidata en la protección de Infraestructuras Críticas en general [21]. Actualmente existen varias iniciativas [22][23] para estandarizar sus comunicaciones en los procesos de control industrial.



5.1.- Primera línea de defensa

En el año 2005, el *National Infrastructure Security Co-ordination Centre* (NISCC) [24] del BCIT presentó una guía para la configuración y gestión de firewalls para sistemas de control. Dicha guía describe una posible arquitectura de red segura y escalable basada en una división de tres zonas principales (ver figura 2), con el objetivo de delimitar cada una de las entidades del sistema, siendo la primera línea de defensa el firewall, los IDS y la DMZ (Demilitarized Zone).

El firewall deberá filtrar, por un lado, direcciones de red, de forma que cada componente SCADA tendrá asignada una dirección IP y uno (o varios) puertos TCP/UDP, y por otro lado, filtrar también a nivel de aplicación, centrando su uso en aquellos servicios de mayor riesgo en una red SCADA, considerando además algunos propios de SCADA. Actualmente, existen varios firewalls exclusivos para entornos industriales, como por ejemplo MODBUS-aware [25] desarrollado por Cisco Systems Critical Infrastructure Assurance Group (CIAG) para Modbus, o Vattenfall [26] para la familia IEC 60870-5 (101, 103 y 104) [27]. También, el NISCC propuso dentro de esta guía el desarrollo de firewalls embebidos en cada uno de los dispositivos de campo, conocidos con el nombre de micro-firewalls. Obviamente, hay que seguir investigando, ya que en general las RTU y PLC carecen de suficiente capacidades computacionales como para analizar continuamente el tráfico entrante y saliente.

Con respecto a los IDS, éstos son los encargados de monitorizar el tráfico de red basándose en patrones y reglas definidas en base a un conocimiento previo de vulnerabilidades y ataques. Esta tarea no es fácil de mantener en un sistema SCADA, ya que se requiere de una persistente actualización de dicho conocimiento. Actualmente, existen algunas herramientas IDS para entornos críticos como [28][29][30], y cualquier tipo de incidencia detectada por éstos deberá ser registrado para realizar, en caso que se requiera, investigaciones forenses.

Finalmente, es importante mencionar que las reglas configuradas en los firewalls no siempre son correctas debido a una incorrecta configuración inicial o por cambios automáticos realizados por los IPS. Una posible solución sería mantener en el sistema una herramienta capaz de analizar en tiempo real, si dichas reglas coinciden con lo establecido en la política de seguridad, como por ejemplo la herramienta APT (Access Policy Tool) [31] desarrollada por la Universidad de Illinois.

5.2.- Protección en los canales de comunicación

Para garantizar disponibilidad y mantenimiento en los sistemas SCADA, las operaciones de control deben ser gestionadas desde cualquier punto de conexión y localización geográfica. Independientemente del tipo de red, los procesos de encriptación deben ser fuertes y los procesos de autentificación restrictivos, y en el caso de que la red de control tenga conexión directa a Internet implementar una VPN basada en SSL dentro de otra basada en IPsec.

Cuando las operaciones de control deben llegar hacia los dispositivos de campo, se hace uso de protocolos específicos como Modbus o DNP3, los cuales carecen de mecanismos de seguridad. Si la comunicación es en serie, el sistema deberá tener instalado un dispositivo mediador entre el puerto EIA-232 de la RTU y el modem para gestionar las operaciones de encriptación de forma transparente. Este dispositivo es conocido con el nombre de Bump-in-the-Wire [32]. Por el contrario, si la comunicación se realiza bajo el estándar TCP/IP, sólo será necesario instalar y configurar aquellos mecanismos de seguridad asociados al estándar.

Igualmente, cuando el tráfico de control proviene de otro centro de telecontrol, éste hace uso del protocolo ICCP/TASE 2.0, el cual provee alta disponibilidad y rendimiento en la transmisión de datos, pero carece también de mecanismos de seguridad. Esto obliga que su diseño esté definido bajo el estándar IEC-62351 del TC57 [33], el cual incluye los protocolos TLS/SSL (para maximizar la interoperabilidad entre sistemas SCADA), MMS/IEC-62351-4 y una tabla bilateral para registrar los enlaces asociados. Todos estos protocolos proveerán al sistema de un soporte para la gestión de certificados, código de autentificación de mensajes, renegociación de cifrados, intercambio de claves de al menos 1024 bits, y firma digital con RSA y DSS, además de habilitar el puerto TCP 3782 para establecer comunicaciones seguras. Por último, la criptografía y los sistemas de gestión de claves podrían resolver muchos de los problemas de seguridad en los canales de comunicación. Sin embargo, esto no es relativamente fácil de conseguir, ya que existen múltiples e importantes limitaciones asociadas a las capacidades computacionales y de transmisión de datos de los dispositivos de campo. Uno de los primeros informes que agrupó un conjunto de estándares para la implementación de criptografía en fue desarrollado por American Gas Association (AGA) con AGA-12 Part 1 [34]. Más tarde, presentaron el AGA-12 Part 2 [35] para describir una técnica de implementación criptográfica en canales de comunicación en serie, incluyendo un protocolo basado en sesiones con servicios de autentificación mediante claves simétricas generadas por AES y SHA-1, y quedan aún pendientes AGA-12 Part 3 y Part 4, donde especifican la protección de los sistemas de redes y la seguridad de dispositivos embebidos en componentes SCADA.

Este mismo grupo de trabajo también estuvo involucrado en desarrollar estándares para la gestión de claves en sistemas de control, y actualmente

existen varios grupos de trabajo que están poniéndolo en práctica, como TC57WG15 (IEC62351), IEEE Power Engineering Society Substations Committee con P1689 y DNP3 User Group (DNP3 v1.0). Actualmente, existen varias técnicas propuestas, como por ejemplo, hacer uso de Criptografía de Clave Elíptica [36], y es necesario aplicar una metodología de selección [37] apropiada según el tipo de red SCADA diseñado.



6.- Protección de los Sistemas Informáticos

Abordaremos en esta ocasión aquellos procesos orientados a fortalecer la seguridad de los sistemas informáticos encargados de prestar servicios en una red SCADA con el objetivo de frenar o paliar los ataques que puedan realizarse contra ellos.

El año 2008 ha sido prolífico en lo referente a la difusión de ataques realizados sobre sistemas SCADA [38], siendo un factor importante a tener en cuenta el hecho de que aplicaciones de automatización de ataques, como Metasploit, incluyan soporte para atacarlos [39]. Es muy posible que, debido a la notoriedad alcanzada por sus deficiencias en seguridad, los sistemas SCADA supongan un nuevo caldo de cultivo para aquellos deseosos de demostrar sus habilidades.

La adopción de medidas de protección frente a ataques proporciona un grado de seguridad y control extra frente a ataques internos, posiblemente los más peligrosos debido al conocimiento especializado del sistema que posee el atacante. Pero además, suponen una excelente base para afrontar los ataques externos, debido a que construyen un escenario en el que poder controlar el impacto ocasionado por una intrusión.

Una parte fundamental en este proceso consiste en especificar con detalle la dependencia de los servicios implicados con el resto de servicios y/o aplicaciones instaladas. De forma que se puedan diseñar entornos aislados de ejecución para los servicios implicados disminuyendo así la visibilidad y controlando con mayor granularidad los permisos y capacidades de estos servicios con el resto del sistema. Soluciones que implementan este tipo de técnicas están disponibles para los Sistemas Operativos comúnmente empleados en redes SCADA: políticas de grupo y reglas de control de accesos en sistemas Windows, SELinux en Linux (entre otros), RBAC y Contenedores en Solaris. Por consiguiente, y en vistas de facilitar la tarea anterior, será conveniente reducir el número de servicios disponibles en un sistema al mínimo conjunto necesario, de forma que se disminuyan las dependencias entre servicios y se reduzcan las posibles vías vulnerables al sistema.

El almacenamiento de los datos constituye otro aspecto a tener en cuenta y en muchas situaciones supone la posibilidad para un atacante de escalar privilegios tras una intrusión. Por ello es conveniente adoptar mecanismos de cifrado de datos para aquella información sensible que pueda aumentar el impacto de un ataque. En este grupo podemos incluir también a los servidores de Base de Datos que, tras una valoración del impacto en el rendimiento, deberán habilitar los mecanismos de cifrado de datos para dificultar el que un atacante pueda acceder a los archivos de la Base de Datos en claro.

La monitorización de recursos proporciona un mecanismo que puede ayudar a detectar un comportamiento anómalo o prever un posible fallo del sistema

ocasionado por una intrusión. Una sobrecarga injustificada del procesador, un incremento anómalo del tráfico de red y la disminución drástica de la memoria libre o del espacio de disco disponible pueden ser síntomas, entre otros, de que el sistema está siendo atacado o bien se está empleando para atacar otros sistemas. Además, es conveniente emplear soluciones de auditoría de sistemas en los equipos pertenecientes a la red SCADA. De esta forma es posible rastrear las acciones realizadas en un equipo para descubrir tantas evidencias de ataques como el alcance de estos ataques en su entorno.

Los sistemas HIDS (Host Intrusion Detection Systems) permiten detectar y frenar ataques comunes mediante técnicas basadas en detección de comportamiento anómalo. Posibilitan que una nueva aplicación instalada por un atacante no pueda ejecutarse, que el software de captura de información que pretende usar el atacante no tenga éxito, la prohibición de acceso físico a memoria o a disco, la protección de controladores sensibles de ataques, etc. La conveniencia de su utilización en un sistema SCADA debe evaluarse con detenimiento, puesto que algunas de las características que proporcionan pueden perjudicar el rendimiento de algunas de las funcionalidades más exigentes de estos sistemas. Como norma general, la mayoría de estas soluciones incluyen un modo de aprendizaje inicial en el cual se crea una configuración de las aplicaciones y comportamientos lícitos para elaborar las reglas de autorización de forma automática. Una vez aprendido el comportamiento normal del sistema, avisará de cualquier acción que no cumpla alguna de las reglas de autorización generadas en el modo de aprendizaje.

Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*

7.- Conclusiones

Un sistema SCADA es considerado un sistema de control crítico al monitorizar y controlar el rendimiento y disponibilidad de otras infraestructuras consideradas también críticas (por ejemplo, transporte, sistemas de energía, sistemas de administración y tratamiento de agua o sistemas de comunicación). Una interrupción en alguno de sus componentes (hardware o software) debido a un fallo (técnico o humano) o un ataque (físico o lógico), podría suponer un efecto en cascada o un efecto en escalada entre infraestructuras y expandirse consecuentemente hacia demás sectores, afectando a una región, nación o naciones. Estos efectos se deben al tipo de interdependencias (directas o indirectas) entre infraestructuras [1].

Es necesario resolver y mitigar muchos de los problemas identificados en estos tipos de sistemas de control, y prever mecanismos, políticas, estándares y procedimientos de seguridad para proteger al sistema desde su nivel físico (instalaciones, redes de comunicación y recursos) hasta su nivel lógico (software y canales de comunicación). Actualmente, existen varios documentos técnicos y artículos que describen inconvenientes y algunas soluciones. No obstante, y debido a la criticidad de estos sistemas, es necesario mantener siempre una visualización actualizada de nuevos problemas de seguridad y recomendaciones técnicas.

Por lo tanto, se ha descrito e identificado en este artículo diversos procedimientos de gestión de la seguridad en los IHM, en las redes de comunicación SCADA y control de acceso, identificando nuevas e importantes necesidades, como son: la definición de estándares y políticas de seguridad, especificación de roles y responsabilidades, y diseño e implementación arquitecturas de red segura. Sin embargo, es necesario tener en cuenta otros factores cruciales en estos sistemas críticos, como son la gestión de riesgos (entre ellas destacar RiskMAP destinada a proveer soporte en la toma de decisiones [40]), gestión de incidencias para realizar futuros análisis e investigaciones forenses, gestión de documentos, definición de métricas y metodologías de evaluación, proliferación periódica de programas educativos, mantenimiento y auditoría.

Referencias

- [1] **James P. Peerenboom, Ronald E. Fisher**, Analyzing Cross-Sector Interdependencies, 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '07), IEEE Computer Society, pp. 112-119, 2007.
- [2] **V. Igiurra, S. Laughter, R. Williams**, Security issues in SCADA networks, Computers & Security 25, v 25, pp 498-506, num 7, 2006.
- [3] **R. Chandia, J. Gonzalez, T. Kilpatrick, M. Papa, S. Shenoi**, Security Strategies for SCADA Networks, IFIP International Federation for Information Processing, Critical Infrastructure Protection, Springer Boston, v 253, pp 117-131, 2007.
- [4] **M. Hentea**, Improving Security for SCADA Control System, Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management, v 3, pp 73-86, 2008.
- [5] **Modbus-IDA** the architecture for distributed automation, <http://www.modbus.org/>, 2005.
- [7] **IEC 60870-6**, International Electrotechnical Commission, [8] **ODVA**, Open DeviceNet Vendors Association, <http://www.odva.org/>, 2008.
- [9] **A. Cárdenas, S. Amin, S. Sastry**, Research Challenges for the Security of Control Systems, 3rd USENIX Workshop on Hot Topics in Security (HotSec'08), San Jose, USA, 2008,
- [10] **CERT**, Carnegie Mellon Software Engineering Institute, CERT/CC Statistics 1988-2008, http://www.cert.org/stats/vulnerability_remediation.html, 2008.
- [11] **BCIT**, British Columbia Institute of Technology, <http://www.bcit.ca/>, 2008.
- [12] **E. Byres, J. Lowe**, The myths and facts behind cyber security risks for industrial control systems, 'VDE Congress', VDE Association For Electrical, Electronic Information Technologies, British Columbia Institute of Technology and PA Consulting Group, 2004.
- [13] **DEADBOLT**, Institute for Information Infrastructure Protection (I3P), <http://www.thei3p.org/docs/publications/factsheet-Deadbolt-2-24-08.pdf>, 2008.
- [14] **NIST Special Publication 800-53**. Recommended Security Controls for Federal Information Systems, 2007.
- [15] **ISO/IEC 17799:2005**. Code of Practice for Information Security Management, 2005.
- [16] **ISACA**, Control Objectives for Information and related Technology, rev 4.1, 2007.

- [17] **NIST Special Publication 800-82.** DRAFT - Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security, 2007.
- [18] **D. Kilman, J. Stamp.** Framework for SCADA Security Policy. Sandia National Laboratories report SAND2005-1002C. 2005.
- [19] **U.S. Department of Energy,** 21 Steps to Improve Cyber Security of SCADA Networks, white paper, 2005.
- [20] **SecSS,** Institute for Information Infrastructure Protection (I3P), <http://www.thei3p.org/docs/publications/factsheet-SecSS-2-21-08.pdf>, 2008.
- [21] **R. Roman, C. Alcaraz, J. Lopez,** The role of Wireless Sensor Networks in the area of Critical Information Infrastructure Protection, Information Security Technical Report, Elsevier. Vol 12, no 1, pp 24-31, 2007.
- [22] **ISA100.** Wireless Systems for Automation, <http://www.isa.org/MSTemplate.cfm?MicrositeID=1134&CommitteeID=6891>, Industrial Automation and Control system (ISA), 2007.
- [23] **WirelessHART™ technology**, HartComm Company, [24] **NISCC**, National Infrastructure Security Co-ordination Centre, NISCC Good Practice Guide on Firewall Deployment for SCADA and Process Control Networks, British Columbia Institute of Technology (BCIT), 2005.
- [25] **Modbus Software**, Linux Firewall for Modbus/TCP protocol, <http://sourceforge.net/projects/modbusfw>, 2008.
- [26] **Vattenfall**,
http://www.vattenfall.se/www/vf_se/vf_se/518304omxva/525894stude/525924exame/564400exemp/833879firew/index.jsp, 2007.
- [27] **IEC 60870-5**, International Electrotechnical Commission, [28] **EMERALD**, Event Monitoring Enabling Responses to Anomalous Live Disturbances, SRI International, <http://www.sdl.sri.com/projects/emerald/>, 2007.
- [29] **IDS Signatures**, Digital Bond,
<http://www.digitalbond.com/index.php/research/ids-signatures/>, 2007.
- [30] **Nessus 3 SCADA**, Tenable Network Security,
http://blog.tenablesecurity.com/2006/12/nessus_3_scada_.html, 2006.
- [31] **D. Nicol, B. Sanders, M. Seri**, Access Control Policies and their Impact on Survivability, Process Control Systems Workshop, The 4th Annual I3P PCS Security, 2008.

- [32] **P. Tsang, S. Smith**, YASIR: A low-latency high integrity security retrofit for legacy SCADA systems, 23rd International Information Security Conference (IFIC SEC), 2008.
- [33] **IEC-62351**, International Electrotechnical Commission, , [34] **AGA-12 Part 1**, Cryptographic Protection of SCADA Communications Part1: Background, Policies and Test Plan, 2006.
- [35] **AGA-12 Part 2**, M. Hadley, K. Huston, Performance Test Plan, Pacific Northwest National Laboratories, 2006.
- [36] **R. Lambert**, ECC and SCADA Key Management, SCADA Security Scientific Symposium Conference, Digital Bonded, 2007.
- [37] **L. Cambacédes and P. Sitbon**, Cryptographic Key Management for SCADA Systems -Issues and Perspectives, pp 156-161, IEEE Computer Society, Information Security and Assurance (ISA) 2008.
- [38] **D. Morrill**, Everybody Panic Metasploit does SCADA Hacking, Information Technology Professional IT Community, <http://it.toolbox.com/blogs/managing-infosec/everybody-panic-metasploit-does-scada-hacking-27104>, 2008.
- [39] **K. Finisterre**, The Five Ws of Citect ODBC Vulnerability CVE-2008-2639, <http://www.milw0rm.com/papers/221>, 2008.
- [40] **RiskMAP**, Institute for Information Infrastructure Protection (I3P), <http://www.thei3p.org/docs/publications/factsheet-RiskMap-2-22-08.pdf>, 2008.

Ciencia de Sistemas

*“Conocimiento Sistemico
para el desarrollo”*