



Diciembre 2013

Volumen 11

Número 1

ISSN 1879 - 9532

RIEE&C

Diseño y Evaluación de la Confiabilidad de un Convertidor de Potencia para un Sistema de Generación de Energía Basado en Celdas de Combustible

Chan P. Freddy I., Escobedo H. Enrique, Smith Mascha A., Torres M. Emmanuel, Sánchez H. Víctor M., Toral C. Homero, Acosta O. Roberto

1

Diseño de un Sistema de Generación Basado en Fuentes Renovables e Hidrógeno

Sánchez H. Víctor, Chan P. Freddy I., Torres M. Emmanuel, Acosta O. Roberto, Ramírez A. Juan M.

8

Técnicas de Inteligencia Artificial para el Control de Estabilidad de un Manipulador Paralelo 3RRR

Villaseñor A. Marcos, Álvarez T. Erik, Ramírez A. Agustín, Orozco M. Horacio, Padilla M. José A.

15

EDUC vs Moodle: Comparando la Experiencia de Usuario en la Educación a Distancia de la Universidad de Colima

Ahumada G. Ana C., Santana M. Pedro C., Muro H. Bárbara P., Juárez R. Celso U., Prieto A. Carlos G.

23

New Trends on Dynamic Object Segmentation in Video Sequences: A Survey

Ramírez A. Graciela and Chacón M. Mario I.

29

**REVISTA DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

Revista publicada por el Depto. de Ing. Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora



ITSON – Instituto Tecnológico de Sonora
5 de Febrero 818 Sur. C.P. 85000
Ciudad Obregón, Sonora, México.

RIEE&C: Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación

Año 9, Volumen 11, Número 1, Diciembre de 2013.

DERECHOS RESERVADOS © 2013.

ISSN: 1870-9532

Publicación semestral editada por ITSON a través del
Departamento de Eléctrica y Electrónica.
Esta publicación fue completada en Diciembre de 2013.

Editor en jefe: José Antonio Beristáin Jiménez

Grupo editor ejecutivo: Jesús H. Hernández L., Joaquín Cortez G., Gabriel Núñez R.,
Javier Pérez R., Griselda González D.C.

Editores asociados: Adolfo Espinoza R., Adolfo Soto C., Andrés O. Pizarro L., Armando
Ambrosio L., Armando García B., Eduardo Romero A., Enrique Aragón M., Erica Ruiz I.,
Germán E. Dévora I., Ismael Murillo V., José M. Campoy S., Juan C. Murrieta L., Juan J.
Padilla Y., Luis A. Castro Q., Manuel Domitsu K., Miguel A. Bernal R., Moisés Rodríguez
E., Manuel Herrera S., Rafael Figueroa D., Rafael León V., Raymundo Márquez B.,
Ricardo T. Solís G.

Diseño de portada: Itsel Gabriela Ramírez Escalante

Contacto: rieecandc@itson.edu.mx

Internet: <http://www.itson.mx/rieeyc>

Impreso en el taller del Instituto Tecnológico de Sonora. Fecha de Impresión Diciembre
2013. Tiraje de 100 ejemplares con 22 hojas.

El contenido de los artículos que se publican es responsabilidad de los autores.
Prohibida la reproducción total o parcial del contenido de la revista,
en cualquier medio, sin previa autorización por escrito del editor.
Quedan reservados todos los derechos.

Diseño y Evaluación de la Confiabilidad de un Convertidor de Potencia para un Sistema de Generación de Energía Basado en Celdas de Combustible

Chan P. Freddy I., Escobedo H. Enrique, Smith Mascha A., Torres M. Emmanuel, Sánchez H. Víctor M., Toral C. Homero, Acosta O. Roberto

Design and Reliability Evaluation of a Power Converter for Energy Generating System Based on a Fuel Cell (FC)

Abstract— DC-DC converter is one of the stages inside an Energy Generating System based on a Fuel Cell (FC). In this kind of systems is required an energy conditioning system in order to become useful the energy generated by it. The output voltage of a FC is DC so that is necessary turn it into AC voltage in order to feed electronics loads such as cell phones, computers, digital cameras, etc. Besides, the magnitude of the output voltage generated by a FC is small, hence a power converter is required in order to amplify it and then to be turned into AC voltage by a power inverter. In addition, the operating point of the FC determines the output voltage generated which it can be compensated by a power conditioner converter. This work focuses on the design and reliability evaluation of a boost converter either when it is operating in fail conditions or in load-variable conditions.

Keywords— Energy, Fuel Cell, DC-DC converters, reliability.

Resumen— Una de las etapas del sistema de alimentación basado en celdas de combustible es el convertidor CD-CD. Para poder aprovechar la energía que proporcionan estas celdas, se requiere implementar un sistema de acondicionamiento de energía, esto debido a que las celdas de combustible producen voltaje de CD que requiere ser transformada en voltaje de corriente alterna (CA) para alimentar aplicaciones tales como teléfonos celulares, cámaras

Manuscrito recibido el 20 de Octubre de 2013. Este trabajo fue realizado en conjunto por la Universidad de Quintana Roo y el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.

Dr. Freddy Chan hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México. E-mail: freddy@uqroo.mx.

M.C. Enrique Escobedo hasta la fecha se ha desempeñado como investigador adjunto en la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dra. Mascha Smit hasta la fecha se ha desempeñado como investigador en la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán. mascha@cicy.mx.

M.C. Emmanuel Torres hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

Dr. Víctor Sánchez hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

Dr. Homero Toral hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

MES Roberto Acosta hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

digitales, etc. El voltaje de CD producido por la celda de combustible tiene niveles relativamente bajos, requiriendo de un convertidor (acondicionador de potencia) que proporcione los niveles necesarios para luego ser transformados por el inversor a CA. Asimismo, el voltaje de CD generado por la celda de combustible varía dependiendo de las condiciones de operación, características que puede ser compensada de igual manera por un convertidor acondicionador de potencia. Este trabajo se enfoca al diseño y evaluación de la confiabilidad de un convertidor de potencia, ante diversas condiciones de falla. También se presenta su comportamiento ante variaciones de carga.

Palabras clave— energía, celdas de combustible, convertidores CD-CD, confiabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los convertidores CD-CD son circuitos electrónicos empleados para el acondicionamiento de energía, con capacidades de elevar o reducir el voltaje. El convertidor empleado para este caso de estudio es del tipo elevador (Boost), cuyo esquema se presenta en la Figura 1.

El convertidor Boost es un convertidor CD a CD que obtiene a su salida un voltaje mayor que a su entrada. Es una de fuente de alimentación conmutada que incluye al menos dos interruptores semiconductores (MOS1 y D1) y al menos un elemento para almacenar energía (Ld y C1). Frecuentemente se añaden filtros construidos con inductores y condensadores para mejorar el rendimiento.

La energía de entrada (V_{in}) también puede provenir de fuentes CD como baterías, paneles solares, celdas de combustible, rectificadores y generadores CD.

Como se puede observar en la Figura 1, el transistor MOS1 funciona como un interruptor electrónico con control en la compuerta, siendo el dispositivo de conmutación que requiere de una señal por modulación de ancho de pulsos (PWM) para la activación y desactivación.

El PWM es una técnica que modifica el ciclo de trabajo de una señal cuadrada de frecuencia constante. El convertidor elevador tipo Boost tiene la característica que eleva el voltaje de entrada en relación a la ecuación (1):

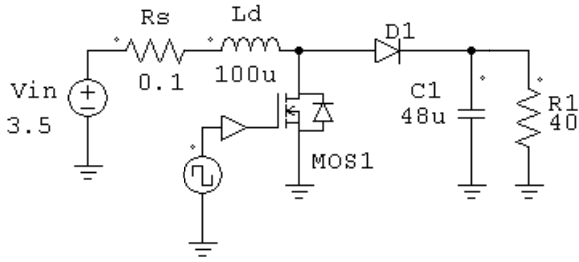


Fig. 1 Diagrama electrónico del convertidor.

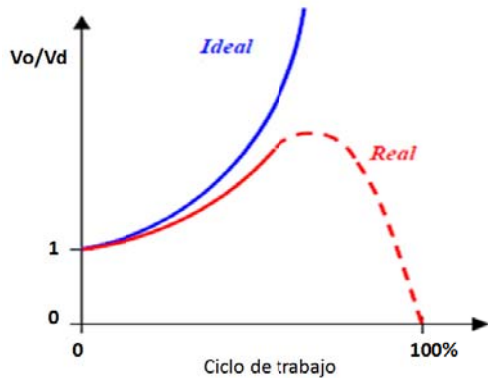


Fig. 2 Relación de ganancia del convertidor.

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

Donde D es el ciclo de trabajo que se le aplica al convertidor, V_d valor de voltaje de entrada y V_o el voltaje de salida. La respuesta de este tipo de convertidor se muestra en la Figura 2 [1].

Como se puede observar en la Figura 2, un convertidor elevador de tipo Boost tiene un valor de ganancia inicial de 1 cuando no hay ciclo de trabajo, es decir, cuando el convertidor no está conmutando. Además, el convertidor de manera ideal tiende a una ganancia infinita cuando el ciclo de trabajo se acerca al 100%. Sin embargo, a causa de algunos límites de los mismos componentes electrónicos usados en el convertidor, su comportamiento real hace que exista un valor máximo de ganancia después del cual, existe un decremento en su valor.

En términos de potencia, este decremento de ganancia se debe al calentamiento de los componentes o incluso el fallo de alguno, razón por la cual la gráfica que representa el comportamiento real aparece en línea punteada. En la sección III se analiza brevemente el comportamiento térmico de los componentes.

II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ACONDICIONADOR DE POTENCIA

A. Celda de combustible (V_d)



Fig. 3 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico.

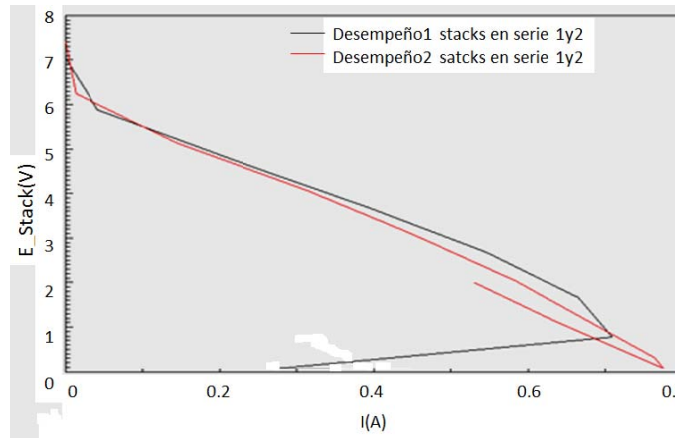


Fig. 4 Curvas de desempeño del Stack.

Se empleó como fuente de entrada una celda de combustible tipo PEMFC (Celda de combustible de membrana de intercambio protónico) fabricada en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). El diseño de la celda se detalla en [2]. La figura 3 muestra la celda fabricada.

La figura 4 muestra las Curvas de desempeño de dos stack's. Los dos pequeños stack's conectados en serie proporcionan hasta 7.4 Volts y una corriente máxima de 0.8 A, sin embargo, el valor de la corriente donde operan las cargas es entre 0.4 y 0.5 A (3.5 Volts).

B. Convertidor CD-CD

El objetivo es diseñar y construir un convertidor de CD-CD del tipo Boost, que permita tener un voltaje constante de salida (12 Volts) al interconectar en serie pequeñas fuentes de voltaje variable en la entrada (stack's celdas de combustible tipo PEMFC).

Una de las desventajas de los stack's de celdas de combustible, es la variación de voltaje y corriente de salida de estos dispositivos cuando operan durante largos intervalos de tiempo siendo algunas de las causas la acumulación de agua en el

TABLA I
ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Datos de la aplicación	Datos del Convertidor
-Motor reductor metálico con relación de engranaje 50:1	• $V_i = 3.5$ a 7 Volts
-Rango de voltaje de operación: (6-12) vdc	• $V_o = 12$ Volts
-Velocidad: 200 Rpm	• Frecuencia de operación 100 kHz
-Corriente sin carga: 300 mA	• Inductor $100\mu\text{H}$
-Corriente máxima: 5 A	• Mosfet (2SK1307) 100v y 20A
Torque máximo: 12 kg.cm	• Capacitor $47\mu\text{f}$ a 50v
	• Diodos de recuperación rápida (HFA30TA60C) de 600v y 15 A
	• Resistencia de la compuerta de 100 ohm

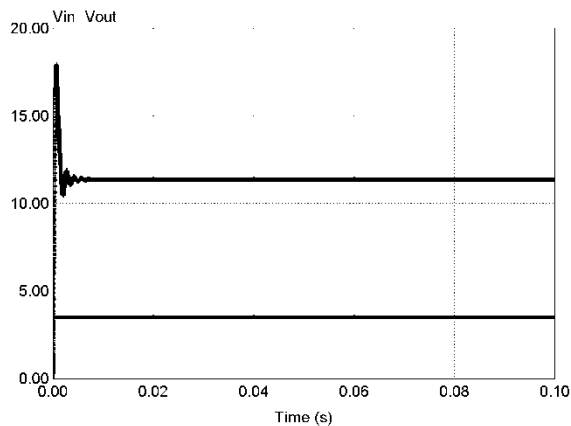


Fig. 5 Curvas del voltaje de entrada/salida del convertidor.

área activa, reducción de la vida útil de los ensamblajes, entre otros. Otra desventaja de grandes stack's es la complejidad del armado y la dificultad para eliminar fugas de gases. El interconectar pequeños stack's en serie (bajo voltaje) asegura la eficiencia entregada del sistema. La tabla I muestra las especificaciones de diseño.

Con los datos del stack's de celdas y la carga, se diseñó la etapa de potencia. El procedimiento de diseño se establece en [1, 2]. La figura 5 muestra las curvas del voltaje de salida y de entrada obtenidas en la simulación del convertidor.

En la figura 6 muestra el primer prototipo implementado. Se observa solo la etapa de potencia

Se realizó una caracterización del convertidor para determinar su relación de ganancia. La figura 7 muestra el comportamiento de ganancia de dicho convertidor ante las variaciones del ciclo de trabajo. Se observa un deficiente desempeño del convertidor debido a diversas pérdidas en los componentes.

III. ANÁLISIS TÉRMICO DEL ACONDICIONADOR DE POTENCIA

Durante el proceso de diseño de un sistema, normalmente se seleccionan los elementos que ofrecen la más alta confiabilidad bajo las condiciones de operación establecidas. En la selección de los dispositivos inciden diversos factores: esfuerzos, ambiente de

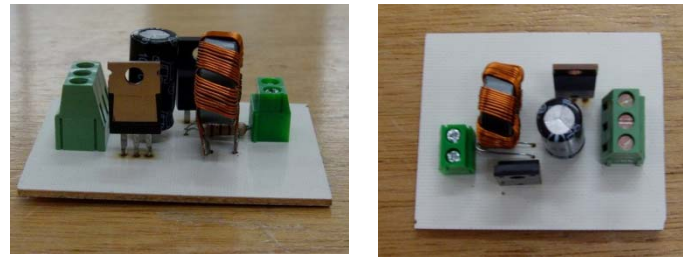


Fig. 6 Prototipo inicial del convertidor Boost.

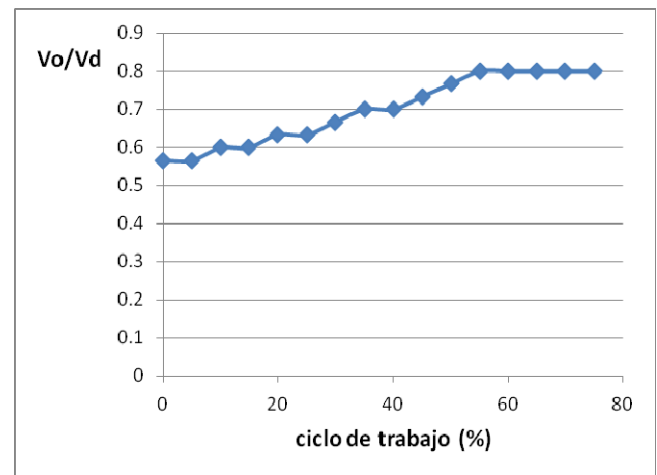


Fig. 7 Relación de ganancia del convertidor Boost.

operación, factores de carga, y las temperaturas de operación, tanto para el sistema como para los componentes. Debido a que la temperatura de operación es especialmente crítica en la selección de los dispositivos, los modelos de predicción deberán considerar diferentes métodos para calcular las variaciones de temperatura [3], [4].

En ocasiones, mediante mediciones, es posible conocer el incremento de la temperatura (ΔT) o la temperatura de unión (T_j). Otras veces ésta puede determinarse a partir de ciertos factores del dispositivo (conocidos o proporcionados por el fabricante). En las ocasiones en las que no se conoce nada acerca de la temperatura de un componente, se deberá usar un incremento de temperatura estandarizado ($\Delta T_{\text{default}}$). Emplear un método incorrecto para determinar la temperatura de unión podría conducir no solo a una temperatura de unión equivocada, sino también a un análisis de confiabilidad del sistema incorrecto.

En el análisis de confiabilidad deberá seleccionarse entonces el método de cálculo de temperatura apropiado, basándose en el conocimiento de los factores de temperatura disponibles para dicho componente.

Durante el proceso de caracterización se introdujeron algunas situaciones de falla de manera intencional para observar cuáles producen mayor pérdidas en los componentes de la etapa de potencia. Las siguientes figuras muestran las imágenes termográficas del convertidor ante diversas situaciones de fallas. Se indica el punto de mayor temperatura en cada imagen (en $^{\circ}\text{C}$).

La Figura 8 muestra el sobrecalentamiento del capacitor ante un sobre voltaje (83.1°C).

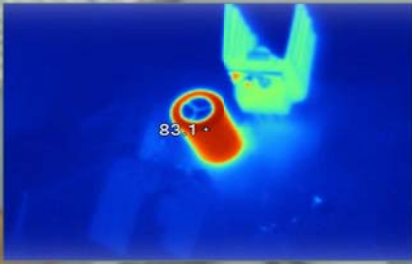


Fig. 8 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante sobre voltaje en capacitor.

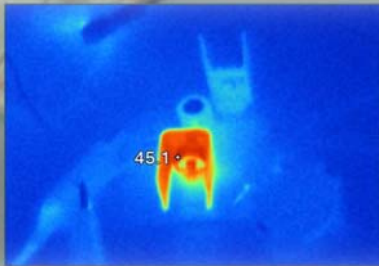


Fig. 9 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante falta de pulso en el transistor.

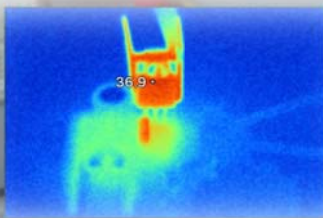


Fig. 10 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante falla de pulso en el transistor.

La figura 9 muestra el sobrecalentamiento del diodo ante una condición de falta de pulso en el interruptor. Nótese que no es excesivo el calentamiento en el dispositivo (45.1 °C)

La figura 10 muestra una falla del transistor ante un pulso de CD en la compuerta, quedando conectado el interruptor. En este caso el transistor es el dispositivo que sufre mayor esfuerzo sin ser excesivo (36.9 °C).

La figura 11 muestra el comportamiento térmico ante un ciclo de trabajo excesivo en el convertidor. En este caso se nota un calentamiento excesivo tanto en el diodo como en el

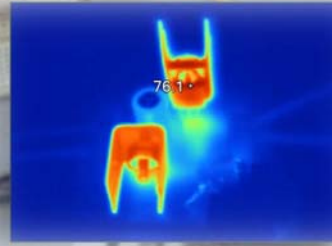


Fig. 11 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante ciclo de trabajo excesivo.

TABLA II

FACTORES DE ESFUERZO PARA INDUCTORES, TRANSISTORES Y CAPACITORES

Dispositivo	π_T	π_Q	π_E	π_A	π_C	π_V	π_S
Inductor/ Transformador	•	•	•				
Transistor	•	•	•	•			
Capacitor	•	•	•		•	•	
Diodo	•	•	•				•

transistor. De acuerdo a [5], el incremento de temperatura no solo produce una eficiencia baja sino también una reducción en la confiabilidad y tiempo de vida útil del convertidor.

IV. ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD

El estándar MIL-HDBK-217F [6] presenta los valores de la tasa de fallo base λ_b para dispositivos electrónicos. Para estimar la confiabilidad de un sistema electrónico, es necesario calcular primero la tasa de fallo real λ_C de los componentes involucrados. El valor real se obtiene multiplicando el valor base de la tasa de fallo λ_b , por los factores de ajuste π_i que toman en cuenta los esfuerzos. De acuerdo al modelo de Eyring, la tasa de fallo real para un componente está dada por:

$$\lambda_C = \lambda_b \left(\prod_{i=1}^n \pi_i \right) \quad (2)$$

Dónde n es el número de factores de ajuste π para un dispositivo en particular.

Los esquemas de potencia están constituidos principalmente por transistores, diodos, capacitores e inductores. Los factores de esfuerzos para estos dispositivos se listan en la Tabla II.

Dónde:

π_E = el factor ambiental

π_A = el factor de aplicación (potencia)

π_Q = el factor de calidad

π_S = el factor de esfuerzo de voltaje del diodo

π_C = el factor de capacitancia

π_V = el factor de esfuerzo de tensión del capacitor

El factor π_T se relaciona con la temperatura. Puede calcularse de acuerdo a las expresiones que se listan en la Tabla III.

TABLA III
FACTORES DE ESFUERZO TÉRMICOS [6]

Transistor	$\pi_T = \exp\left\{-1925\left(\frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Capacitor	$\pi_T = \exp\left\{-\frac{0,35}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{HS} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Diodo	$\pi_T = \exp\left\{-3091\left(\frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Inductor	$\pi_T = \exp\left\{-\frac{0.11}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{HS} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$

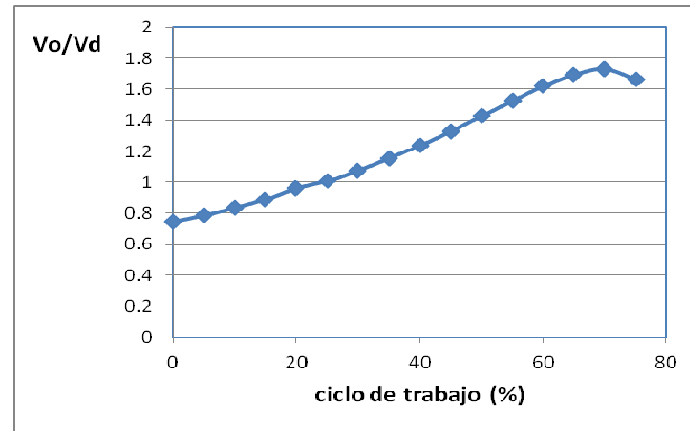


Fig. 13 Relación de ganancia en convertidor modificado.

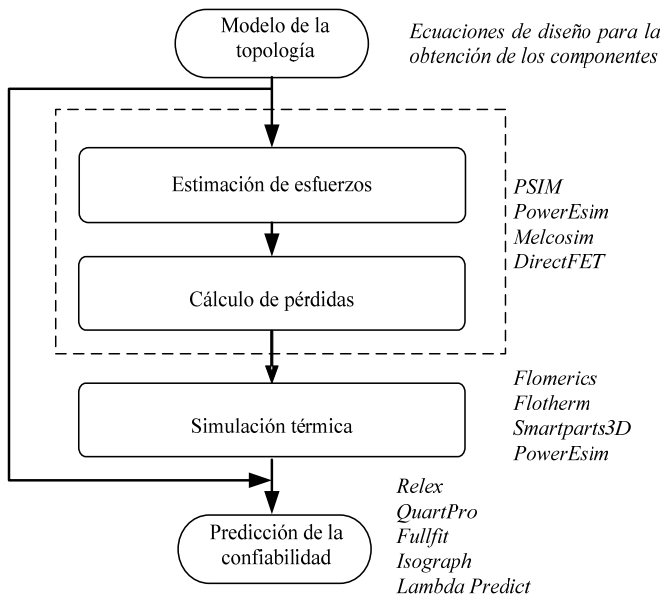


Fig. 12 Procedimiento para el cálculo de la confiabilidad.

En el caso de los transistores y diodos, el término T_j se refiere a la temperatura de unión. Para el caso de inductores y capacitores, el término T_{HS} se refiere a la temperatura del denominado punto caliente (hot-spot). Las mediciones térmicas nos proporcionan estos valores para la estimación de la vida útil (MTBF).

La figura 12 resume el procedimiento para la estimación de la confiabilidad.

Una vez conocidos los tipos y valores de los componentes, el valor de λ_b puede obtenerse de manera rápida en el MIL-HDBK-217F; sin embargo, los factores de esfuerzos deben calcularse para aplicaciones particulares. Esos factores dependen de los máximos valores de voltaje y corriente en los dispositivos. Dichos parámetros se pueden obtener a través de simulaciones de la etapa de potencia realizadas en PSIM o u otro similar.

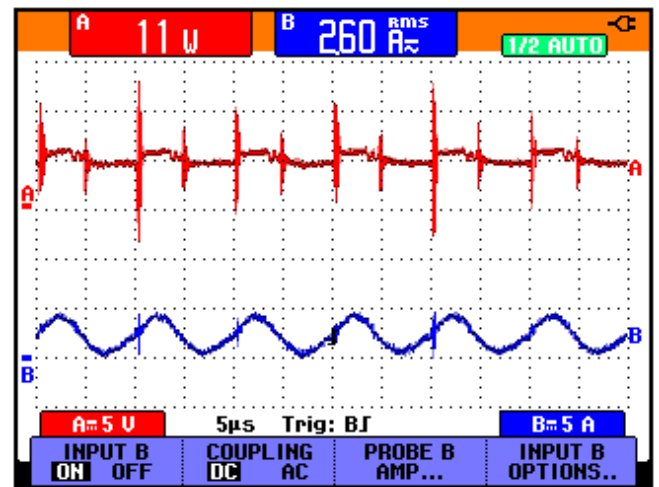


Fig. 14 Voltaje y corriente de salida de la celda de combustible.

A partir de los datos de voltajes y corrientes máximos, y de la potencia disipada, el software RELEX® [7] calcula los factores de esfuerzo en cada componente. Se calculan y grafican los parámetros de confiabilidad tales como la tasa de fallo, el MTBF y sus comportamientos contra temperatura o tiempo. Los cálculos se enfocan exclusivamente a los dispositivos de la etapa de potencia y no incluyen los circuitos de control, impulsores (drivers), ni otros periféricos.

Existen diversas técnicas para optimizar el tiempo de vida útil en los convertidores de potencia [8,9].

Se observa que seleccionando el derating adecuado en el voltaje del capacitor y limitando el ciclo de trabajo, se puede incidir en las pérdidas ya que fueron las condiciones donde se produjo mayor disipación de potencia.

Optimizando el diseño, considerando el manejo térmico, la elección adecuada de disipadores, el derating del capacitor y la distribución de componentes, se puede obtener un mejor desempeño del convertidor.

Tomando en cuenta esas consideraciones, se rediseña el convertidor y se caracterizó de nuevo. En la figura 13 se muestra la repuesta de la ganancia ante las variaciones del ciclo de trabajo.

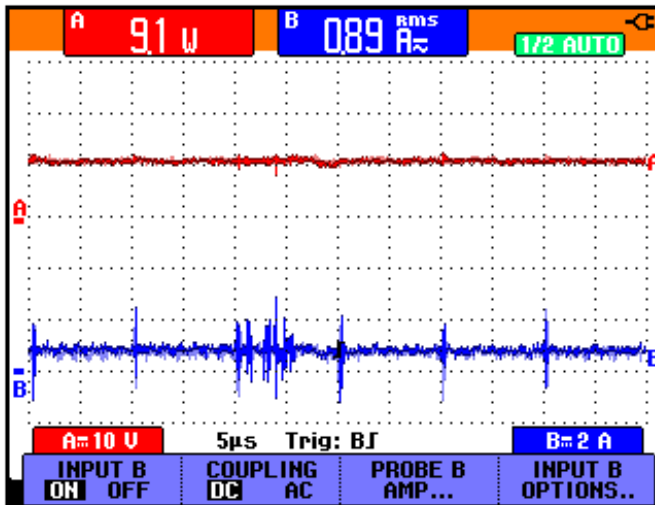


Fig. 15 Voltaje y corriente de salida del convertidor Boost.

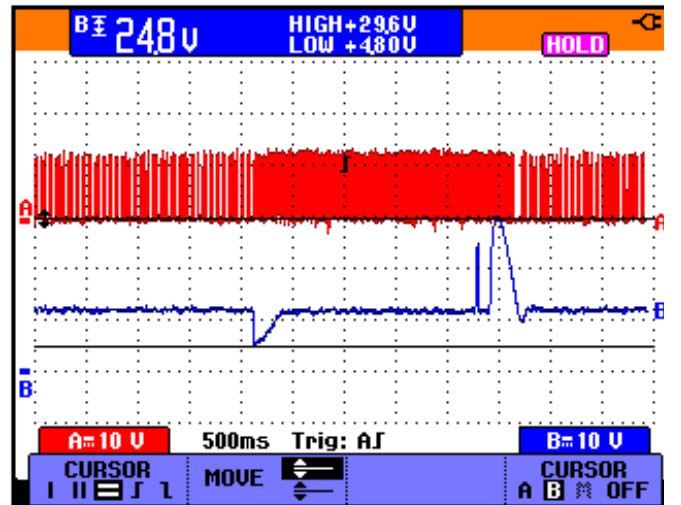


Fig. 17 Medición del pico de Voltaje de salida y ciclo de trabajo del convertidor Boost.

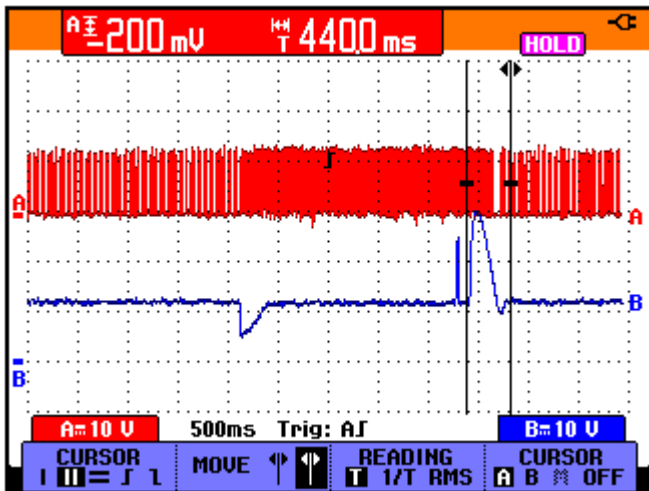


Fig. 16 Medición del tiempo de recuperación del Voltaje de salida y ciclo de trabajo del convertidor Boost.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La figura 14 muestra el voltaje de salida de la celda de combustible alimentando a una carga de un motor de CD. La curva A muestra el voltaje de salida, se observan las perturbaciones (excesivas) en el voltaje de salida. La curva B muestra la corriente de salida, se observa ciertas oscilaciones en la corriente de salida.

La figura 15 muestra el voltaje de salida (curva A) y la corriente de salida (curva B) empleando el convertidor Boost entre la celda de combustible y el motor de CD. Se puede observar que en el voltaje de salida se eliminan las perturbaciones (sobre-impulsos) y en la corriente de salida ya no existe la oscilación, esto debido a la regulación del convertidor Boost.

El ancho de banda de un lazo de control es determinado generalmente por la frecuencia de corte del filtro de salida. Por lo

tanto, las frecuencias altas de operación permiten lograr una rápida respuesta dinámica a los rápidos cambios en la corriente de carga y/o la tensión de entrada.

Las figuras 16 y 17 se presentan la respuesta del convertidor ante variaciones de carga. La curva A (en ambas figuras) muestra el ciclo de trabajo "D" en la señal de control del transistor MOS1. Se puede apreciar el ajuste automático del ciclo de trabajo para compensar la nueva condición de carga. La curva B (ambas figuras) muestra el voltaje de salida ante una perturbación en la carga.

El tiempo de recuperación en el voltaje de salida ante un incremento de carga fue de 300 ms y el tiempo de recuperación ante un decremento de carga fue de 440 ms (Fig. 16 curva B).

El voltaje máximo instantáneo en la salida fue de 4.8 Volts ante un incremento de carga, pero ante el decremento de carga se obtuvo hasta 29.6 Volts lo cual resulta excesivo (Fig. 17 curva B).

VI. CONCLUSIONES

Los convertidores de potencia son empleados como acondicionadores de energía en sistemas basados en fuentes renovables (por ejemplo las celdas de combustible). Este trabajo presentó el diseño y análisis de la confiabilidad de un convertidor elevador utilizado para acondicionar el voltaje de una Celda de combustible de membrana de intercambio protónico. Se analizó el desempeño del convertidor. Se presentaron las pruebas ante condiciones de falla y su impacto en las pérdidas de los componentes. Se requirió optimizar el diseño para mejorar el desempeño del convertidor y la estimación de su vida útil. También se presentaron algunas pruebas de la respuesta del convertidor ante variaciones de carga. Aunque el sistema logra regular ante perturbaciones en el voltaje de entrada y en la variación de carga, su repuesta es un poco deficiente ya que presentó un sobre impulso excesivo en su voltaje de salida (300%) durante unos 200 milisegundos.

REFERENCIAS

- [1] Ned Mohan; Tore M. Undeland; William P. Robbins. *Electrónica de Potencia; Convertidores, aplicaciones y diseño*. 3/Ed. Editorial Mc Graw Hill. México, D.F. (2009).
- [2] E. Escobedo, O. Antonio, Z. Martínez, J. Polanco, F.I. Chan Puc, M.A. Smit, Fuel Cell Stack Design and Construction Implementing a DC/DC Converter. Proc. XI International Hydrogen Congress of the Mexican Hydrogen society.
- [3] RELEX articles, "Calculating Junction Temperature Variations" [online] Available: www.relex.com/resources/art/art_prism3.asp
- [4] RELEX articles, "Thermal Management and Reliability: Heat Sinks" [online] Available: www.relex.com/resources/art/art_heatsinks.asp
- [5] M. Cushing, D. Mortin, T. Stadterman, A. Malhorta. "Comparison of electronics-Reliability Assesment Approaches", IEEE Transactions on reliability Vol. 42, No 4, 1993 December, Page(s):542-546.
- [6] Reliability Prediction of Electronic Equipment, Military Handbook 217-F, 1991
- [7] RELEX reliability studio [online] Available: www.relex.com/
- [8] . F. Chan and H. Calleja, "Design strategy to optimize the reliability of grid-connected PV systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no. 11, pp. 4465-4472, Nov. 2009.
- [9] Mark Levin and Ted Kalal. "Improving product Reliability. Strategies and Implementation". John Wiley and sons. Chichester, England 2003.

fuentes renovables, convertidores de potencia de alta eficiencia y sistemas de generación distribuidos.



Toral Homero recibió el grado de Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con opción en Telecomunicaciones por el CINVESTAV Unidad Guadalajara en 2010 y 2006 respectivamente. En el 2002 recibió el grado de Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de interés incluyen evaluación de desempeño y modelado de sistemas de comunicación. Desde 2010 es Profesor Investigador de la Universidad de Quintana Roo. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Acosta O. Roberto titulado de la Maestría en Energía Solar de la UNAM. Profesor-Investigador Asociado "B", Definitivo de la Universidad de Quintana Roo, adscrito a la División de Ciencias e Ingeniería desde 2002. Sus áreas de interés son la medición de la radiación solar, los sistemas fototérmicos (particularmente los sistemas de calentamiento de agua y de concentración solar) y la evaluación de sistemas fotovoltaicos.



Chan F. Freddy nació el 5 de marzo de 1973 en Mérida Yucatán. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Mérida en 1991. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica y el Doctorado en ciencias en Ingeniería Electrónica en el *cenidet* de Cuernavaca en 1999 y 2008 respectivamente. Desde el 2000 funge como profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de interés son la electrónica de potencia y la conversión de energía. Es miembro del Sistema Nacional

de Investigadores.



Smit Mascha Afra, Investigadora Titular del Centro de Investigación Científica de Yucatán, en la Unidad de Energía Renovable. Obtuvo la Maestría en Física en la Universidad de Amsterdam, Holanda, en 1993. Obtuvo el Doctorado Ciencia de Materiales en la Universidad de Oxford, Inglaterra en 1999. Sus líneas actuales de Investigación son Electroquímica de polímeros electroconductores; supercapacitores; celdas de combustible. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Torres M. Emmanuel, nació el 2 de Septiembre de 1979 en Chetumal Quintana Roo, obtuvo el título de Ingeniero eléctrico por el Instituto Tecnológico de Chetumal, en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México en el 2002. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL, en

la ciudad de Guadalajara Jalisco en el 2006. Del 2002 al 2004 laboró en la Industria de la Construcción en el diseño y supervisión de instalaciones eléctricas en baja y media tensión. En el 2007 participó como profesor por

honorarios en la Universidad de Quintana Roo. A partir del 2008 es profesor Investigador de la Universidad de Quintana Roo en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México. Sus líneas de investigación de interés son: análisis y control del generador de inducción auto-excitado, calidad de energía y ahorro de energía.



Escobedo H. Enrique, Obtuvo la Maestría en Ciencias en Mecatrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en 2006. Obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico-Electricista por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. 1996. Actualmente adscrito al Centro de Investigación Científica de Yucatán, en la Unidad de Energía Renovable. Sus líneas actuales de Investigación son Celdas de combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM).



Sánchez H. Víctor ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba (1996), Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2000) y Dr. En Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL (2011). De 2002 a la fecha es profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de estudio son sistemas de generación de energía eléctrica a partir de

Diseño de un Sistema de Generación Basado en Fuentes Renovables e Hidrógeno

Sánchez H. Víctor, Chan P. Freddy I., Torres M. Emmanuel, Acosta O. Roberto, Ramírez A. Juan M.

System Design Based on Renewable Generation and Hydrogen

Abstract— The possibility of reducing the manufacturing costs of photovoltaic modules and wind generators in small and medium size power offers, on a short-term basis, a competitive and economic solution for electrical loads isolated of the grid. On the other hand, the use of hydrogen technology, as an energy storage vector in generation systems that use renewable energy, will provide a sustainable source supply. However, the design and configuration of these generation systems, based on renewable sources, depend greatly on the local weather conditions.

Usually, this kind of generation system is over-dimensioned with the aim of satisfying the electrical load connected to them, which implies a reduction in the efficiency and an increase in the costs of investment, maintenance and operation. On this way, this work presents the design of a wind-solar-hydrogen generating system based on Particle Swarm Optimization (PSO). The main aim of the design in this study is to reduce the costs of the renewable generating system which will satisfy the requests of electricity.

Keywords— Renewable energy, photovoltaic modules, wind turbines, fuel cell, electrolyzer, PSO.

Resumen— La reducción en los costos de producción de módulos fotovoltaicos y generadores eólicos de pequeña y mediana potencia abre la posibilidad en el corto plazo de ofrecer una solución económicamente competitiva para cargas eléctricas que estén aisladas de la red eléctrica. Por otra parte, el uso de la tecnología del hidrógeno como vector de almacenamiento de energía en sistemas de generación con fuentes renovables permitirá disponer de un suministro de energía de forma sustentable. Sin embargo, el diseño y configuración de estos sistemas de generación basados en fuentes renovables dependen de forma importante de las condiciones climáticas locales. Usualmente esta clase de sistema de generación se sobre-dimensionan con la finalidad de poder satisfacer la carga eléctrica conectada a ellos, lo que implica un reducción de su eficiencia así como también eleva los costos de inversión, mantenimiento y operación. De esta forma, en este artículo se presenta el diseño de un sistema de generación eólico-solar-

hidrógeno basado en un optimizador de enjambre de partículas (PSO por sus siglas en inglés) y en el que se emplea como objetivo de diseño la reducción de los costos del sistema de generación renovable que satisfaga la energía demandada por la carga eléctrica.

Palabras clave— Energía renovable, módulos fotovoltaicos, generadores eólicos, celda de combustible, electrolizador, PSO.

NOMENCLATURA

v	energía eólica
s	energía solar
$elec$	electrolizador
FC	celda de combustible
tk	tanque de almacenamiento de hidrógeno
As	Área de paneles fotovoltaicos
C_{INV}	Costos de inversión
C_{OM}	Costos de operación y mantenimiento
NH	Tiempo de vida del electrolizador y celda de combustible (años)
Np	Tiempo de vida del proyecto (años)
P_{best}	Mejor población
G_{best}	Mejor posición global
G	Irradianza
L_{PSP}	Probabilidad de pérdida del suministro de energía
LPS	Pérdida de suministro de energía
n	número de partículas del PSO
$iter$	iteración actual
C_1, C_2	coeficientes positivos de aceleración
$(R) rand$	variables aleatorias
w	peso inercial
E_{FC}	Energía de la celda de combustible
E_{tk}	Energía en el tanque de almacenamiento de hidrógeno
CI	Condición inicial

Manuscrito recibido el 20 de octubre de 2013. Este trabajo fue respaldado por la Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México.

Dr. Víctor Sánchez H. hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México. E-mail: vsanchez@uqroo.mx.

Dr. Freddy Chan hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México. E-mail: freddy@uqroo.mx.

M.C. Emmanuel Torres hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México. Teléfono (983) 83 50300 Ext.192 Fax (983) 83 50389. E-mail: etorres@uqroo.mx.

MES Roberto Acosta hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

Dr. Juan M. Ramírez hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador CINVESTAV-GDL, Guadaluajara, Jalisco, México.

E-mail: jramirez@gdl.cinvestav.mx.

CF	Condición final
FRC	Factor de recuperación de capital
ir	Tasa de interés anual
PF	Paneles fotovoltaicos
P_{nom}	Potencia nominal
$P_v(t)$	Potencia producida por el generador eólico
$P_s(t)$	Potencia producida por el arreglo de paneles fotovoltaicos
A_{eol}	Área de barrido del generador eólico
C_p	Eficiencia del generador eólico
η_{elec}	Eficiencia del electrolizador
η_{FC}	Eficiencia de la celda de combustible
η_{inv}	Eficiencia del inversor
η_s	Eficiencia de paneles fotovoltaicos
ρ	Densidad del aire

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es vital para el desarrollo de un país ya que permite el acceso a servicios como salud, educación los cuales elevan el nivel de vida de la población. El uso de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica es un esquema no sustentable debido en primer lugar, a que su disponibilidad a largo plazo no está asegurada ya que las reservas de petróleo probadas se están agotando y que como consecuencia elevan los costos de los energéticos, en segundo lugar el efecto negativo en el ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático del planeta. Ante este escenario las fuentes de energías renovables se han convertido en una opción viable para reducir la quema de combustibles fósiles y reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera. La energía eólica y la energía solar son las tecnologías más empleadas a nivel mundial para la generación de energía eléctrica, sin embargo, debido a que su disponibilidad es incierta debido a días con poco viento, días nublados o lluviosos se requiere de un sistema de almacenamiento de energía. En los sistemas con fuentes renovables se ha empleado diferentes tipos de baterías para almacenar la energía y emplearla cuando se requiera, sin embargo, las baterías tienen una densidad de energía baja. Una opción en el almacenamiento de energía son las celdas de combustible las cuales tienen una densidad de potencia mayor a la de las baterías. La tecnología del hidrógeno en conjunto con las celdas de combustible permite almacenar mayor cantidad de energía en una batería además que pueden operar por periodos de tiempo más largos con gran durabilidad incluso en ambientes difíciles. Para lograr almacenar hidrógeno se requiere de equipo adicional al sistema de energía como lo son el electrolizador, la celda de combustible y el tanque de almacenamiento. A pesar de que los costos de los paneles fotovoltaicos y generadores eólicos se han reducido a lo largo de los años aún son costosos comparados con la energía convencional, al precio total se le suma el costo del electrolizador y las celdas de combustible y se incrementa. Debido a esto un punto importante en el diseño de

un sistema de generación de energía híbrido solar-eólico-celda de combustible optimizar cada uno de los equipos que lo integran.

El dimensionamiento óptimo de un sistema de generación híbrido utilizando como medio de almacenamiento el hidrógeno ha tratado de resolverse bajo diferentes técnicas de optimización. Santarelli y Pellegrino [1] utilizaron el método simplex para el dimensionamiento y el análisis de costos de un sistema fotovoltaico-microhidroeléctrico [1]. Nelson et. al [2] presentan una evaluación económica de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico-celda de combustible y presentan un análisis de los costos de electricidad mediante una aplicación computacional [2]. Samaniego et. al. [3] presentó un estudio técnico-económico de un sistema eólico-celda de combustible basado en el software TRNSYS153. Asimismo, existen también algunos trabajos sobre el dimensionamiento de un sistema de generación híbrido basado en métodos heurísticos de optimización. Así es como Lagorse et. al. [4] proponen la solución para un sistema de generación híbrido, optimizado mediante algoritmos genéticos. Dufo-López et. al. [5] presentan una optimización en la estrategia de control para un sistema aislado de generación renovable de energía mediante algoritmos genéticos. Hakimi y Tafreshi [6] utilizan la técnica de optimización PSO para el dimensionamiento óptimo de un sistema de generación. Emplean un equipo de generación eólico-reformador de metano-celda de combustible para el suministro de energía de un poblado de 2000 personas. Sin embargo, no se presenta el perfil de demanda de energía de la carga eléctrica, además de que asumen un suministro constante de hidrógeno desde un reformador de metano.

En el presente trabajo se propone el diseño óptimo de un sistema de generación renovable híbrido eólico-solar con almacenamiento de hidrógeno optimizado mediante la técnica PSO. En la formulación, se incluyen los conceptos de la probabilidad de pérdida del suministro de energía (LPSP por sus siglas en inglés, “loss of power supply probability”) así como los costos anualizados del sistema. El proceso de optimización tiene como objetivo determinar la mejor configuración del sistema de generación renovable de energía que satisfaga el compromiso entre la confiabilidad del suministro de energía (LPSP) y los costos del mismo.

II. DESARROLLO Y CONDICIONES EXPERIMENTALES

A. Optimizador de Enjambre de partículas.

El PSO es una técnica de optimización estocástica, adaptativa, basada en poblaciones, e introducida por Kennedy y Eberhart como una alternativa a los algoritmos genéticos [7 - 9]. PSO es un método de optimización en el que el espacio de búsqueda se puede extender a las N dimensiones del problema a optimizar, y donde cada partícula se identifica como una potencial solución al problema. Cada partícula del PSO es caracterizada por un vector velocidad y un vector posición, ambos en N dimensiones. Las partículas se mueven alrededor del espacio de búsqueda multidimensional hasta que encuentran la solución óptima. El PSO primero produce una población inicial, cuyos miembros representan una posible solución al problema de optimización;

esta tiene su propia posición y velocidad inicial. En cada iteración, cada partícula memoriza y sigue el rastro de su mejor población ($Pbest$), y el vector con la mejor posición global ($Gbest$) para actualizar la velocidad. La mejor población ($Pbest$) es la posición con el mejor valor de aptitud que se ha encontrado. La mejor posición global ($Gbest$), es la mejor posición de entre todas las partículas de la mejor población ($Pbest$). Conociendo estas dos mejores posiciones, las partículas pueden modificar velocidades y posiciones usando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Las variables $rand()$ y $Rand()$, son variables aleatorias uniformemente distribuidas en el rango $[0, 1]$ cuyo objetivo es emular el comportamiento estocástico que exhibe la población de partículas; w , es conocido como el peso inercial, y cumple la función de balancear la búsqueda local y la búsqueda global [10].

$$V_{ij}^{iter+1} = wV_{ij}^{iter} + C_1 * rand() * (pbest - X_i) + C_2 * Rand() * (gbest - X_i) \quad (1)$$

para $i=1,2,\dots, NIND$; $j=1,2,\dots, NVAR$

$$X_{i,j}^{iter+1} = X_{i,j}^{iter} + V_{i,j}^{iter+1} \quad (2)$$

B. Formulación del problema

El principal objetivo del dimensionamiento del sistema híbrido es minimizar los costos totales, los cuales incluyen los costos de inversión, operación y mantenimiento. En este trabajo se utilizó el método de costos anualizados para el cálculo de los costos del sistema híbrido. El costo anualizado del sistema está formado por los costos anualizados de capital y de operación y mantenimiento de cada componente del sistema. En el caso del electrolizador y celda de combustible se tienen que incluir los costos de su reemplazo ya que tienen un tiempo de vida menor al del proyecto. La función objetivo es descrita por la ecuación (3).

$$F^{obj} = \min \left\{ \sum_{m=v,s,elec,FC,tk} (C_{CAC_m} + C_{OM_m}) + \sum_{n=elec,FC} C_{REMP_n} \right\} \quad (3)$$

C. Costos de capital y mantenimiento anualizado

El costo de capital anualizado de cada elemento del sistema se calcula a partir de la ecuación (4). El costo de mantenimiento y operación se considera constante durante el transcurso del tiempo de vida del proyecto, el cual se integra al costo anual total del sistema.

$$C_{CAC} = C_{INV} \cdot FRC(i_r, N_p) = \frac{i_r(1+i_r)^{N_p}}{(1+i_r)^{N_p} - 1} \quad (4)$$

D. Costos de reemplazo anualizado

La celda de combustible y el electrolizador tienen un tiempo de vida menor al tiempo de vida del proyecto, por lo que se debe considerar el costo anualizado de su reemplazo. El costo anualizado del reemplazo del electrolizador y la celda de combustible está descrito por la ecuación (5).

$$C_{CAC} = C_{REMP} \cdot SFF(i_r, N_H) = \frac{i_r}{(1+i_r)^{N_H} - 1} \quad (5)$$

E. Restricción 1: Confiabilidad (LPSP)

LPSP es la probabilidad de que tanto el sistema de generación como de almacenamiento de energía deje sin suministro de energía a la carga por un periodo de tiempo y es un indicador de la confiabilidad del sistema. La técnica de LPSP se utilizó para dimensionar la cantidad de energía equivalente en hidrógeno que debe almacenarse para satisfacer la demanda de la carga. En este trabajo se utiliza un valor de LPSP de 0.0003 que equivale a la pérdida en el suministro de energía de un día en un periodo de 10 años [11, 12]. El valor de LPSP se calcula a partir de la ecuación (6). La condición de LPS(t) se presenta cuando la energía generada y almacenada es insuficiente para satisfacer la demanda en el tiempo t .

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T E_{carga}(t)} \quad (6)$$

$$LPS(t) = E_{carga}(t) - (E_{gen}(t) + E_{tk}(t-1) \cdot \eta_{FC}) \quad (7)$$

$E_{gen}(t)$ es la energía producida por el generador eólico y el arreglo de paneles fotovoltaicos en la hora particular t , y puesto que el análisis se realiza en intervalos de una hora, se considera que la energía es equivalente a la potencia eléctrica de acuerdo con la ecuación (8).

$$E_{gen}(t) = P_{gen}(t) = P_v(t) + P_s(t) \quad (8)$$

F. Restricción 2: Energía almacenada en el tanque de hidrógeno

Esta restricción tiene que ver con que al final de un periodo de 24 h de funcionamiento del sistema híbrido la energía almacenada en el tanque en forma de hidrógeno no sea cero, para con ello permitir que el sistema híbrido pueda repetir otro periodo de operación de 24 h. Esta restricción mantendrá el nivel promedio de energía almacenada como hidrógeno cercano al nivel de energía inicial en el tanque.

G. Descripción de los componentes del sistema de generación renovable

El sistema de generación renovable está compuesto por una turbina eólica y paneles fotovoltaicos como medios de generación de energía, y emplea un sistema de almacenamiento de energía electrolizador-tanque-celda de combustible, como se muestra en la figura 1.

H. Generador eólico

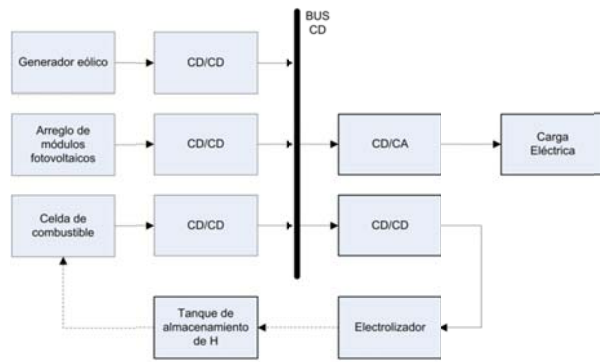


Fig. 1 Diagrama a bloques del sistema híbrido de generación con almacenamiento de hidrógeno.

La generación de energía eólica está en función de la velocidad del viento $v(t)$ (9). Se considera que la potencia nominal del generador eólico es de 4 kW. En donde, V_{co} es la velocidad del viento máxima que soporta el generador eólico antes de que se proteja para no dañarse, V_{ci} velocidad del viento mínima en que el generador eólico comienza a generar energía.

$$\begin{cases} P_v(t) = P_{nom}, & V_{nom} < v(t) < V_{co} \\ P_v(t) = \frac{1}{2} \rho A_v C_p v(t)^3, & V_{ci} < v(t) < V_{nom} \\ P_v(t) = 0, & v(t) < V_{ci}, v(t) > V_{co} \end{cases} \quad (9)$$

I. Módulos fotovoltaicos

La conversión de la energía proveniente de los datos de insolación por el arreglo de paneles fotovoltaicos se obtiene a partir de (10). Se consideran paneles fotovoltaicos de 120 watts pico.

$$P_s(t) = G(t) \cdot A_s \cdot \eta_s \quad (10)$$

J. Celda de combustible

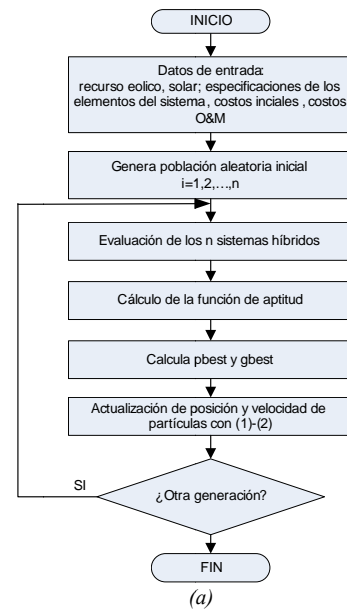
El modelo de la celda de combustible supone que trabaja en un mismo punto de operación con lo que la conversión de la energía química del hidrógeno contenida en los tanques de almacenamiento se reduce a una ganancia como se describe en la ecuación (11).

$$E_{FC}(t) = \eta_{FC} \cdot (E_{carga}(t) / \eta_{inv} - E_{gen}(t)) \quad (11)$$

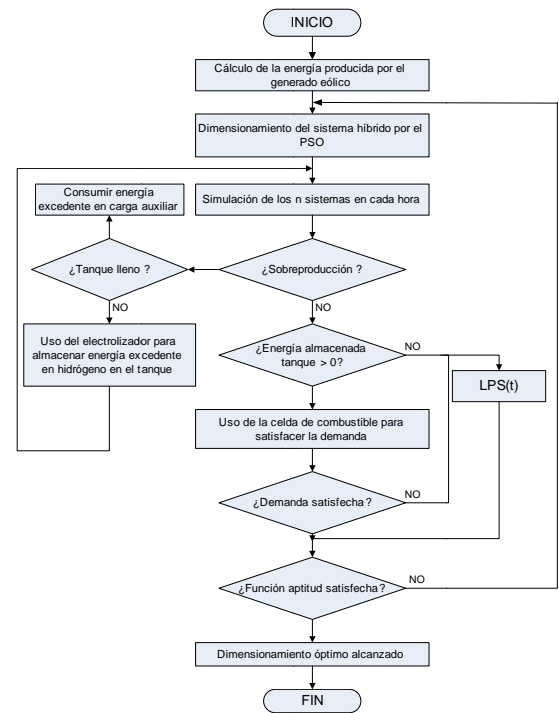
K. Electrolizador

El hidrógeno producido por el electrolizador se considera proporcional a su eficiencia, considerando al igual que en la celda de combustible, que trabaja en un punto de operación constante (12).

$$E_{tk}(t) = \eta_{elec} \cdot (E_{gen}(t) - E_{carga}(t) / \eta_{inv}) \quad (12)$$



(a)



(b)

Fig. 2 Proceso de optimización propuesto. (a) Diagrama de flujo. (b) Diagrama de flujo de la evaluación del sistema.

No se consideran las fugas de hidrógeno que pudiesen existir en el tanque de almacenamiento. En todo momento se debe cumplir la restricción especificada en (13):

$$0 \leq E_{tk}(t) \leq E_{tk\ max} \quad (13)$$

L. Solución propuesta

El diagrama de flujo del proceso de optimización propuesto se muestra en la figura 2(a). Los principales pasos del método de optimización propuesto se describen a continuación.

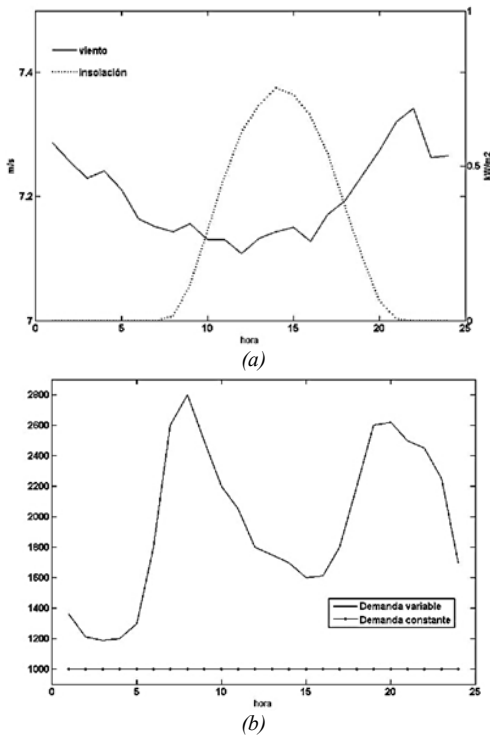


Fig. 3 (a) Datos del recurso eólico y solar disponible en el sitio.
(b) Demanda eléctrica promedio.

M. Datos de entrada y población inicial del PSO

Los datos de entrada para la optimización del sistema híbrido con el PSO corresponden a los costos iniciales, costos de operación y mantenimiento de cada uno de los componentes del sistema. De igual forma, se introducen las eficiencias y tiempo de vida de cada elemento, así como del recurso eólico y solar disponible en el sitio además de la demanda de energía en cada hora por un periodo de 24 h. El PSO determina el número de paneles del arreglo fotovoltaico así como la energía inicial de almacenamiento de hidrógeno necesario en el tanque para satisfacer la demanda de energía de la carga y satisfacer el LPSP deseado. Para ello, el optimizador genera dos vectores con n partículas (en este trabajo se utilizaron $n=50$ partículas) cada uno, donde un vector representa el número de paneles fotovoltaicos y otro corresponde a la energía inicial de almacenamiento de hidrógeno en el tanque, obteniendo así n combinaciones diferentes de módulos fotovoltaicos y energía almacenada inicial de combustible como la energía complementaria. Cada uno de los n sistemas es evaluado durante un periodo de 24 h a partir de la estrategia de operación que muestra el diagrama de flujo de la figura 2(b).

N. Evaluación de la estrategia de operación del sistema de generación híbrido

La estrategia de operación del sistema de generación renovable es una analogía de la operación de un sistema de generación convencional, en que los medios de generación más económicos son utilizados como generación base y los más costosos en los momentos de mayor demanda de energía. En este

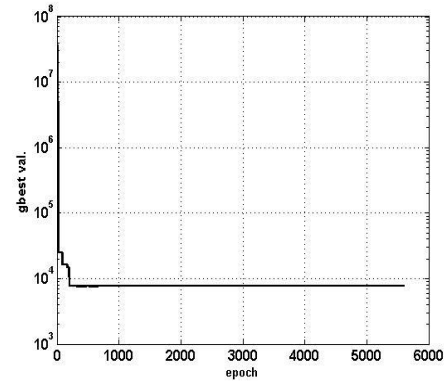


Fig. 4 Convergencia del PSO en el proceso de optimización.

trabajo se utiliza la generación del generador eólico como generación base y la energía de los módulos fotovoltaicos y la celda. En la evaluación de la operación de cada sistema de generación híbrido se consideran los casos de sobreproducción y sobredemanda, los cuales se describen a continuación

O. Sobreproducción

En este caso, la energía generada por el generador eólico y los módulos fotovoltaicos es mayor a la energía demandada por la carga, por lo que la energía excedente es enviada al electrolizador para almacenarla en el tanque como hidrógeno. La ecuación (14) describe la energía equivalente almacenada en el tanque hidrógeno.

$$E_t(t) = E_t(t-1) + (E_{gen}(t) - E_{carga}(t)) \cdot \eta_{elec} \quad (14)$$

P. Sobredemanda

En este caso la energía demandada es mayor a la energía generada por el generador eólico y el arreglo de módulos fotovoltaicos, por lo que la diferencia de energía debe ser suministrada por la celda de combustible. La celda de energía recupera la energía equivalente en hidrógeno almacenada en el tanque produciendo una disminución en la energía almacenada como lo describe la ecuación (15). Cuando la energía generada como la almacenada por el sistema híbrido no satisface la demanda entonces existe la pérdida de suministro de energía (LPS(t)) para la hora particular t y este parámetro se calcula con base en la ecuación (6).

$$E_t(t) = E_{carga}(t) - (E_{gen}(t) + E_t(t-1)) / \eta_{FC} \quad (15)$$

Q. Función de aptitud

El proceso de optimización del PSO debe considerar las restricciones descritas en E y F . Para ello se han propuesto diferentes técnicas para el manejo de restricciones en algoritmos evolutivos en la literatura especializada [13]. La técnica seleccionada en este trabajo para el manejo de restricciones consiste en penalizar la función objetivo. La función de aptitud

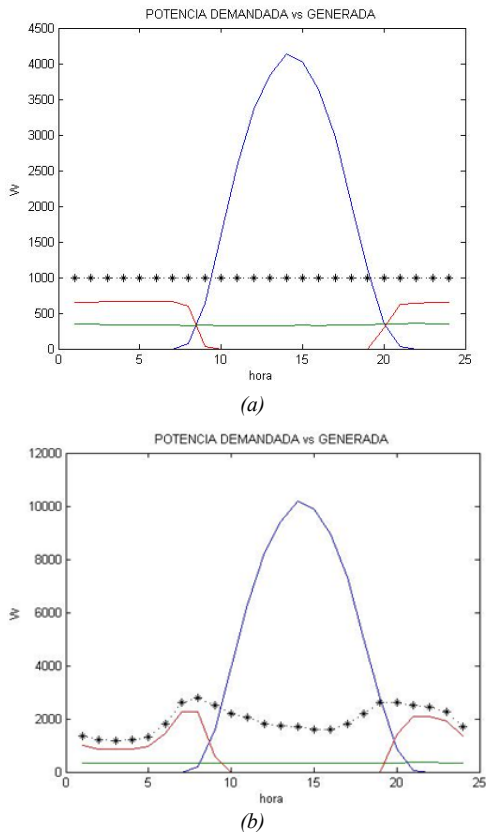


Fig. 5 (a) Energía producida por el generador eólico, arreglo de módulos fotovoltaicos y celda de combustible con demanda constante. (b) demanda variable.

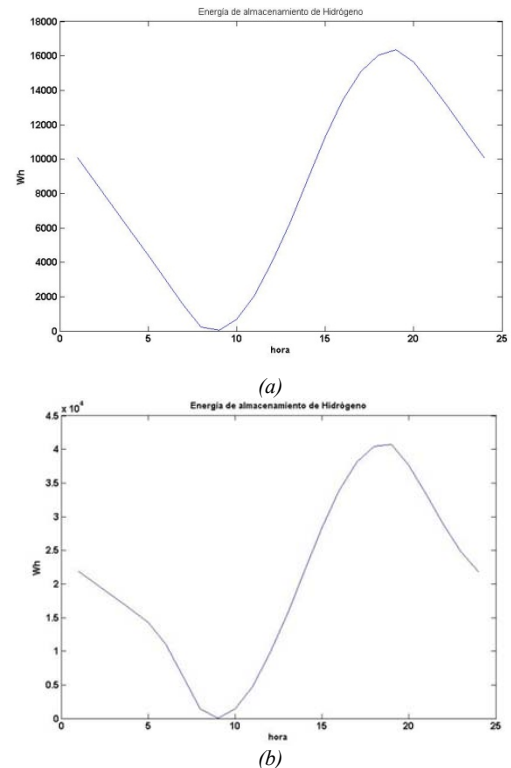


Fig. 6 (a) Energía equivalente de hidrógeno en el tanque de almacenamiento para el caso de demanda constante de 1 kW. (b) Demanda variable.

TABLA I
CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO

EJEMPLO	No. Generadores eólicos	No. Paneles fotovoltaicos	Energía inicial en tanque de H	Costos anualizados totales (US)
Demanda constante	1	46	10.08 kW	\$4358.87
Demanda variable	1	113	23.95 kW	\$6070.84

está formada por la función objetivo más los términos que penalizan a las partículas que no la satisfacen y está expresada por la ecuación (16).

$$F^{opt} = F^{obj} + abs \left\{ \sum_{i=1}^n (K_1(LPSP_{obj} - LPSP_n) + K_2(E_{tkCI_n} - E_{tkCF_n})) \right\} \quad (16)$$

En cada iteración del PSO, cada uno de los sistemas formados con las n partículas es evaluado de modo de satisfacer el LPSP deseado y minimizando los costos del sistema. El PSO calcula la siguiente posición y velocidad de cada partícula hasta encontrar el mínimo global del problema de optimización.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan dos ejemplos de dimensionamiento con el método de optimización propuesto. El primer ejemplo considera una demanda constante de 1 kW y el segundo considera una demanda de energía variable. La figura 3(a) muestra los datos de insolación y velocidad de viento en un modelo de 24 h promedio anual correspondiente a la ciudad de Zacatecas (latitud: 22°46', longitud: 102°38'). El perfil de la demanda eléctrica fue tomado

del trabajo presentado por Kellog et. al y se muestra en la figura 3(b) [14]. Se asume que tanto la generación como la demanda de energía se mantienen constantes en cada intervalo de una hora.

Los resultados del proceso de optimización por PSO determinan que la óptima configuración del sistema híbrido. La figura 4 exhibe el desempeño del PSO en la búsqueda de la configuración óptima del sistema híbrido para el ejemplo de demanda variable.

La figura 5 muestra los resultados del sistema híbrido óptimo que cumple con satisfacer la energía demandada al costo más bajo. La figura 5(a) muestra los resultados para el ejemplo de la demanda constante de 1 kW y en la figura 5(b) para la demanda variable. Los puntos marcados con asteriscos (*) muestran la demanda de energía de la carga y la línea continua la energía entregada por el sistema híbrido. Se observa que las configuraciones óptimas del sistema híbrido satisfacen durante las 24 h la demanda para ambos ejemplos.

Los resultados de la configuración y costos totales anualizados se muestran en la tabla I.

La energía almacenada en el tanque para los casos de demanda constante y variable se muestra en las figuras 6 (a) y (b). En ambos casos se observa que los sistemas mantienen en promedio el valor inicial de la energía contenida en el tanque de almacenamiento y que durante el periodo de tiempo analizado la energía en el tanque es mayor a cero.

El código computacional para realizar este trabajo fue implementado en Matlab y ejecutado en una computadora personal con procesador Pentium IV de 3 GHz y 1 GB de memoria RAM.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado el diseño óptimo de un sistema de generación híbrido formulado mediante un problema de optimización resuelto mediante PSO. El resultado del proceso de optimización ha sido la mejor configuración del sistema que satisface el compromiso confiabilidad en el suministro de energía-costos del sistema de generación de energía. Los resultados de la simulación del funcionamiento del sistema indican que la baja eficiencia del electrolizador y la celda de combustible ocasionan la necesidad de una alta capacidad de almacenamiento de energía en hidrógeno con respecto a la carga, además de una mayor capacidad de generación de energía. Sin embargo, el uso del hidrógeno como medio de almacenamiento de energía tiene un impacto ambiental importante lo cual permite disponer de un sistema de generación de energía sostenible. El desarrollo de nuevos materiales para el uso en electrolizadores y celdas de combustible que los hagan más eficiente impactará de forma importante en la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía y el desempeño completo del sistema.

RECONOCIMIENTOS

Víctor Sánchez agradece al Programa de mejora del profesorado (PROMEP) por su apoyo en la realización de este trabajo bajo el convenio UQROO-EXB-072.

REFERENCIAS

- [1] M. Santarelli, D. Pellegrino, *Mathematical optimization of a RES-H2 plant using a black box algorithm*, *Renewable Energy* 30(2005) 493.
- [2] D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang, *Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems*, *Renewable Energy* 31(2006) 1641.
- [3] J. Samaniego, F. Alija, S. Sanz, C. Balmaceda, F. Frechoso, *Economic and technical análisis of a Irbid wind fuel cell energy system*, *Renewable Energy* 33 (2008) 839.
- [4] J. Lagorse, D. Paire, A. Miraoui, *Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery*, *Renewable Energy* 34 (2009) 683.
- [5] J.L. Bernal-Agustin and R. Dufo-Lopez, *Efficient design of hybrid renewable energy systems using evolutionary algorithms*, *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 479.
- [6] S.M. Hakimi and S.M. Moghaddas-Tafreshi, *Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system via particle swarm optimization for Kahnouj area in south-east of Iran*, *Renewable Energy* 34 (2009) 1855.
- [7] R.C. Eberhart and J. Kennedy, *A new optimizer using particle swarm theory*, Proc. Sixth International Sysposium on Micro Machine and Human Science 1995 pp. 39.
- [8] J. Kennedy and R.C. Eberhart, *Particle swarm optimization*, Proc. IEEE International conference on neural networks 1995, pp. 1942.
- [9] J. Kennedy and R.C. Eberhart, *Swarm Intelligence*, Morgan KauffmanUK 2001.
- [10] X.H. Yuhui and R.C. Eberhart, *Recent advances in particle swarm*, *IEEE proceedings of 2004 congress on evolutionary computation* 1 (2004) 90.
- [11] B.S. Borowy and Z.M. Salameh, *Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a Wind/PV hybrid system*, *IEEE Transaction on Energy Conversion* 11 No. 2 (1996) 367.
- [12] I. Abouzahr and R. Ramakumar, *Loss of power supply probability of stand-alone photovoltaic systems: a closed form solution approach*, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 6 No. 1 (1991) 1.
- [13] Z. Michalewicz, N. Attia, A. V. Sebald and L. Fogel, *Evolutionary optimization of constrained problems*, Proc. 3rd Annu. Conf. Evolutionary Programming (1994), 98.
- [14] W.D. Kellog, M.H. Nehrir, G. Venkatamanan, V. Gerez, *Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid Wind/PV systems*, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 13 No. 1 (1998) 70.



E. Torres nació el 2 de Septiembre de 1979 en Chetumal Quintana Roo, obtuvo el título de Ingeniero eléctrico por el Instituto Tecnológico de Chetumal, en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México en el 2002. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería.

Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL, en la ciudad de Guadalajara Jalisco en el 2006. Del 2002 al 2004 laboró en la Industria de la Construcción en el diseño y supervisión de instalaciones eléctricas en baja y media tensión. En el 2007 participó como profesor por honorarios en la Universidad de Quintana Roo. A partir del 2008 es profesor Investigador de la Universidad de Quintana Roo en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México. Sus líneas de investigación de interés son: análisis y control del generador de inducción auto-excitado, calidad de energía y ahorro de energía.



F. Chan nació el 5 de marzo de 1973 en Mérida Yucatán. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Mérida en 1991. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica y el Doctorado en ciencias en Ingeniería Electrónica en el *cenidet* de Cuernavaca en 1999 y 2008 respectivamente. Desde el 2000 funge como profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de interés son la electrónica de potencia y la conversión de energía. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Acosta O. Roberto titulado de la Maestría en Energía Solar de la UNAM. Profesor-Investigador Asociado "B", Definitivo de la Universidad de Quintana Roo, adscrito a la División de Ciencias e Ingeniería desde 2002. Sus áreas de interés son la medición de la radiación solar, los sistemas fototérmicos (particularmente los sistemas de calentamiento de agua y de concentración solar) y la evaluación de sistemas fotovoltaicos.



Juan M. Ramírez nació el 20 de Febrero de 1961 en Salamanca de Guanajuato en 1984. El grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica lo obtuvo por la Universidad Nacional Autónoma de México en 1987. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1992. Ha sido Profesor Investigador en la Universidad de Guanajuato, entre 1987-1995. En la Universidad de Guadalajara, entre 1995-1996 y en la Universidad Autónoma de Nuevo León, entre 1997-1998. Desde Febrero de 1999 a la fecha es Investigador del CINVESTAV Unidad Guadalajara en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Dr. Ramírez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II Ramírez A. Sus áreas de interés son los dispositivos FACTS y el control de los Sistemas Eléctricos de Potencia.



Víctor Sánchez es ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba (1996), Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2000) y Dr. en Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL (2011). De 2002 a la fecha es profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de estudio son sistemas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, convertidores de potencia de alta eficiencia y sistemas de generación distribuidos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Técnicas de Inteligencia Artificial para el Control de Estabilidad de un Manipulador Paralelo 3RRR

Villaseñor A. Marcos, Álvarez T. Erik, Ramírez A. Agustín, Orozco M. Horacio, Padilla M. José A.

Artificial Intelligence Techniques for a Parallel Planar Manipulator 3RRR Control.

Abstract—This paper describes a comparison of the design and implementation of a neuronal control and a fuzzy control. Both controls were designed in order to get a better stability performance for a 3RRR (Revolute-Revolute-Revolute) planar parallel manipulator. The manipulator has as a main feature that uses three servomotors, each one with a different capacity; it means that every servomotor has a different torque limit. The performance of the manipulator depends on both, the joints configuration and the parameter values used for the proportional integral control (PI) in each servomotor. The proposed controls have the objective of dynamically changing the response of the servomotor based on three parameters. These are the position proportional gain (PG), the velocity proportional gain (VG) and the velocity integral gain (VI). In the original design of the manipulator, constant values were used for each parameter. The main purpose of this paper is to study the establishment of these parameters by developing a neural network control and a fuzzy control to optimize the dynamic response of the manipulator.

Keywords— Inverse model controller, Neuronal network, Fuzzy control, Parallel manipulator, Servomotor.

Resumen— Este artículo describe la comparación entre el desarrollo de un control neuronal y el de un control difuso diseñados

Este trabajo fue respaldado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato.

Marcos Villaseñor Aguilar. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Celaya en Junio del 2011 (email: marcosjesus1982@hotmail.com).

Erik de Jesús Álvarez Torres. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Celaya en Abril del 2010 (email: erik_alto@hotmail.com).

Agustín Ramírez Agundis. En 2008 obtuvo el grado de Doctor en Diseño de Sistemas Digitales por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Es profesor-investigador del Instituto Tecnológico de Celaya, su trabajo se orienta a la instrumentación de máquinas industriales y sistemas hardware basados en redes neuronales (email: agustin.ramirez@itcelaya.edu.mx).

Horacio Orozco Mendoza. Posee el título de Ing. Industrial Mecánico por el Instituto Tecnológico de Celaya, el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecánica por el ITESM y el grado de Doctor en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Texas en el año 2000. Desde 1983 es Profesor-investigador de tiempo completo del Dpto. de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya. Su principal área de interés es la de Sistemas Dinámicos y Control (email: horacio.orozco@itcelaya.edu.mx).

José Alfredo Padilla Medina. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica en 1992 por el Instituto Tecnológico de Celaya y en 2003 el grado de Doctor en Ciencias (Óptica) por el Centro de Investigaciones en Óptica. Ha realizado cerca de 20 publicaciones en revistas indizadas y en congresos internacionales. Desde el 2002 es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Celaya donde desarrolla investigaciones en las áreas de controladores difusos, sistemas de visión y teoría ROC (email: alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx).

ambos para mejorar el desempeño de la estabilidad de un manipulador planar paralelo 3RRR (Revolute-Revolute-Revolute). El manipulador tiene como característica que utiliza tres servomotores de diferente capacidad; es decir, cada servomotor posee un límite diferente en cuanto a su capacidad para aplicar el par requerido por la articulación a la que se encuentra acoplado. El desempeño del manipulador depende tanto de la configuración de las articulaciones como de los parámetros que utiliza el control proporcional integral (PI) de cada servomotor. Los sistemas de control que se comparan tienen la finalidad de modificar la respuesta de los servomotores con base en tres parámetros que son: la ganancia proporcional de posición (PG), la ganancia proporcional de velocidad (VG) y la ganancia integral de velocidad (VI). En el diseño original del manipulador se establecieron valores constantes para cada uno de los parámetros. El propósito de estudio de este trabajo es el establecimiento de estos parámetros mediante el desarrollo de una red neuronal y un control difuso para optimizar la respuesta dinámica del manipulador.

Palabras clave— Control por modelo inverso, manipulador paralelo, servomotor, red neuronal, control difuso.

I. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya (ITC) diseñó un manipulador paralelo con propósito de uso académico y experimental. Su control se realiza para seguir trayectorias establecidas como secuencias de posiciones a través de LabVIEW. Las ganancias de los servomotores se ajustaron originalmente a prueba y error. Por lo tanto, el manipulador no opera de manera óptima ya que el control supone una inercia constante del sistema, condición que en la práctica es inviable por las características físicas del manipulador. Por lo anterior, los valores de las ganancias o parámetros de velocidad que se tienen en el controlador de cada servomotor son inadecuados para ciertas trayectorias que implican mayores esfuerzos, lo que impide programar tareas más exigentes.

Asimismo, han sido desarrollados dos sistemas basados en técnicas de inteligencia artificial, uno por medio de una red neuronal y el otro con base en un control difuso, con el objetivo de optimizar dinámicamente los parámetros de control del manipulador con el propósito de obtener la mayor velocidad, sin sobrecarga de sus servomotores, con pesos variables aplicados sobre el elemento efector del manipulador. Este trabajo tiene como propósito efectuar una comparación entre estos dos sistemas.



Fig. 1 Manipulador paralelo desarrollado en el ITC.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DEL ORDENADOR

Procesador	Intel Pentium IV
Memoria RAM	256 MB DDR 1
Disco Duro	20 GB
Sistema operativo	Windows NT
Plataformas de programación	Labview 7.1 Matlab R13

II. GENERALIDADES DEL MANIPULADOR Y DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DESARROLLADOS

A. Manipulador paralelo 3RRR

Un manipulador paralelo 3RRR consiste en una plataforma móvil y una base fija, conectada a tres cadenas cinemáticas, cada una con tres juntas de revolución (Figura 1). Se subraya la primera R debido a que las juntas activas, para cada cadena, son las que están conectadas a la plataforma fija, las demás son pasivas. Cada junta de par inferior de revolución permite un grado de libertad. Dos eslabones conectados con una junta de revolución forman una junta de pasador rotatoria con cierre de forma. El movimiento de los mecanismos paralelos puede ser restringido por tres diferentes factores: existencia de limitaciones mecánicas sobre las juntas pasivas, interferencia entre eslabones y limitaciones debido a los actuadores. El manipulador paralelo construido en el ITC con propósito experimental para casos de estudio en robótica es de este tipo [1]. El modelo dinámico para esta clase de manipuladores se puede revisar en [2].

B. Elementos del sistema de control del manipulador

Existen diferentes tipos de controles para manipuladores, siendo los de posición y velocidad los más usuales [3][4][5]. Este manipulador emplea un control cinemático de posición que lleva el centro de la plataforma móvil a las posiciones que le sean especificadas. El ordenador empleado para controlar el manipulador tiene las características mostradas en la Tabla I. La tarea del sistema de control consiste en situar el centro de la plataforma móvil en posiciones específicas, es decir, un posicionamiento punto a punto. El sistema de control del manipulador se muestra en la Figura 2, en la que se ilustran los bloques de los componentes que se emplean para controlar los movimientos.

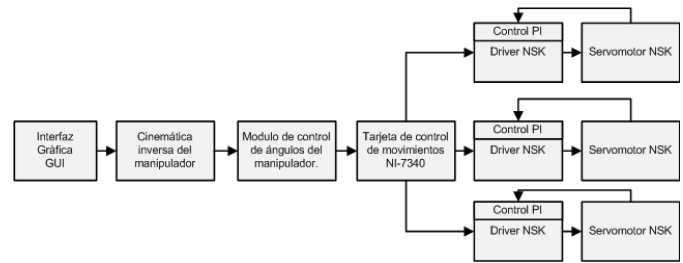


Fig. 2 Esquema del sistema de control integrado.

La interface Gráfica GUI, desarrollada en LabView, es el medio a través del cual se le proporcionan las coordenadas con las cuales se desea posicionar el elemento efector $[X, Y, \phi]$.

Se tiene un bloque, el cual también es un VI de Labview, que se utiliza para evaluar la cinemática inversa del manipulador y así realizar los cálculos de los ángulos de las coordenadas articulares.

Además se tiene un módulo que permite determinar el ángulo que debe girar cada uno de los servomotores del manipulador. Los ángulos obtenidos para cada eje se le proporcionan a la tarjeta de control de movimientos del manipulador.

La tarjeta de control de movimiento NI-7340 se utiliza para realizar el control de los servomotores en tiempo real, debido a su facilidad para el control de múltiples ejes simultáneos.

El driver del servomotor NSK recibe el ángulo en grados que debe girar el motor, calcula el número de pulsos que se deben aplicar al servomotor para obtener ese giro y establece el perfil trapezoidal de velocidad.

El servomotor realiza el posicionamiento y giro del elemento efector de acuerdo a la cantidad de pulsos que se le envíen al driver y la señal de control para el sentido del giro.

C. Parámetros del manipulador

Los servomotores del manipulador operan en base a una serie de parámetros. El uso de esos parámetros permite controlar la respuesta de los servomotores. Los tres parámetros son: la ganancia proporcional de posición (PG), la ganancia proporcional de velocidad (VG) y la ganancia integral de velocidad (VI). Adicionalmente, se utiliza el parámetro de la banda muerta (DBP), el cual permite disminuir las oscilaciones presentes en el servomotor cuando se encuentra estático [6].

Una de las principales características del manipulador es que utiliza tres servomotores de diferentes tamaños y especificaciones. Los tres servomotores son diferentes debido a que el diseño del manipulador está orientado hacia su uso académico y de investigación, empleando las características dinámicas del manipulador. El servomotor A (M-YS3040FN501) es el más pequeño de los tres, en cuanto a par aplicado, con capacidad de hasta 40 N-m; el servomotor B (M-YS4080FN001) es el mediano y proporciona un par de hasta 80 N-m y el servomotor C (M-YS5120FN001) es el más grande, con capacidad de hasta 120 N-m.

Los parámetros que se presentan en la Tabla II fueron los que se establecieron en el diseño y puesta en operación del manipulador. Estos parámetros se fijaron con base en prueba y error del funcionamiento del manipulador siguiendo un procedimiento propuesto por el fabricante NSK.

TABLA II
PARÁMETROS AJUSTADOS MANUALMENTE

Ganancia	Servomotor A	Servomotor B	Servomotor C
PG	0.1	0.1	0.1
VG	1.0	4.0	4.0
VI	1.5	5.0	8.0

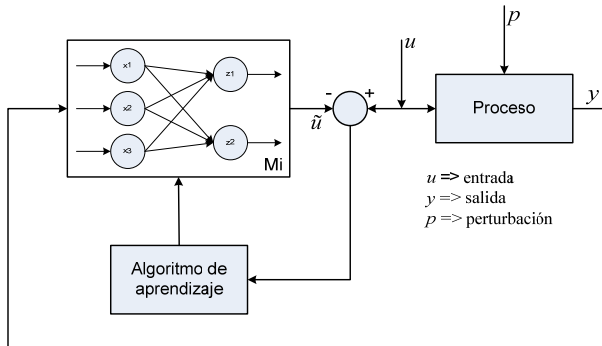


Fig. 3 Esquema del control neuronal por modelo inverso, etapa de entrenamiento.

D. Control por modelo inverso y red neuronal

La técnica del modelo inverso, cuando se utiliza y se ajusta apropiadamente, es una base muy poderosa para el diseño de sistemas de control eficaces [7][8].

El desarrollo de controles empleando redes neuronales es comúnmente utilizado para controlar procesos dinámicos y cambiantes debido a su ventaja en cuanto a que no es necesario conocer el modelo matemático de la planta a controlar, en otras palabras, como resultado de un proceso de aprendizaje establece un mapeo entre los datos de entrada y los de salida.

El control neuronal por modelo inverso se caracteriza porque la red neuronal artificial (RNA) se utiliza como modelo inverso del proceso a controlar. Es decir, se manejan las salidas del proceso como entradas de la RNA y las entradas del proceso son las salidas de la RNA. Usando el esquema neuronal por modelo inverso se desarrollan controles que proporcionan una respuesta adecuada para el proceso a controlar. De este modo, para el entrenamiento de la RNA, los vectores están formados por las salidas del proceso como entradas de la RNA, y las entradas del proceso como salidas de la RNA.

En la Figura 3 se muestra el esquema de control neuronal por modelo inverso durante la etapa de entrenamiento. Se puede observar que la salida del proceso y es empleada como entrada de la RNA. La entrada u del proceso es comparada con la salida \tilde{u} de la RNA. Durante el entrenamiento, con el error obtenido por la resta de u y \tilde{u} se realiza el ajuste de los pesos de todas las capas de la RNA mediante el empleo del algoritmo de aprendizaje. El ajuste de los pesos se realiza de manera iterativa con todo el conjunto de entrenamiento para que el control tenga una adecuada respuesta. El aprendizaje de la red depende del

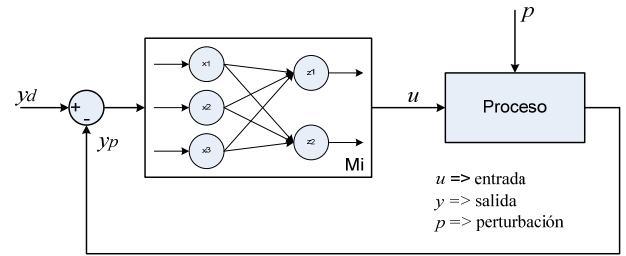


Fig. 4 Esquema del control neuronal por modelo inverso, etapa de recall.

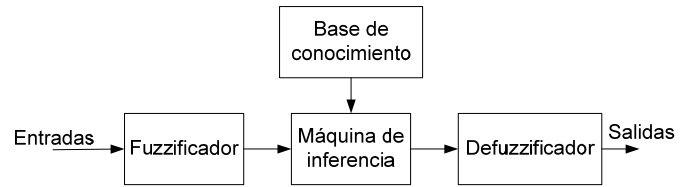


Fig. 5 Elementos de un control difuso.

conjunto de entrenamiento, entre mayor sea el conjunto de entrenamiento, la red tendrá una mejor respuesta en cuanto que su comportamiento se asemeja en mayor medida al modelo inverso del proceso.

En la Figura 4 se muestra el control neuronal por modelo inverso en la etapa de recall. El control es el obtenido después de completar el entrenamiento de la RNA. El error que se genera al realizar la comparación de la salida deseada y_d y la salida real y_p es utilizado como la entrada de la RNA. Con la diferencia de y_d y y_p , la RNA proporciona su salida u . Con el valor de u , el control empieza a corregir el error del proceso ocasionado por las perturbaciones y con ello se obtendrá una mejor respuesta.

E. Control difuso

El control difuso consta de una serie de etapas, como se muestra en la Figura 5. La primera etapa es la fuzzificación que se encarga de la transformación de las variables de entrada, entregadas por el proceso, en variables lingüísticas. Se tiene también un conjunto de reglas difusas que encierran el conocimiento necesario para la solución del problema de control. Otro elemento que integra el control difuso es la máquina de inferencia que realiza la tarea de calcular las variables de salida a partir de las variables de entrada, mediante las reglas y la inferencia difusa, entregando conjuntos difusos de salida. La última parte del control es la defuzzificación de manera que el resultado de la inferencia difusa sea traducido de un concepto lingüístico a una salida física.

El método de defuzzificación empleado para el desarrollo del control difuso fue el del Centroide de Área (CoA), que emplea la ecuación 1.

$$y_d = \frac{\int_{y_{min}}^{y_{max}} y f(y) dy}{\int_{y_{min}}^{y_{max}} f(y) dy} \quad (1)$$

donde y_d es el valor defuzzificado, y es el valor de la variable lingüística, y_{min} y y_{max} definen el rango de la variable lingüística.

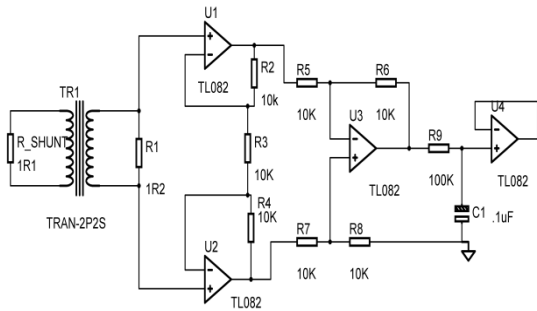


Fig. 6 Circuito para medir la corriente del servomotor.

III. DESARROLLO Y RESULTADOS

A. Desarrollo de la instrumentación

Uno de los elementos fundamentales para el desarrollo de la red neuronal es el uso del sistema de adquisición y procesamiento de señales.

Para la medición de la corriente, se colocó un resistor shunt de 1Ω en una de las fases del servomotor más pequeño debido a que es el que tiene mayor demanda y exigencia. La conexión del resistor permite medir la corriente de la fase del servomotor por medio de la caída de voltaje respectiva.

Para obtener una adecuada medición del voltaje en el resistor shunt fue necesario realizar un acondicionamiento mediante un amplificador de instrumentación. Además, se le agregó a la salida del amplificador de instrumentación un filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 1kHz, para suprimir el ruido de alta frecuencia [9][10]. También se utilizó una etapa de aislamiento entre el resistor shunt y el amplificador de instrumentación para protección de éste.

En la Figura 6 se muestra el diagrama esquemático del circuito desarrollado para medir la corriente en una de las fases del servomotor.

El acelerómetro empleado para realizar la medición de las vibraciones es el MMA7361L de Freescale, el cual tiene como característica principal que proporciona las vibraciones en los tres ejes coordenados. Contiene una terminal que permite elegir entre dos sensibilidades, siendo éstas de 250 mV/g y 800 mV/g (ésta por omisión). Para obtener el conjunto de entrenamiento de las vibraciones, se utilizó la salida del eje z del acelerómetro (Figura 7), debido a que es en este eje donde se presenta la mayor sensibilidad a las vibraciones que ocurren por el desplazamiento del manipulador. Este hecho se constató por medio de una serie de pruebas, en las que se monitorearon las señales correspondientes a los tres ejes, observándose que la del eje z es la más significativa, ya que, por la orientación del acelerómetro, es el eje que coincide con el del movimiento de la articulación.

El acelerómetro se ubicó en el primer eslabón del manipulador (como se muestra en la Figura 8), el cual está conectado directamente al eje del servomotor. Se determinó la colocación del acelerómetro en este punto del manipulador para tener mayor sensibilidad y detectar las pequeñas vibraciones producidas por el sobre esfuerzo del actuador en las posiciones en las que se presenta.

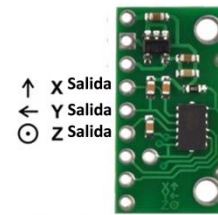


Fig. 7 Orientación de los ejes del acelerómetro.

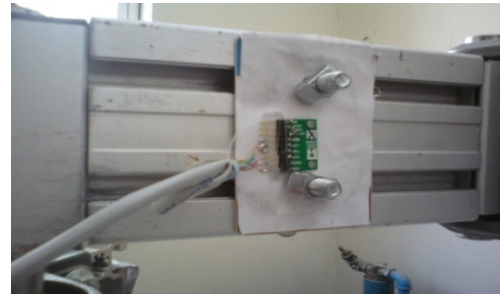


Fig. 8 Montaje del acelerómetro en el manipulador.

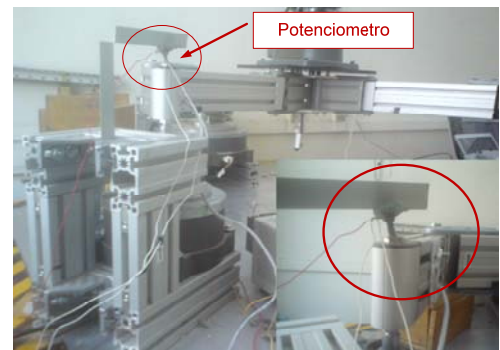


Fig. 9 Montaje del potenciómetro en el manipulador.

Se desarrolló la instrumentación para conocer el ángulo de giro del servomotor A en el transcurso de un movimiento, con el se logró conocer el comportamiento del manipulador en cuanto a la magnitud de las vibraciones y la corriente en función de la posición.

Para conocer el ángulo de giro del servomotor A, se utilizó un potenciómetro lineal de $1K\Omega$ acoplado sobre una de las juntas activas del manipulador, tal como se muestra en la Figura 9.

En la Figura 10 se observan las gráficas correspondientes al ángulo de giro, vibración y corriente del servomotor en el transcurso del movimiento entre dos puntos.

La mayor vibración ocurre en las zonas de aceleración y desaceleración. Esto se corrobora con la mayor demanda de corriente y con el incremento de la vibración al acelerar y al desacelerar en el transcurso del movimiento del servomotor de un punto a otro. Además, se observa que la vibración y la corriente tienen un comportamiento similar en sus formas de onda.

Para poder leer y almacenar los datos de las diferentes variables se utilizó el módulo de adquisición de datos DAQmx USB 6009 (National Instruments). Se creó un instrumento virtual (VI) en LabVIEW, el cual permite realizar la lectura y procesamiento de la corriente, la vibración y la posición [11].

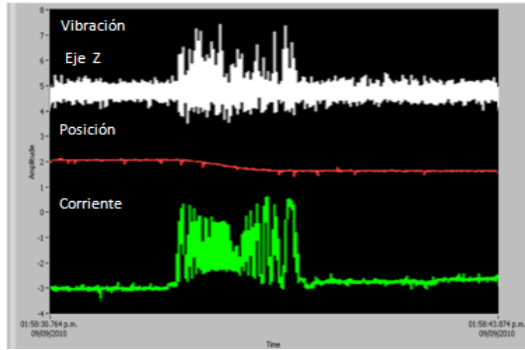


Fig. 10 Interrelación de vibración, corriente y posición.

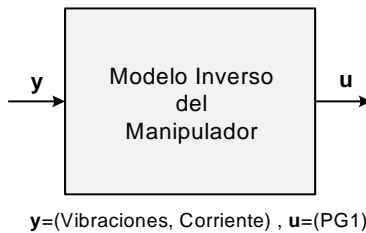


Fig. 11 Modelo inverso propuesto de la RNA.

B. Desarrollo del control por RNA

Se propuso un modelo inverso simplificado del manipulador para observar su comportamiento con respecto al uso de diferentes valores para la ganancia proporcional de posición del servomotor A (PG1), se centró la atención en éste por ser el crítico en cuanto a que por su menor capacidad tiene un mayor nivel de exigencia. En la Figura 11 se muestra el modelo, para el cual las entradas son la corriente y la vibración del servomotor A que conforman el vector y . Como salida se tiene el parámetro PG1 que forma el vector u .

En la Figura 12 se muestra la arquitectura de la RNA utilizada como modelo inverso del manipulador. Como se puede observar, la red consta de dos unidades en la capa de entrada, una capa oculta y una neurona en la capa de salida. Como se verá más adelante, se experimentó con varias cantidades de neuronas en la capa oculta.

Así, la red utilizada es un perceptrón multicapa con una sola capa oculta. El algoritmo de entrenamiento utilizado es el de retropropagación. Se seleccionó como función de activación la sigmoideal, por ser la más adecuada para procesar cambios continuos en señales de entrada bipolares.

Se experimentó con cuatro variantes para la RNA del modelo inverso del manipulador. La diferencia entre ellas es la cantidad de neuronas en la capa oculta, siendo ésta 25, 50, 100 y 300. Para todas ellas se utilizaron como entradas la vibración y la corriente, y como salida el parámetro PG1 del servomotor A. Para el entrenamiento se utilizó una razón de aprendizaje de 0.1 y el método de entrenamiento empleado fue el Levenberg-Marquardt (“trainlm”), que es el que permite la mejor convergencia [12].

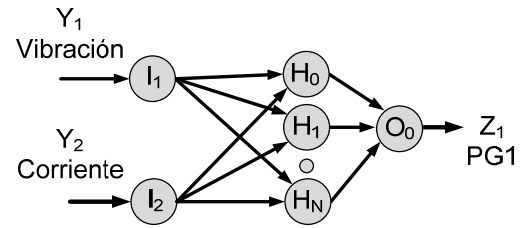


Fig. 12 Arquitectura de la RNA.

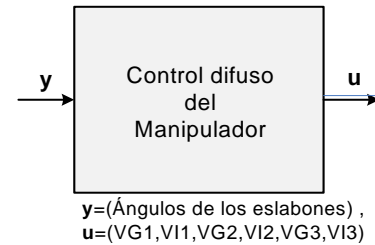


Fig. 13 Modelo del control difuso.

La RNA de 100 neuronas en la capa oculta es la que finalmente se empleó para el desarrollo del control neuronal por modelo inverso. Esta RNA se seleccionó porque tiene la mejor respuesta al entrenamiento, en cuanto a que el error se acerca más rápidamente a la meta propuesta. Otro factor que se consideró para la elección de la RNA es la menor cantidad de neuronas en la capa oculta y el menor tiempo de entrenamiento. La RNA tiene dos unidades de entradas [X_1, X_2], utiliza una capa oculta con cien neuronas [H_1, \dots, H_{100}], y una neurona de salida [Z_1].

C. Desarrollo del control difuso

En la Figura 13 se muestra el control difuso, siendo sus entradas los ángulos de giro de los eslabones, que conforman el vector y . Como salida se tienen los parámetros VG (ganancia proporcional de velocidad) y VI (ganancia integral de velocidad) de los servomotores que forman el vector u .

La estimación de los parámetros del controlador se lleva a cabo por medio de entradas que afectan directamente al comportamiento en el movimiento del manipulador paralelo. Las variables empleadas son: el ángulo existente entre el eslabón motriz y su eslabón adyacente y la medición de la “suavidad” del movimiento mediante la varianza de la aceleración. Estos datos de entrada deben ser fuzzificados, para lo cual se requiere de funciones de membresía que representen los valores lingüísticos de las variables. En la Figura 14 se muestran las funciones triangulares que se utilizaron para este propósito en el sistema difuso [13], la gráfica superior muestra la función de membresía para el ángulo y la gráfica inferior la función de membresía de la varianza de la aceleración.

En la Tabla III se muestra la definición lingüística de las entradas del control difuso.

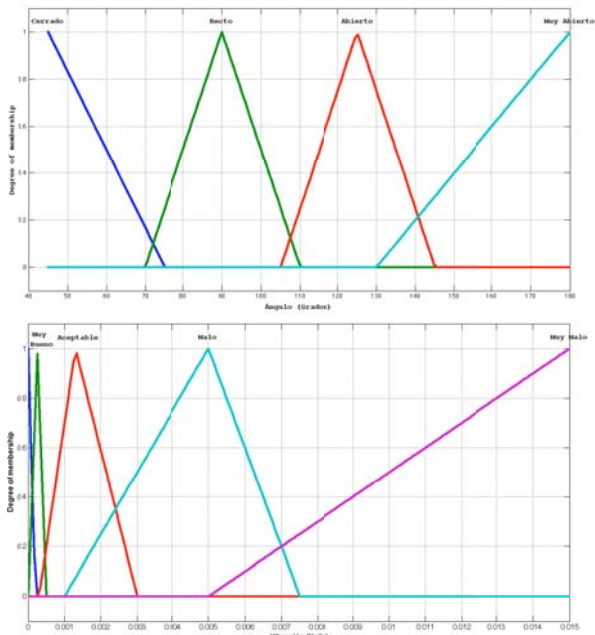


Fig. 14 Variables de entrada.

TABLA III
DEFINICIÓN LINGÜÍSTICA DE LAS ENTRADAS DEL CONTROL DIFUSO

Ángulo (grados)		Vibración (volts)	
Cerrado	45° a 75°	Excelente	0 a 2E-5
Recto	70° a 110°	Muy bueno	1E-5 a 5E-4
Abierto	105° a 135°	Aceptable	3E-4 a 0.003
Muy abierto	130° a 180°	Malo	0.001 a 0.0075
		Muy malo	0.005 a 0.015

TABLA IV
REGLAS DE CONTROL

Varianza	Ángulo			
	Cerrado	Recto	Abierto	Muy abierto
Excelente	VIB/VGB	VIB/VGB	VIR/VGR	VIR/VGR
Muy bueno	VIR/VGR	VIR/VGM	VIM/VGM	VIM/VGM
Aceptable	VIM/VGM	VIM/VGM	VIM/VGA	VIA/VGA
Malo	VIA/VGA	VIA/VGA	VIE/VGE	VIE/VGE
Muy malo	VIE/VGE	VIE/VGE	VIE/VGE	VIE/VGE

Un ángulo cercano a los 90° es el ideal para la aplicación del par del motor que produzca el movimiento en la trayectoria, ángulos cercanos a los 180° son los menos favorables para dicha tarea, ya que el torque motriz de los demás servomotores se verá aplicado sobre el eje del servomotor donde sus eslabones forman un ángulo de 180°.

En el caso de las varianzas de la aceleración, es lógico considerar que una varianza cercana a cero implica que hay un mejor comportamiento en el manipulador paralelo. Por este motivo y con ayuda de las pruebas realizadas con los

TABLA V
VALORES LINGÜÍSTICOS DE LOS PARÁMETROS DE SALIDA

Parámetro VG		Parámetro VI	
VGB	VG Baja	VIB	VI Baja
VGR	VG Regular	VIR	VI Regular
VGM	VG Media	VIM	VI Media
VGA	VG Alta	VIA	VI Alta
VGE	VG Excesiva	VIE	VI Excesiva

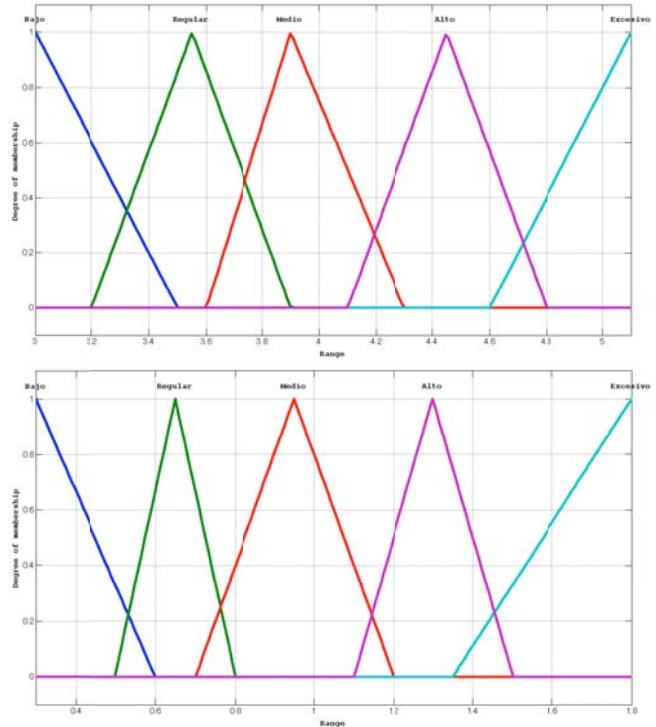


Fig. 15 Funciones de membresía de las salidas para el servomotor A.

servomotores desacoplados y de la prueba del manipulador sin el control de velocidad, se determinó que valores de la varianza por debajo de 2E-5 (las unidades de la varianza son volts por las características de los acelerómetros) serían excelentes para la valoración numérica de un buen comportamiento del manipulador paralelo; mientras que valores por arriba de 0.005 se considera que corresponden a un comportamiento desequilibrado y perjudicial.

La Tabla IV muestra las reglas de control. Contiene como antecedentes la varianza de la aceleración y el ángulo de los eslabones. Como consecuentes se tienen las ganancias proporcional e integral de velocidad.

En la Tabla V se muestran los valores lingüísticos de las variables de salida, es decir la ganancia proporcional de velocidad (VG) y la ganancia integral de velocidad (VI).

Las funciones de membresía para las salidas se presentan gráficamente en las Figuras 15, 16 y 17. La primera corresponde a los parámetros del servomotor A, la segunda a los del servomotor C y la última a los del servomotor C. En cada una de

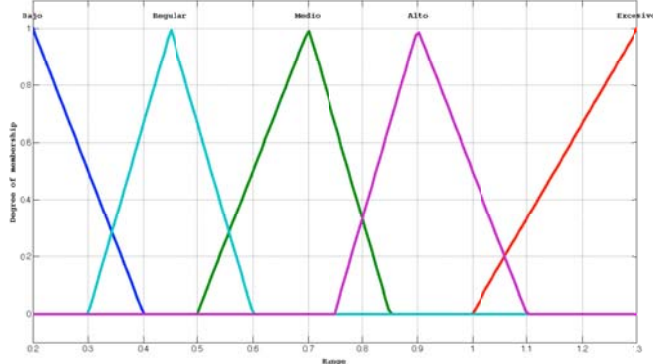
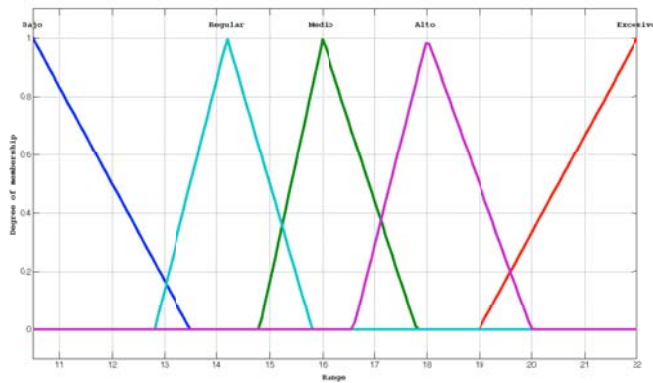


Fig. 16 Funciones de membresía de las salidas para el servomotor B.

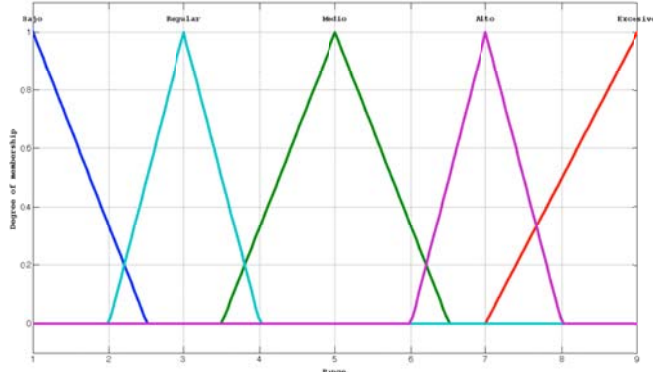
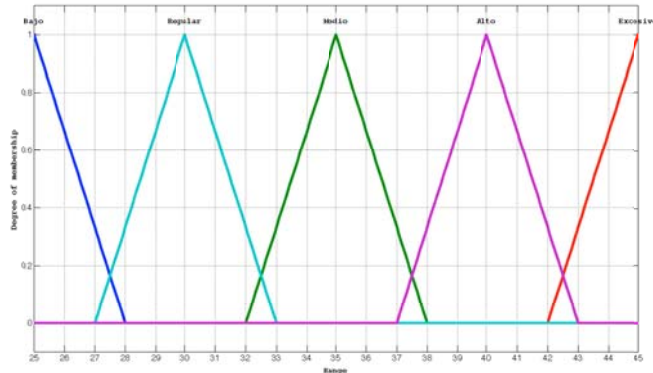


Fig. 17 Funciones de membresía de las salidas, servomotor C.

las figuras, la gráfica superior muestra las funciones para la ganancia proporcional de velocidad y la inferior para la ganancia integral.

TABLA VI
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

	RNA			Lógica Difusa		
	Varianza sin control	Varianza con control	Razón de mejora %	Varianza sin control	Varianza con control	Razón de mejora %
ServomotorA	0.3513	0.2138	39.12	0.00700	.00160	77.14
ServomotorB	0.3772	0.2386	36.73	0.0270	.00280	89.62
ServomotorC	0.2874	0.1823	36.54	0.0070	.00480	31.42
Promedio	0.3386	0.2115	37.46	0.0346	0.0025	66.06

D. Resultados

En la Tabla VI se presenta la comparación de los resultados de la experimentación usando los dos controles tomando como base el desempeño del manipulador usando como indicador la varianza de las vibraciones en cada uno de los servomotores. Se compara la varianza obtenida usando valores constantes para los parámetros de operación de los servomotores (columnas 2 y 5 de la tabla) contra la que se produce al modificar dinámicamente los parámetros (columnas 3 y 6), a partir de esta comparación se calcula la razón de mejora (columnas 4 y 7).

Con el conocimiento del comportamiento del manipulador se pudo establecer como variables de entrada de la RNA la vibración y la corriente del servomotor Tomando como referencia los valores obtenidos para la varianza en las vibraciones del manipulador, la implementación del modelo inverso simplificado del manipulador con base en una red neuronal redujo la vibración en un 37.46% en todos los servomotores, como valor promedio. Asimismo, mejoró el comportamiento del servomotor de menor capacidad, logrando una reducción de 39.12% en la vibración.

Para el control difuso se propusieron como variables de entrada la vibración de cada una de las articulaciones activas del manipulador. Como salidas los parámetros VG y VI de cada servomotor. Tomando como referencia los valores obtenidos para la varianza en las vibraciones del manipulador, la incorporación del control difuso redujo la vibración en un 66% en todos los servomotores, como valor promedio.

IV. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este trabajo se propuso un control neuronal y uno con lógica difusa que mejorara el desempeño de un manipulador planar paralelo 3RRR. Para el desarrollo de ambos controles fue necesario diseñar la instrumentación y realizar pruebas experimentales sobre el manipulador que permitieran obtener la información del comportamiento de cada uno de los servomotores.

El desarrollo de la instrumentación del manipulador permitió ampliar el conocimiento del comportamiento del manipulador como respuesta a los cambios en los valores de los parámetros de control. Más precisamente, la instrumentación permitió medir la posición, la vibración y la corriente del servomotor en el transcurso del movimiento. Como era de esperarse, la mayor

vibración ocurre en las regiones de aceleración y desaceleración del perfil trapezoidal.

Como síntesis, la estructura del control difuso empleado, conjuntamente con la elección del parámetro de control proporcional de velocidad y control integral de velocidad, ayudó a mejorar significativamente el comportamiento del manipulador en lo que a su estabilidad se refiere.

Los trabajos futuros que se consideran de relevancia son desarrollar una RNA que también realice el modelo inverso del manipulador empleando la corriente y la vibración de cada uno de los tres servomotores y emplear como parámetros de salida los mismos del control difuso.

REFERENCIAS

- [1] Richard A. J., Diseño y construcción de un manipulador híbrido controlado por computadora, Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico de Celaya, 2008.
- [2] Kang B, Mills J. K., Dynamic Modeling and Vibration Control of High Speed Planar Parallel Manipulator, *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Noviembre 2001.
- [3] Cho G-B, Kim P-H, A precise control of AC servo motor using neural network PID controller, *Current Science*, Vol. 89, No. 1, Julio 2005.
- [4] Kariyappa B. S., Uttara-Kumari M., FPGA Based Speed Control of AC Servomotor Using Sinusoidal PWM, *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 8, No. 10, Octubre 2008.
- [5] Kariyappa B. S., Hariprasad S. A., Nagaraj R., Position Control of an AC Servo Motor using VHDL & FPGA, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 49, No. 10, Enero 2009.
- [6] NSK, MEGATORQUE® MOTOR SYSTEM User s Manual (ESA23 Driver Unit System), C20053-06.
- [7] Gerasimov D.N., Javaherian H., Nikiforov V.O., Data Driven Inverse-model Control of SI Engines, *American Control Conference*, Julio 2011.
- [8] Pupkov K.A., Egupov N.D., Gavrilov A. I., Methods of Robust, Neuro-Fuzzy and Adaptive Control, *Bauman MSTU Publ*, Moscú 2001.
- [9] Pertence A., Filtros activos: fundamentos, en *Amplificadores operacionales y filtros activos: Teoría, proyectos y aplicaciones prácticas*, 1ª Edición, España: Mc-Graw Hill, 1991.
- [10] Franco S., Circuito con retroalimentación resistiva, en *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos*, 3ª Edición, México DF, McGraw Hill, 2005.
- [11] Bishop R., LabVIEW student edition 6i Upper Saddle River, 1ª Edición, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2009.
- [12] The MathWorks, Neural Networks Toolbox, 3.6, 2008.
- [13] Álvarez T. E., Ajuste de parámetros del control de velocidad en un manipulador paralelo mediante un sistema de lógica difusa, Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico de Celaya, 2010.
- [14] Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico de Celaya, 2010.



Marcos Villaseñor Aguilar. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Celaya en Junio del 2011. (e-mail: marcosjesus1982@hotmail.com).



Erik de Jesús Álvarez Torres. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Celaya en Abril del 2010 (e-mail: erik_alto@hotmail.com).



Agustín Ramírez Agundis. En 2008 obtuvo el grado de Doctor en Diseño de Sistemas Digitales por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Es profesor-investigador del Instituto Tecnológico de Celaya, su trabajo se orienta a la instrumentación de máquinas industriales y sistemas hardware basados en redes neuronales (e-mail: agustin_ramirez@itcelaya.edu.mx).



Horacio Orozco Mendoza. Posee el título de Ing. Industrial Mecánico por el Instituto Tecnológico de Celaya, el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecánica por el ITESM y el grado de Doctor en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Texas en el año 2000. Desde 1983 es Profesor-investigador de tiempo completo del Dpto. de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya. Su principal área de interés es la de Sistemas Dinámicos y Control (e-mail: horacio.orozco@itcelaya.edu.mx).



José Alfredo Padilla Medina. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica en 1992 por el Instituto Tecnológico de Celaya y en 2003 el grado de Doctor en Ciencias (Óptica) por el Centro de Investigaciones en Óptica. Ha realizado cerca de 20 publicaciones en revistas indexadas y en congresos internacionales. Desde el 2002 es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Celaya donde desarrolla investigaciones en las áreas de controladores difusos, sistemas de visión y teoría ROC (e-mail: alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx).

EDUC vs Moodle: Comparando la Experiencia de Usuario en la Educación a Distancia de la Universidad de Colima

Ahumada G. Ana C., Santana M. Pedro C., Muro H. Bárbara P., Juárez R. Celso U., Prieto A. Carlos G.

EDUC vs Moodle: a Comparison in User Experience on Distance Education on the University of Colima

Abstract— The School of Telematics of the University of Colima uses two distance education platforms as a tool of educational support: EDUC and Moodle. The first one is a platform created by and for the University of Colima. The second one is an open source platform widely used. This paper presents a comparison of the user experience between both platforms, by means of a usability study. The results show that EDUC have opportunity areas to improve the user experience in their interfaces.

Keywords— distance education, usability, user experience.

Resumen— La Facultad de Telemática de la Universidad de Colima usa dos plataformas de educación a distancia como herramientas de apoyo educativo: EDUC y Moodle. La primera es una plataforma creada por y para la Universidad de Colima. La segunda es una plataforma de código abierto ampliamente usada. Este trabajo presenta una comparativa de la experiencia del usuario entre las dos plataformas, por medio de un estudio de usabilidad. Los resultados muestran que EDUC tiene áreas de oportunidad para mejorar la experiencia del usuario en sus interfaces.

Palabras clave— educación a distancia, usabilidad, experiencia de usuario.

I. INTRODUCCIÓN

Los ambientes virtuales de Educación a Distancia (EaD) cada vez más están siendo adoptados por los centros educativos en cualquier etapa de formación, especialmente en las Instituciones de Educación Superior (IES) que intentan sacarle provecho a su principal ventaja, la cual consiste en remover las barreras de

Manuscrito recibido el 18 de Abril de 2013. Este trabajo fue respaldado por Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Av. Universidad 333 Col. las Víboras; Colima, Col., México; C.P. 28040; Tel: (312) 3161057.

Ana C. Ahumada es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; e-mail aaahumada@ucol.mx.

Pedro C. Santana es Profesor e Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; e-mail psantana@ucol.mx.

Bárbara P. Muro es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; e-mail pao_muro@ucol.mx.

Celso U. Juárez es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; e-mail celso_juarez@ucol.mx.

Carlos G. Prieto es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; e-mail carlos_prieto@ucol.mx.

tiempo y espacio [1].

Una de las herramientas más utilizadas en las plataformas virtuales es sin duda un Sistema de Gestión de Cursos (CMS por sus siglas en inglés *Course Management System*). De acuerdo a [2] un CMS es una plataforma de software usualmente organizado alrededor de un curso. Dicho software incluye la mayoría de las herramientas que los profesores y los estudiantes necesitan para:

- Organizar y presentar contenido.
- Comunicarse (síncrona y asíncronamente).
- Evaluar el desempeño de los estudiantes.
- Almacenar y reportar calificaciones.
- Administrar el material de la clase y las actividades.

En la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima en México se utilizan dos sistemas CMS, tanto como para reforzar los cursos presenciales así como para la EaD. Dichas plataformas son Moodle y EDUC. La primera es una plataforma de código abierto que se comenzó a desarrollar en el año 1999. Hasta abril de 2013 tenía un registro de 79,406 sitios utilizando el sistema a lo largo de 232 países. EDUC es la plataforma de Educación a Distancia de la Universidad de Colima desarrollada en el Centro Universitario de Producción de Medios Didácticos (CEUPROMED) de la misma institución. EDUC define su función principal como “la gestión de los servicios de educación a distancia en la Institución; sus actividades sustantivas son la planeación, diseño, desarrollo y emisión de cursos a distancia”.

Uno de los principales problemas en el uso de un CMS es que los usuarios finales (tanto estudiantes como profesores) no pueden elegir cuál desean utilizar. Un estudiante elige una institución en la cual recibir clases y tiene que adoptar la plataforma que dicha institución utilice. En caso de que el usuario se vea frustrado por la plataforma no puede abandonarla sin tener consecuencias en su aprendizaje, su única opción es continuar usándola [1]. Por lo tanto, es necesario que los desarrolladores de un CMS le den la importancia debida a la usabilidad en sus interfaces para mejorar la experiencia del usuario.

El presente trabajo describe un estudio realizado con estudiantes y profesores de la Facultad de Telemática para

evaluar la usabilidad de los dos sistemas mencionados mediante una comparativa de la experiencia de usuario.

II. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es comparar la usabilidad y la experiencia de usuario de las dos plataformas de EaD utilizadas en la Universidad de Colima.

III. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo se realizaron pruebas tanto heurísticas como con usuarios de ambos sistemas. A continuación se describe la metodología utilizada en el estudio.

A. Población

Nuestro caso de estudio se realizó con alumnos y profesores, de nivel superior (pregrado) de la Facultad de Telemática en la Universidad de Colima. Actualmente esta institución cuenta con 425 alumnos inscritos y 23 profesores impartiendo cátedra [3].

Para esta población nos hemos basado en el principio propuesto por Jakob Nielsen [4] que con su fórmula matemática propone que 5 usuarios bastarán para descubrir la mayoría de los errores de usabilidad.

Nuestra muestra consta de 13 alumnos y 5 maestros para probar cada plataforma educativa. Los alumnos a los que se les pidió participar debían de ser alumnos de nivel superior, entre 17 y 25 años. También era necesario que no estuviesen familiarizados con la plataforma que iban a probar.

En el caso de los profesores, el único requisito era que no hubieran utilizado previamente la plataforma a probar.

Además cuatro profesores expertos en usabilidad realizaron pruebas heurísticas.

B. Pruebas

Las pruebas a usar fueron la Escala de Usabilidad para Sistemas (SUS por sus siglas en inglés *System Usability Scale*), el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM por sus siglas en inglés *Technology Acceptance Model*), el Protocolo de Pensar en Voz Alta (TAP por sus siglas en inglés *Think Aloud Protocol*) y las pruebas con usuarios expertos denominadas heurísticas de Nielsen.

1) SUS

Ha demostrado ser una herramienta de evaluación robusta y fiable [5]. La cual se correlaciona bien con las métricas de usabilidad.

Se eligió esta prueba puesto que nuestro objetivo principal es conocer la usabilidad del diseño de ambas plataformas y SUS es una herramienta útil para este cometido.

2) TAM

TAM es una prueba que se aplica para medir la aceptación que tienen las personas hacia una cierta tecnología [6]. Entre los puntos a medir está la percepción de la facilidad de uso y de la utilidad, la actitud hacia el uso de la plataforma y la intención de uso. Estas secciones ayudarán a crear un contexto de satisfacción de los usuarios hacia cada plataforma, conocer su opinión sobre

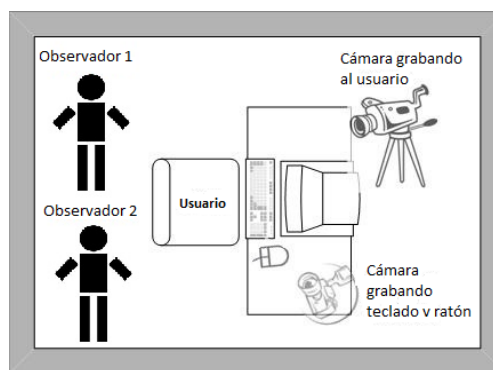


Fig. 1 Configuración del laboratorio de pruebas.

el funcionamiento y utilidad, no solamente el diseño.

3) TAP

El TAP es una actividad que permite interactuar con las opiniones de los usuarios, también permite cuestionarle casualmente sobre ciertos puntos en los que se desea hacer énfasis o conocer una opinión específica. Además, este protocolo le brinda libertad al usuario de expresarse y sentir que sus opiniones son escuchadas y tomadas en cuenta. La interacción moderador – usuario es importante para este protocolo.

4) Heurísticas

Debido a que las pruebas heurísticas son realizadas por expertos en usabilidad y miden aspectos específicos de la usabilidad de la interfaz, resulta ser una evaluación de gran utilidad. Encontrar errores menos obvios, pero importantes, es una de las ventajas de esta prueba. Al mismo tiempo, tener la opinión de personas especializadas en el tema siempre es de ayuda.

De la combinación de estas cuatro pruebas se espera resulte una forma efectiva de obtener la mayor cantidad de información posible y que la información sea sustancial, de manera que permita crear una idea de la usabilidad de ambas plataformas. Obtener esta información es necesario para poder realizar una comparación justa y fundamentada en argumentos tanto cuantitativos como cualitativos.

C. Realización de las pruebas

1) Lugar

Las pruebas se realizaron en el centro de cómputo del CEUPROMED, la Fig. 1 muestra la distribución de las personas y el equipamiento.

2) Proceso

Previo a la evaluación se creó una lista de tareas para los usuarios, las cuales se obtuvieron después de identificar los diferentes casos de uso de cada plataforma para cada rol y comparando aquellas acciones que pudiesen llevarse a cabo en ambas plataformas. Con estos casos de uso se crearon escenarios de uso, la lista de tareas es derivada de dichos escenarios. Se buscó que los escenarios fuesen actividades comunes de realizar en un uso cotidiano de las plataformas y como se mencionó

TABLA I
HEURÍSTICAS DE LA SECCIÓN PARA ESTUDIANTES

HEURÍSTICA	EDUC		MOODLE	
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Visibilidad del Estado del Sistema	3.45	1.234	4.1	1.02
Utilización del Lenguaje de los Usuarios	4.25	1.215	4.5	0.67
Control y Libertad para el Usuario	3.66	1.23	4	0.603
Consistencias y Estándares	4.25	0.856	4.375	0.806
Prevención de Errores	3.06	1.611	3.56	1.459
Carga de la Memoria del Usuario	3.68	1.078	4.37	0.885
Flexibilidad y Eficiencia de Uso	3.12	1.457	3.12	1.356
Diálogos Estéticos y Diseño Minimalista	4.43	0.727	4.75	0.447
Ayuda a los Usuarios a Reconocer, Diagnosticar y Recuperarse de los Errores	3.25	1.732	4.18	0.834
Ayuda y Documentación	2.437	1.672	4.31	1.014

TABLA II
HEURÍSTICAS DE LA SECCIÓN PARA PROFESORES

HEURÍSTICA	EDUC		MOODLE	
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Visibilidad del Estado del Sistema	3.73	1.099	4	1.169
Utilización del Lenguaje de los Usuarios	4.44	0.726	4.58	0.514
Control y Libertad para el Usuario	3.77	0.833	4.16	0.717
Consistencias y Estándares	4.25	0.866	4.31	0.873
Prevención de Errores	3.33	1.37	3.5	1.549
Carga de la Memoria del Usuario	3.916	1.083	4.43	0.727
Flexibilidad y Eficiencia de Uso	3.166	1.722	3.12	1.356
Diálogos Estéticos y Diseño Minimalista	4.5	0.797	4.68	0.478
Ayuda a los Usuarios a Reconocer, Diagnosticar y Recuperarse de los Errores	4.16	0.834	4.25	0.774
Ayuda y Documentación	3.08	1.24	4.68	0.602

anteriormente que fueran actividades posibles de realizar en ambas plataformas.

De igual manera, se crearon los cuestionarios de evaluación SUS y TAM. El cuestionario TAM fue adaptado tomando sólo aquellas secciones que nos serían de utilidad para ambas plataformas.

Antes de comenzar con las pruebas al usuario se le explicaba lo concerniente al propósito de las pruebas, se le pedía colaborara con el TAP externando todo comentario que se le pudiera venir a la mente y se le dio a firmar una hoja de consentimiento para hacer uso de la información recolectada y poder grabarlo en video. Se le explicó al usuario que estaría acompañado de un moderador, pero que él no podría decirle si hacía bien las cosas o no, darle pistas sobre la localización de los elementos, o confirmarle si la actividad se había concluido correctamente. El usuario empezaba su prueba sabiendo que podía consultar las secciones de ayuda de las plataformas en cualquier momento, en caso de necesitarlo.

Durante la prueba, los usuarios estuvieron acompañados de un moderador el cual les pedía constantemente que comentaran sus impresiones a lo largo de la navegación. Asimismo el moderador les indicaba la siguiente tarea a realizar y entablar una conexión con el participante para sí poder obtener la mayor cantidad de opiniones y reacciones posibles.

Terminando las pruebas los usuarios contestaban los cuestionarios SUS y TAM.

IV. RESULTADOS

En esta sección se listan los resultados de las pruebas realizadas.

D. Evaluación heurística

Las pruebas heurísticas fueron aplicadas a cuatro expertos en

el área de usabilidad, los cuales son profesores de la Universidad. Contestaron un cuestionario conformado de treinta y siete preguntas basadas en las heurísticas de Jakob Nielsen. Se utilizó una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 es “totalmente en desacuerdo” y 5 es “totalmente de acuerdo”.

1) Resultados de la sección para estudiantes

Los resultados de la evaluación heurística de las secciones para estudiantes es el siguiente (ver Tabla I). En la plataforma EDUC la media fue de 3.56 de un máximo de 5, con una varianza de 1.989 y una desviación estándar de 1.41. Mientras que la plataforma Moodle obtuvo una media de 4.17, con una varianza de 1.002 y una desviación estándar de 1.001.

2) Resultados de la sección para profesores

Los resultados de la evaluación heurística de las secciones para profesores fueron los siguientes (ver Tabla II). En la plataforma EDUC la media fue de 3.855 de un máximo de 5, con una varianza de 1.269 y una desviación estándar de 1.126. Mientras que la plataforma Moodle obtuvo una media de 4.21, con una varianza de 1.01 y una desviación estándar de 1.007.

Los resultados generales tanto para las secciones de profesores como para las de alumnos fueron los siguientes: en EDUC la media fue 3.68 de un máximo de 5, con una varianza de 1.696 y una desviación estándar de 1.302; en Moodle la media fue de 4.19, con una varianza de 1.006 y una desviación estándar de 1.003.

La Fig. 2 muestra una representación gráfica de los valores promedios para cada rol de cada plataforma por cada una de las diez heurísticas de Nielsen.

Se puede observar que los puntajes obtenidos por Moodle son superiores a los de EDUC en el 95% de los casos, sólo superado por este último en la heurística siete “Flexibilidad y eficiencia de uso” para el rol de profesor por 0.041.

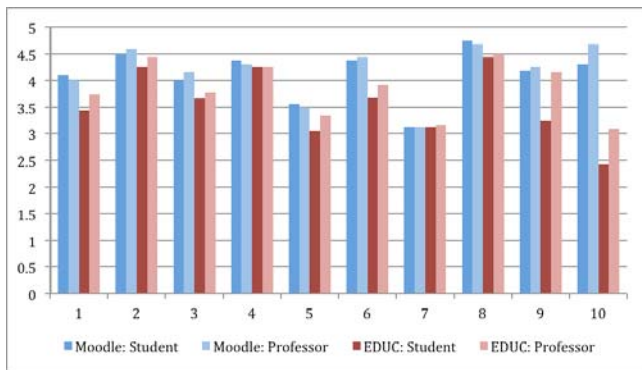


Fig. 2 Resultados heurísticos por rol.

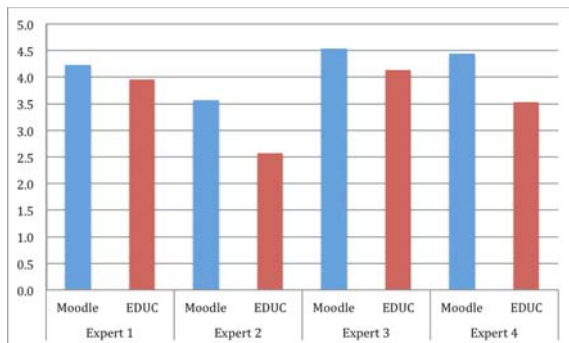


Fig. 3 Resultados heurísticos por expertos.

Además de que los puntajes de EDUC son inferiores a Moodle, de manera individual los puntajes para el rol de estudiante de EDUC son inferiores a los obtenidos para el rol de profesor en todas las heurísticas excepto en una (en la cual son iguales). Las diferencias de puntaje entre ambos roles llega incluso a rondar la unidad (Ayuda y Documentación).

Para el caso individual de Moodle los valores promedios obtenidos para ambos roles son bastante similares, donde la mayor diferencia encontrada es en la décima heurística con 0.375 unidades y la mayoría no varía por más de 0.1 unidades.

Lo anterior nos indica una buena consistencia entre las interfaces para ambos roles en el caso de Moodle.

En la Fig. 3 se puede observar el puntaje promedio para cada plataforma organizado por experto.

De las pruebas heurísticas se concluye que de acuerdo a los expertos que participaron en esta evaluación, EDUC presenta algunas deficiencias en su interfaz de usuario, mientras que Moodle mantiene puntajes por encima del 4 en el 80% de las heurísticas.

Para el caso de EDUC, la mayoría de sus puntajes se encuentran alrededor del 3.5 o inferior.

E. Evaluación con usuarios

Con los resultados del TAP es posible derivar conclusiones importantes, sobre todo orientadas al mejoramiento del software para que su operación se adapte más al ambiente del usuario real. De todas las sugerencias sobre los cambios que podrían hacerse a

la interfaz para que esta fuera más intuitiva o amigable, aquellas que contribuirían a los objetivos serían las siguientes:

1) Desde el rol de estudiante para EDUC:

- “Los links deberían estar como botón o resaltar puesto a que como se encuentran ahorita parecen simple texto plano”.
- “Cambiar el nombre del link para volver a la página de inicio de “Agenda” a “Inicio” y mostrarlo con otro color para ser localizable rápidamente o poner el link de volver a inicio en el logo”.
- “Cambiarle el nombre a la sección de **Comunicación** por **Foros** para que sea más entendible”.
- “Cambiar la combinación de colores puesto a que en esta combinación actual el contenido pasa desapercibido”.
- “Cambiarle el nombre a la carpeta **Portafolio**, ya que así como está ahorita no indica mucho su función”.
- “La sección de **Anuncios** debería estar más arriba y resaltada puesto a que son las novedades y será lo primero que se verá”.

2) Desde el rol de profesor para EDUC

- “El botón para volver a la pantalla principal debería llamarse como tal”.

3) Desde el rol de estudiante para Moodle

- “La sección de búsqueda sería mejor si se ubica de lado derecho”.

4) Desde el rol de profesor para Moodle

- “Debería mostrarse un mensaje que avise cuando se realizó algún cambio en el curso, ya sea agregar, modificar o eliminar”.
- “El botón de **Pantalla principal** debería ubicarse en una posición más arriba o más fácil de ver”.

En cuanto a las siete opciones sugeridas por los usuarios para EDUC, una muy interesante es que los links deberían estar como un botón o resaltar del texto, esta sin duda valdría la pena considerarlo como una corrección a futuro.

Las demás sugerencias son también interesantes y no deben descartarse, sin embargo muestran más un gusto personal y su implementación no tendría un impacto notable en la usabilidad del sistema.

Es importante mencionar que como segunda fase de este proyecto se realizarán los cambios obtenidos en esta evaluación y se volverá a evaluar.

F. Resultados de los cuestionarios

Para obtener una conclusión cuantitativa de las respuestas de

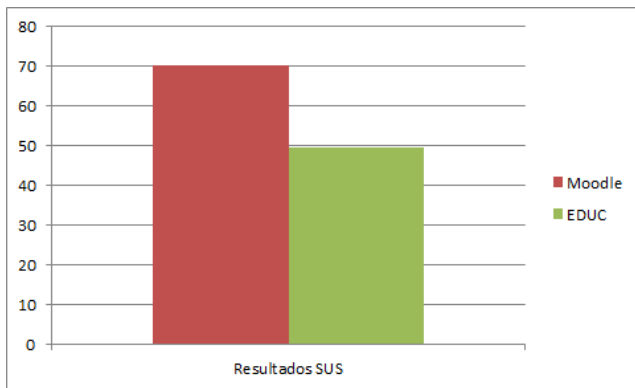


Fig. 4 Resultados SUS.

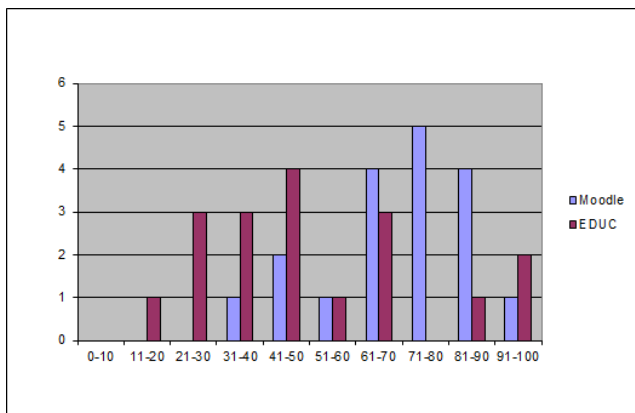


Fig. 5 Distribución de frecuencias de los resultados SUS.

los cuestionarios, se han generado los siguientes análisis.

1) Cuestionario SUS

De cada cuestionario SUS se obtuvo una calificación en una escala de 0 (nula usabilidad) a 100 (alta usabilidad).

La Fig. 4 muestra que la plataforma EDUC obtuvo un promedio de 49.7 puntos, mientras que la plataforma Moodle obtuvo el promedio de 70.1 puntos.

En la Fig. 5 se puede encontrar la distribución de las frecuencias, en las cuales podemos observar que 14 personas dieron una calificación mayor a 60 puntos a la plataforma Moodle mientras que 6 se la dieron a EDUC, haciendo a Moodle, según la valoración de los usuarios, un 44% más fácil de usar.

2) Cuestionario TAM

Como ya se ha mencionado, para medir la aceptación de uso de la plataforma se utilizó el cuestionario TAM.

En relación a la actitud hacia el uso del software, los resultados de ambas plataformas son aceptables, los participantes consideraron principalmente como buena idea el uso de ambas plataformas (ver Fig. 6) e indicando que no les disgusta la idea del uso de la plataforma (ver Fig. 7).

Además, los participantes mostraron muy altas intenciones sobre el uso del software, indicando que volverían a utilizarlo cada que fuera necesario (ver Fig. 8), tanto el Moodle como

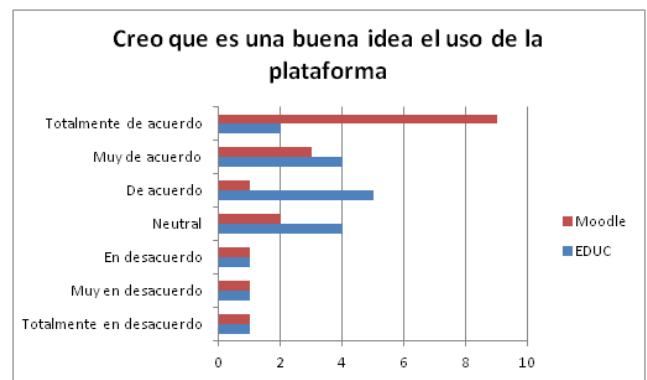


Fig. 6 Cuestionario TAM, pregunta: Creo que es una buena idea el uso de la plataforma.

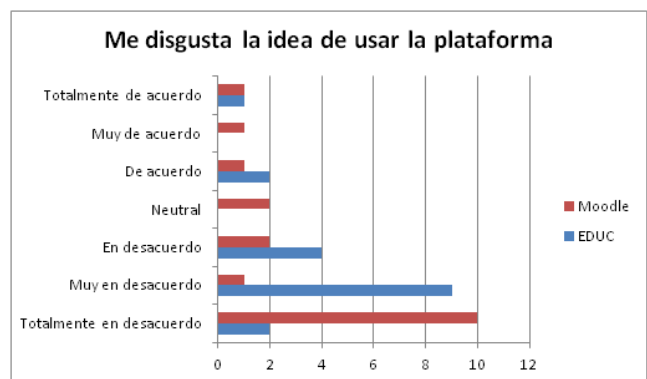


Fig. 7 Cuestionario TAM, pregunta: Me disgusta la idea de usar la plataforma.

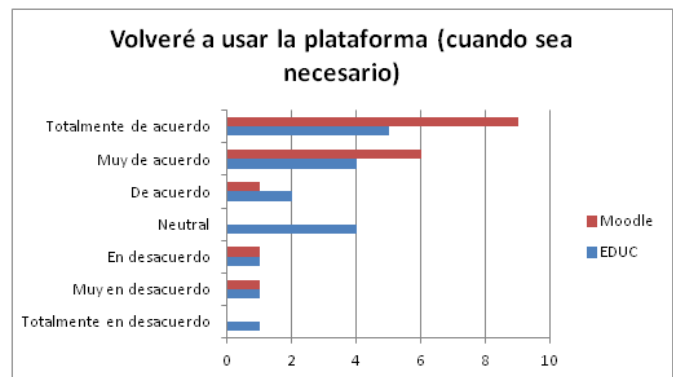


Fig. 8 Cuestionario TAM, pregunta: Volveré a usar la plataforma.

EDUC.

V. CONCLUSIONES.

Este estudio se realizó con el objetivo de comparar la usabilidad y la experiencia de los usuarios en los dos sistemas de EaD de la Facultad de Telemática en la Universidad de Colima. De los datos obtenidos se puede concluir lo siguiente.

Tanto las pruebas heurísticas como las de usabilidad (SUS) muestran que EDUC tiene áreas de oportunidad para mejorar la experiencia del usuario en sus interfaces. Un buen punto de inicio

son los comentarios obtenidos de la prueba de piensa en voz alta (TAP), la cual arrojó seis recomendaciones por parte de los alumnos y una por profesores. Otra recomendación es tomar como base para un posible rediseño de sus interfaces de usuario las heurísticas de Nielsen.

En contraste con los resultados de usabilidad, en el cuestionario que mide la aceptación de uso (TAM) ambas plataformas tienen una muy buena aceptación y los usuarios las volverían a utilizar cuando sea necesario. Lo cual nos indica que el uso de alguna plataforma de EaD es bien aceptado por los usuarios, sin tener importancia significativa la plataforma elegida.

Basados en los resultados promedio podemos concluir que la plataforma Moodle brinda una mejor experiencia al usuario de acuerdo a las métricas de usabilidad evaluadas. Sin embargo, las desviaciones estándar de esos promedios se traslapan más del 50%, por lo que no se puede definir una diferencia estadística sólida entre ambas plataformas de EaD.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al CEUPROMED por las facilidades brindadas para llevar a cabo las pruebas de este estudio por medio del Ing. Miguel Rodríguez, también agradecemos al equipo de EDUC a través del Mtro. Gabriel Cruz por facilitarnos cuentas de usuario y cursos de prueba para poder realizar las evaluaciones en su plataforma, así como a los evaluadores expertos y a los profesores y alumnos participantes en las evaluaciones, tanto de Moodle como de EDUC. Todos los nombres y marcas mencionados en este artículo pertenecen a sus respectivas compañías.

REFERENCIAS

- [1] Martin, L., Roldán Martínez, D., Revilla, O., Aguilar, M.J., Santos, O.C., and Boticario, J. (2008). Usability in e-Learning Platforms: heuristics comparison between Moodle, Sakai and dotLRN. OpenACS and .LRN conference 2008. International Conference and Workshops on Community based environments, Guatemala.
- [2] Morgan, G. (2003). Faculty Use of Course Management Systems. Volume 2. University of Winsconsin System.
- [3] Colima, U. d. (Septiembre de 2011). Dirección General de Planeación y Desarrollo Institucional. Recuperado el 01 de Junio de 2012, de Estadística Educativa: <http://goo.gl/0NhYI>
- [4] Nielsen, J. (19 de March de 2000). Jakob Nielsen's Alertbox. Recuperado el 01 de junio de 2012, de Why You Only Need to Test with 5 Users: <http://www.useit.com/alertbox/20000319.html>.
- [5] Brooke, J. (1996). "SUS: a "quick and dirty" usability scale", en P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester y A. L. McClelland (Eds.) Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis.
- [6] Davis, f. D. (1989). "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology", MIS Quartely, 13 (3).



Ana C. Ahumada es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; Realiza su tesis en el área de la usabilidad.



Pedro C. Santana es Profesor e Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; Sus áreas de interés son la Interacción Humano Computadora, Ingeniería de Software y la Tecnología en la Educación.



Bárbara P. Muro es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; Realiza su tesis en el área de interfaces tangibles e apoyo a la educación especial.



Celso U. Juárez es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; Realiza su tesis en el uso de la realidad aumentada como apoyo a la educación básica.



Carlos G. Prieto es estudiante de Ingeniería en Software en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima; Realiza su tesis en el área de videojuegos para televisión interactiva.

New Trends on Dynamic Object Segmentation in Video Sequences: A Survey

Ramírez A. Graciela and Chacón M. Mario I.

Estudio de las Nuevas Tendencias en la Segmentación de Objetos Dinámicos en Secuencias de Video

Abstract— This paper presents a survey of the latest methods developed for dynamic object segmentation in video sequences. After an exhaustive search of the latest seven years of research done in this area there were found more than 90 papers where segmentation task has been performed. These researches were classified according with the main method or feature used to segment. Once finalized the literature review it was found that Background Subtraction Methods are very common in segmentation tasks but also algorithms where Energy Minimization is used to improve segmentation results, as those based on Graph Cut, are very popular in segmentation literature. At the same time, different studies demonstrate that Motion information used in conjunction with Probabilistic algorithms could produce accurate segmentation results even when the dynamic object is partially occluded. Also, it was found that Depth information could achieve precise segmentation results; this is because most of the time the object to segment may not have consistent color and texture features but the object must occupy an integrated region in the space. This paper also describes a list of the common databases used to evaluate the performance of the different video segmentation.

Keywords— Background Subtraction Methods, Dynamic Object Segmentation, Energy Minimization, Motion.

Resumen— Este trabajo presenta un estudio de los métodos desarrollados recientemente para la segmentación de objetos dinámicos en secuencias de video. Después de una búsqueda exhaustiva de las investigaciones realizadas en esta área en los últimos seis años fueron seleccionadas más de 90 publicaciones en donde se desarrollan algoritmos de segmentación. Estos trabajos fueron clasificados de acuerdo al método o característica principal utilizada para la segmentación. Una vez finalizada la revisión de artículos se encontró que los Modelos de Sustracción de Fondo son muy utilizados en tareas de segmentación, así como también que algoritmos basados en Minimización de Energía son muy populares en la literatura para lograr mejoras en los resultados, tal es el caso de aquellos basados en Graph Cut. Al mismo tiempo, diferentes estudios demuestran que la información de Movimiento en conjunto con algoritmos de Probabilidad puede producir resultados de segmentación certeros aún y cuando el objeto dinámico se encuentre

parcialmente ocluido. Además, se encontró que la información de Profundidad puede lograr resultados de segmentación muy precisos, esto debido a que comúnmente el objeto a segmentar puede no tener un color o textura consistente pero éste ocupa una región estable en el espacio. Al final de este trabajo se presenta una lista de las bases de datos que frecuentemente se utilizan para evaluar el desempeño de diferentes algoritmos de segmentación de objetos dinámicos en secuencias de video.

Palabras clave— Modelos de Sustracción de Fondo, Segmentación de Objetos Dinámicos, Minimización de Energía, Movimiento.

I. INTRODUCTION

In computer vision literature, segmentation means breaking a scene into non-overlapping compact regions, where each region constitutes pixels that are bounded together on the basis of some similarity or dissimilarity measure [1]. This process is the basic and most critical step towards more complex tasks such as object identification, industrial inspection, digital entertainment, tracking, human sequence evaluation, etc. Therefore, the basis for these high-level systems relies on the success of the dynamic object detection in the video sequences. If in the initial stage is produced an inaccurate segmentation result, the final high level system will carry over these errors producing failures in the final application.

During the last decade, there have been developed many algorithms to segment arbitrary objects from video sequences which can be categorized with respect to various criteria. Li and Ngan [2] explained seven common standards used to classify a segmentation algorithm: (1) *Data-based* mode: based on the data types used in the segmentation tasks, such as nature, human or medical videos; (2) *Interaction-based* mode: where two main categories can be found, supervised (initial user intervention defines the regions of the dynamic objects) or unsupervised; (3) *Feature-based* mode: based on the selection of features, for example segmentation based on color, texture, intensity, shape or motion features; (4) *Inference-based* mode: segmentation is performed based on “message passing” mode where particular features (color, texture, intensity, motion, etc.) are passed to a specific segmentation method; (5) *Space-based* mode: segmentation is performed in spatial or temporal methods; (6) *Class-based* mode: where specific objects are extracted of the video, such as face, cars, buildings, etc., and (7) *Semantic-specific* mode: defined as a process that divides an image into meaningful segments associated with some semantics. Of course,

Manuscript received on January 09, 2013. This work was supported by Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Chihuahua, under grant CHIH-2009-C02-125358.

G. Ramírez and M.I. Chacón are members of the Visual Perception Applications on Robotic Lab of Instituto Tecnológico de Chihuahua, Ave. Tecnológico 2909, Chihuahua Chih., C.P. 31310 México. Teléfono: +(52) 614-413-7474; fax: +(52) 614-413-5187. e-mail: grramirez@itchihuahua.edu.mx, mchacon@iecee.org.

there is not a distinct boundary between them and a segmentation algorithm can be developed using a combination of different modes. In this paper, we classify different researches using the *Inference* and *Feature* modes. In the *Inference* mode we will focus on the classification of the main method used to achieve the segmentation results. We will present algorithms based on: a) background subtraction methods, b) energy minimization algorithms and c) clustering based segmentation methods. In some situations, the author(s) use(s) a combination of methods (for example a background subtraction method in conjunction with a graph-based segmentation algorithm); in these situations the classification will be made with the method where the author(s) made an important contribution. In the *Feature* mode classification we will describe researches based on: a) depth, b) motion, c) histogram and d) infrared information.

Looking for papers that present surveys of different segmentation methods it was found Faliu Yi and Inkyu Moon [3]. They describe a survey of graph-cut methods applied only to image segmentation, not to video segmentation tasks. It is a very good paper where the graph-cut algorithm is well explained. Another survey is presented by Thilagamani and Shanthi in [4]. As in the other case, in this paper is only exposed image segmentation algorithms not video segmentation methods. In [5] Candamo *et al.* published a survey of automatic-behavior-recognition techniques with focus on the surveillance of human activities, specifically in transit applications. In one section of Candamo's paper is presented a classification of different video segmentation algorithms. As there can be observed, the surveys found only exposed image segmentation methods or are not focused in a deep analysis of the latest algorithms developed for video segmentation tasks. Therefore it was considered appropriated to present in this paper the latest researches developed for the detection of dynamic object in video sequences identifying the different algorithms that could be implemented as well as those features that could be used to develop a robust segmentation algorithm. Mainly, (as explained previously) because this is a fundamental step in more sophisticated systems oriented to security or some other important application.

Commonly, in order to evaluate the performance of a new video or image segmentation algorithm, the authors opt to use the same database and compare their performance either visually or using some metrics as precision, recall, f-measure, etc. In this paper we present some common video and image databases used by the computer vision community to evaluate the performance of their new proposed methods.

The major contributions of this paper are:

- 1) to present a summary of the latest dynamic object segmentation algorithms.
- 2) to classify the different video segmentation algorithms using the *Inference* and *Feature* classification modes.
- 3) to present a list of the common databases used by the computer vision community to evaluate a segmentation algorithm.

Hence, if someone is interested in implementing a segmentation algorithm to identify dynamic objects in a video sequence, could be appropriate to review the recent publications presented in this paper and test the algorithm with some of the popular video databases that are shown at the end of this document.

In the following sections we describe how different types of algorithms were implemented for the identification of dynamic objects in video sequences. In most of the papers reviewed not only segmentation is performed but they also perform tracking or labeling of components, however we focus only on the dynamic object segmentation task. In section 2, we present the classification of different segmentation algorithms based on the main method used by the author(s), defined as *Inference-based* classification. In section 3, we classify the algorithms based in the main feature, defined as *Feature-base* classification. Section 4 describes the common databases used by the computer vision community. In section 5, we conclude this paper.

II. INFERENCE-BASE CLASSIFICATION

Segmentation is a very important procedure because it is the initial step to diverse applications such as image interpretation, video analysis, digital entertainment, etc. However, it is a difficult task due to variations in the object of interest and its surrounding. Also, when is required to analyze a video sequence is necessary to consider many other factors as: dynamic background, momentary occlusions in the object of interest, camera motions, shadows, illumination variation, etc., that could affect the accuracy of the segmentation algorithm. In the following sections we will describe how different authors have implemented segmentation algorithms for video analysis and how they handle these segmentation issues.

A. Background Subtraction Methods.

One of the most common techniques used to segment dynamic objects from a scene is based on background subtraction methods where a comparison of an image that does not contain any object of interest (background) is performed against another observed image. Approaches based on background subtraction have become a popular choice when the illumination changes are gradual. This section describes different investigations where the objective is to build a robust background model and then perform background subtraction to achieve the segmentation of the dynamic objects.

One common method used for background modeling is based on Gaussian Mixture Models (GMM), first presented in [6], where each pixel is modeled by a mixture of K Gaussian distributions. The disadvantage of this model is the computational complexity of the algorithm making this technique unpopular for real-time purposes. Because of this reason, some authors implement a variation of this model that still preserve the benefits of GMM but reducing the computational cost. Appiah *et al.* [7] demonstrated that real time segmentation of moving objects from video sequences taken under variable lighting conditions can be achieved using a Field Programmable Gate Array (FPGA). The algorithm consists of two stages: background subtraction and connected components labeling. In the first part Appiah implemented a GMM algorithm followed by a temporal low pass filter for noise reduction. The results reported are compared against Pfister and Stauffer's algorithms showing a slight improvement in the sensitivity measurement. The video sequences are from outdoor and indoor scenes taken from PETS 2000. The principal contribution of the paper is to show that a variation of a GMM algorithm can be implemented in real time.

Another FPGA implementation of a GMM algorithm is proposed by Genovese and Napoli [8]. The paper clearly describes how several researchers have developed a GMM based algorithm and how they propose to implement one variation in the FPGA.

Another alternative to reduce the computational cost of a GMM algorithm is proposed by Yuan *et al.* in [9] where a segmentation method based on Incremental Principal Component Analysis is used to identify moving object zones. Thus, the GMM is only applied in the moving zones reducing computational time. They tested the algorithm with their own images but didn't show a comparison of their results with other methods.

In some cases GMM is used in conjunction with other methods in order to obtain better results, that is the case reported in [10] where Support Vector Machine, SVM, is used in conjunction with GMM. In this paper the GMM models the background and a subtraction algorithm classifies the pixels as background or foreground. Then the SVM takes the foreground pixels and performs a second classification that identifies pixels that really belong to the background. The results show improvements when only GMM is used with outdoor videos.

The objective of algorithms based on background subtraction is to build a robust background model. Chan and Chien [11] created a multi background model where each pixel could have N candidates of background values. The algorithm continuously updates the multi background model and once the pixel is defined as background, morphological operations (opening and closing) are used to reduce noise.

In [12] Huang and Tan implemented a visual surveillance system to describe the motions of humans and vehicles and give a warning if these motions describe suspicious activity. The algorithm proposed constructs probability density functions of background, shadow and foreground based on GMM. Results in this work demonstrate that the proposed method can deal with dynamic scene and cast shadow effectively considering spatial information and Probability Density Functions (PDF) of shadow.

Chen *et al.* [13] proposed to initially perform an inexpensive analysis of the video applying only a simple algorithm and then use an inference procedure based on second order Markov model to identify which frames are necessary to perform deeper analysis. First, in order to detect moving objects in the scene a simple background subtraction algorithm is used. If a moving object is detected a robust method based in GMM is applied. This algorithm uses recursive equations to simultaneously select the appropriate number of components of the mixture model.

The concept of frame saliency is introduced in [14]. Frame saliency indicates the relevance of a frame to a GMM model in order to select a small set of salient frames for an efficiently and robust model training. Also the paper describes the development of a modified Expectation Maximization (EM) algorithm for saliency estimation and GMM learning initialization. This proposed GMM algorithm is applied in spatiotemporal segmentation. We can observe in the reported results that the proposed method is sensitive to moving background.

Nam *et al.* presented an intelligent video surveillance system in [15] where the analyzed information is exchanged between different systems. The moving object detection task is achieved with a background subtraction scheme and the background model

is build using a Gaussian distribution applying hue and saturation values of the scene.

A new framework to identify moving objects, abandoned objects or removed objects using GMM as the basic framework is analyzed in [16]. To handle quick lighting changes in the scene the Phong shading model is used in the GMM algorithm. Another important feature that the method uses to segment moving objects is the incorporation of region level information to detect static regions, reduce foreground fragments and classify the type of object identified (abandoned or removed). In order to deal with camera motion or drastic light variation the frame level information is used to reset the GMM. Also the proposed GMM can handle stopped and slow moving objects because of the feedback mechanisms incorporated. The proposed method runs about 150fps for color images and 200fps for grayscale images at size 160x120 and works well in real time video surveillance. Only when the object is very similar to the background the algorithm produce erroneous results.

Zheng *et al.* presented a model based on GMM that incorporates neighborhood characteristic of a pixel (color and brightness) as a solution for bad segmentation results caused by light and shadow changes [17]. Segmentation results presented in this paper indicates that the algorithm has some problems when dynamic background is present.

Hishinuma *et al.* [18] proposed an algorithm based on GMM that is robust to changes in camera angles and pan/tilt motions without a pre-stored background model. Hishinuma take advantage of the internal processing capability of cell phones to implement a GMM based algorithm. Results demonstrate that the algorithm can produce accurate segmentation results and reveal that this algorithm could be implemented in mobile camera for intelligent sensor purposes.

Some authors in the literature have indicated that algorithms based on Kernel Density Estimation (KDE) could adapt better to complex background changes than those based on GMM. A distribution based on kernel is a generalization of a GMM algorithm which does not require parameter estimation (that is one of the advantages compared with GMM, it is not necessary to determine the number of distribution) [19].

Li *et al.* presented in [20] a kernel density estimation model with a function of cast shadow and reflection image suppression. Three KDE models are compared, the first one is based on pixel intensity information, the second on pixel color and intensity values and the third one is the proposed model that uses pixel gradient (magnitude and direction) and intensity information. The model is used in outdoor videos and shows that it can successfully suppress shadows and reflection.

Zhu *et al.* described in [21] a robust background model using a non-parametric KDE where the mean shift method is used to approximate the local maximum values of the density functions. Suppose the initial background Gaussian distribution has m Gaussians. The Means Shift algorithm (MS) is used to find all the local maximum values in the distributions to be estimated. The paper focuses on describing how the background is updated. In order to improve the final segmentation quality a Bayes classifier is used. The paper also presents comparisons of the proposed method versus others KDE methods showing improvements in convergence and running speed as well as in visual segmentation results.

Another model is presented by Zhu and Song in [19] [22] where in order to build a robust background model a recursive Bayesian estimator is used to update the background parameters. Once the algorithm determines that the background is robust, background subtraction is performed. Finally a local texture correlation operator is used to improve the segmentation results. The algorithm is compared with GMM algorithms showing a better in the proposed method.

The algorithm proposed in [23] assigns the label of foreground, background or shadow to each pixel based on a Bayesian MRF model. The pixel is characterized by its color components in the CIE L^*u^*v space and texture features. Results are presented using the recall and precision metrics.

A method that builds the background and foreground models for each new image based on non-parametric functions is described in [24]. For each new image, background and foreground models are built using non parametric functions. A Bayesian algorithm is used to track the moving objects and this information is feedback to the foreground model making the proposed method robust to illumination changes and to partial or total occlusions.

Segmentation algorithms are not only applied in surveillance systems to identify moving objects but also in other cases. For example a different application is shown in [25] where Lai *et al.* presented the idea of modify the view angle in sports videos (specifically in tennis videos) in order to enhance the experience of the TV watchers deciding their own viewing angle. The background is generated by calculating the pixel value with maximum probability in temporal and spatial distribution. Next, the foreground objects are segmented with a frame difference. Finally a Bayesian matting model is implemented to improve segmentation results.

Chiu and Tsai in [26] use the statistic mode to form the background model. The mode is based on the most frequently occurring gray level of observed consecutive image frames. The largest and second largest frequencies of pixel occurrences (first and second modes) are calculated and used in the background model. The segmentation results of this algorithm are compared against other methods based on GMM and Kernel Density Function using The Microsoft's Wallflower dataset. The findings show a better performance of the proposed method and it is able to process 153fps.

A surveillance system that detects moving intrusive ships in a farmed fish is presented by Hua Wu-Chih *et al.* in [27]. The background is constructed using the median scheme of previous N frames. One important contribution in this work is how it is reduced the influence of wave ripples in the segmentation results using brightness and chromatic distortion (brightness of wave ripple is larger than that of the background). Finally, morphological operations are implemented in order to make the ship region more accurate.

Tsai and Lai [28] proposed a fast background subtraction algorithm based on Independent Component Analysis (ICA) for home-care and health-care monitoring. In this model two images, one representing the background and other the foreground are used to form the data matrix of the ICA model. The ICA method measures the difference of the joint PDF and the product of the marginal PDF to separate highly correlated data. The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is used to search for the

best de-mixing matrix of the ICA model and separate the foreground objects of the image. Results show that the algorithm has some difficulties with shadows and also when the foreground region has some discontinuities because it is similar to the background.

A method based on background subtraction, defined as Visual Background extractor (ViBe), is presented in [29]. To classify a pixel the algorithm compares it to the closest values within the set of background samples that define a sphere centered on it. The pixel is classified as background if the cardinality of the set intersection of this sphere and the collection of background model samples is larger than or equal to a given threshold. The proposed algorithm outperforms methods based in GMM, Bayesian Histogram and first order low pass filter in computation speed and detection rate.

Schreiber and Rauter exposed in [30] how a parallel graphical processor unit (GPU) can be used to implement a real surveillance system based on background subtraction. Initially the background model is set equal to the first frame, then a matching condition between the current pixel and the new incoming pixel is calculated based on a threshold value. The time it takes to absorb a stopped object into the background is defined by the user. The method is compared with a GMM based method demonstrating that the proposed outperforms in adaptation speed, complexity and foreground separation. The algorithm was implemented on GPU using CUDA achieving a run time of 2.3ms on a 352x288 frame, almost 5 times faster than in the CPU version.

A color similarity metric is presented by Samatelo and Salles in [31] applied to a video surveillance system. This metric considers the magnitude and phase (based on intensity and chromaticity) of the difference between the background model and each new video frame. The algorithm is tested using the PETS2004 database and the percentage of correct detected objects is more than 90% in 12 scenes and only in 4 cases the result is below 50%.

Lucia Maddalena and Alfredo Petrosino [32] propose a method that can handle moving backgrounds, gradual illumination variations, camouflage and shadows using a Self-Organizing Neural Network (SOM). In the SOM each pixel is compared with an initial background model to determine if there exists a weight vector that best matches it, if this is found it means that the pixel belongs to the background and it is reinforced. Otherwise if no acceptable matching occurs the pixel is detected as belonging to the foreground. The algorithm is compared against other common algorithms indicating an improvement in the recall, precision and similarity measurements. One of the disadvantages of the proposed algorithm is that there exists many parameters to initialize and they could affect the segmentation results.

One of the most common problems in segmentation algorithms is when shadows are identified as part of the foreground causing incorrect segmentation results. In [33] is presented a technique that can detect achromatic and chromatic shadows even when the foreground is very similar to the shadowed regions. In this paper is explained the different kind of shadows and also is presented a comparison table of different detection algorithms developed for this task. First a moving object mask is generated using a simple background subtraction

technique, then a luminance model is used to detect shadow areas where luminance, irradiance and reflectance vector of the moving area are calculated. Each identified area is partitioned into a set of segments using a graph based method to finally classify them as foreground or shadow after analyzing the intrinsic parameters of sub segments. The algorithm is tested with indoor and outdoor scenes and the shadow detection and discriminative rate is used as a performance metric achieving in the worst case a 0.72 value at a very low computational cost.

Even when the issue of sudden illumination change is known in the computer vision community, very few researches have been developed to deal with this particular problem. Vosters *et al.* [34] deal with this issue and proposed a model that requires a training stage in which an Eigen background model is trained using specified sequences that contains expected illumination changes of the background. The only issue reported is that moved background objects will be detected as foreground forever because the object's new location is not captured in the Eigen background model.

Lee *et al.* presented in [35] a segmentation method that use the difference between the current frame and the previous frame and compared it against a threshold to identify moving objects. A pixel that remains stationary for a long time is considered to be a reliable background pixel and is registered in the background model.

Ivan Huerta *et al.* [36] presented a segmentation model that combines three background subtraction models (based on color, edge and intensity information) and a temporal difference algorithm. Each model is designed to handle some common issues presented in video segmentation tasks such as camouflage and shadows. The segmentation results achieved by Huerta outperform most state-of-the-art algorithms using indoor and outdoor videos.

B. Energy Minimization Algorithms

1) Graph Cut Algorithm

In computer vision, image segmentation generally can be formulated as an energy minimization problem and Graph Cut theory has generated extensive interest due to its powerful capability as an energy minimization tool. Graph Cut is a technique used to improve the segmentation results by a previous segmentation algorithm. Graph Cut looks for a set of optimum segment boundary lines that separate interior and exterior markers. In a Graph Cut algorithm the image is treated as a graph with a set of vertices and edges. In the graph structure, vertices correspond to image pixels and edges represent the links between vertices in four directions. The objective is to minimize a function (energy function) who is modeling the boundary of the object [37].

As previously described, when the camera is in a static position and the scene in the video does not almost change it is common to use a background subtraction algorithm where the background is modeled using probabilistic methods. When the camera moves freely these kinds of methods do not have good performance. In [37] it is proposed a block based iterative appearance modeling technique that uses temporal model propagation and spatial model composition. The algorithm also employs Graph Cut to generate the final segmentation mask

where the inputs of Graph Cut are the likelihood maps from the temporal and spatial models. The algorithm is implemented in real time and the camera moves freely. Precision, recall and f-measure results demonstrate the good performance of the algorithm. A temporal propagation model is also used by MinGang *et al.* in [38]. MinGang presents an interactive approach where a *video cutout*¹ system automatically propagates the segmentation results frame by frame based on the optical flow. In the final phase a Graph Cut algorithm is implemented to refine the propagated segmentation results.

Another example where Graph Cut is used is presented in [39] and [40] where a five-view camera system is used to capture the multi-view video data. Only one camera was selected as the key view to start the segmentation process using color, intensity orientation, motion and deep information to calculate Saliency Maps (SM). This information is used by Graph Cut to produce the final segmentation. The results presented shows that even when there is a moving object in the background it can be eliminated of the foreground region using the depth information in the SM. The videos used are from their own database and only use indoor scenes; the application that they propose is for video conferencing scenario where the camera is relatively near the person to be segment.

Liu *et al.* [41] presented an automatic human body detector based on human features. Face regions are identified to locate the human body and characteristics based on color distribution of the object and background are detected. A coarse to fine segmentation framework based on GMM and Graph Cut is proposed to deal with partly object detection. A background contrast removal is used to improve segmentation results. In this work is proposed a Self-Adaptive Initialization Level Set (SAILS) to handle problems where the color between the object and background is similar and also to speed up the evolution of the level set strategy. The system was evaluated with indoor and outdoor scenes considering different poses, sizes, movements and lighting conditions. The proposed method was compared versus region based Graph Cut, bi-layer segmentation, background cut and contour based level set and improvements in the results could be observed when using the proposed method. One of the disadvantages is that the system can detect multiple human bodies but only can segment one object at a time with stationary background. The advantage is that the proposed system could be implemented in real time scenarios as video surveillance systems.

Nicolas Papadakis and Aurelie Bugeau used in [42] motion information to build predicted sets using Gaussian velocity models characterizing the motion of each moving object. The Graph Cut algorithm is used in order to handle the occluded parts of the objects where the links generated are the key point for the segmentation of occluded parts.

A dynamic version of the Graph Cut algorithm was developed by P Kohli and P.H.S Torr in [43]. The user must provide segmentation cues or seeds in the first frame of the video sequence to build color histograms for the background and foreground. These histograms are later used to calculate the likelihood term of the energy function of the MRF for all the video sequence frames where the energy of the previous state is used to calculate the current one. The advantage with this algorithm is that the response time improves significantly compared with the best known static mincut algorithm. In [44]

¹ *Video-cutout* is a foreground segmentation technique used in video clip analysis.

and [45] is also implemented an interactive algorithm based on energy minimization procedure but using the geodesic distance.

An example of using Graph Cut algorithms combined with matting methods is exposed in [46]. Initially the algorithm needs a user input to indicate foreground and background regions. A bilayer segmentation step is performed where an opacity propagation algorithm is used to predict the foreground object in the next frame generating an Opacity Map (OM) in combination with the Graph Cut algorithm. At last, an accurate trimap (background, foreground and alpha matte) is generated based on a Local GMM. Results indicate that the algorithm fails with sharp illumination changes between frames and when the foreground object moves to fast.

Zhong *et al.* [47] implemented a dynamic object segmentation algorithm using a combination of a background subtraction model (bgs) and a matting algorithm. Initially, the dynamic object is detected with the bgs model; next, a heuristic algorithm defines the pixels seeds localization of background, foreground and unknown regions (unknown regions is the limit between the background and foreground where is not clear where one region ends and the other begins). Then, an energy minimization algorithm is implemented to identify the improved foreground region. The complete algorithm achieves a speed of 5 fps at the resolution of 320x240 pixels. Zhou *et al.* [48] also proposed an automatic pixel seed initialization in the matting algorithm followed by the graph cut algorithm.

Tang *et al.* presented a foreground prediction algorithm denominated Opacity Propagation [49]. This model takes the binary mask of the initial frame as an opacity map and propagates this information to the current frame by minimizing a cost function. The algorithm was tested in a variety of video sequences and compared with probability maps generated by Bayesian Estimation, Weighted Kernel Density Estimation, Coherence Strips and Local Classifiers showing improvements with respect to these methods. Results demonstrate that this method can handle abrupt illumination changes. One of the disadvantages of the proposed method is that the computational load is very high. Trying to overcome this issue some authors have implemented the minimization algorithm using a GPU. Vineet and Narayanan [50] explain how 60 Graph Cuts per second on 1024x1024 images were performed using a GPU.

The objective of Guillemaut and Hilton in [51] is to extract foreground regions and reconstruct them in 3D. The algorithm assumes multiple foreground layers corresponding to people or objects that are located at different depths considering a single background layer. The data is captured with multiple synchronized video cameras and an initial segmentation is performed with a simple subtraction scheme. The segmentation is performed using depth, color, contrast and multi-view consistency cues based on graph-cuts algorithms. Segmentation results presented demonstrate that the algorithm could produce accurate results but the main disadvantage is the time performance reported where in the best case is 63s per frame.

The segmentation procedure proposed by Jacobson *et al.* in [52] is based on normalized cuts and probability boundary (pB) algorithms for the detection of edges using color and texture information. A weight matrix is formed between each pair of pixels to measure pixel similarity that is used by the normalized cut algorithm to partition the image. Then, the image is further

segmented by a k-means clustering algorithm. Regions with similar color and texture are merged on the assumption that they belong to the same object. This merge process is repeated until a small number of regions exist. The complexity of this algorithm is high, achieving a segmentation result of 60s per frame.

The method proposed by Pei Yin *et al.* in [53] generates correct segmentation results even in the presence of large background motion and with a nearly stationary foreground. The algorithm is based on diverse visual cues such as motion, motion context, color, contrast and spatial prior that are fused using a Conditional Random Field model. The segmentation task is achieved using a binary minimization algorithm defined as min-cut. The results using this method are compared against those based on stereo segmentation techniques achieving a very similar performance.

In [54] Cheng *et al.* presented an algorithm that was implemented for real time video analysis based on kernels to model the spatial-temporal characteristics of the background subtraction problem. The kernels used are defined as ILK (Implicit online Learning with Kernels), SILK (Sparse variant of ILK that incorporates spatial correlations) and SILK-GC where a Graph Cut algorithm is implemented. All these three variants are based on support vector machine methodology. The algorithms learn from previous scenes to predict a label for each pixel (foreground or background) and then minimize an energy function to optimize segmentation results. The proposed method was implemented in a GPU. In the results it can be observed that the algorithm had some difficulties with shadows detecting them as part of the foreground.

Civit and Escoda proposed an algorithm in [55] based on the Hierarchical Belief Propagation method and outliers reduction by regularization on over segmented region based on a cost minimization problem (the over segmented region is done using the k-means approach). Each pixel has a set of cost derived from its probabilities to belong to three classes: foreground, background and shadow. The probabilities are computed from chromatic distortion, color distance and brightness measures. Each pixel will be assigned to the model that has the lowest associated cost. The algorithm was implemented in a GPU GTX295 card with 1376x384 and 688x192 picture resolutions with a processing time of 140.6ms and 44.8ms per frame respectively.

Gulshan *et al.* [56] implement an algorithm that automatically segment humans from background given a bounding box. Using depth information a background subtraction algorithm takes a few frames to start segmenting accurately. First, local histograms of oriented gradients (HOG) are used to predict the initial segmentation results; then this segmentation mask is feed into Local GrabCut (using pixel color and edges information) to obtain the final segmentation results. The method is evaluated with their own database showing a performance of 88.5% in overlap score.

Zhang *et al.* [57] proposed a segmentation algorithm based on motion parameters, optical flow information, depth maps and a minimization algorithm to identify dynamic objects in video scenes. The disadvantage of Zhang's algorithm is that the algorithm detected shadows as part of the foreground region.

Another example of segmentation using depth information is in [58] where Time-of-Flight (TOF) cameras are used to video

segmentation tasks. The proposed method combines color and depth information in a probabilistic framework and Graph Cut is used to obtain the bilayer segmentation mask. After bilayer segmentation step a Matting algorithm is implemented in order to separate the foreground, background and “unknown” regions in the scene. The proposed method could be implemented in real time using GPU.

Dahan *et al.* [59] used the Kinect sensor where color and depth information are the inputs of the mean shift algorithm to produce initial detection of dynamic objects. An energy minimization algorithm based on the Graph Cut is used to obtain accurate segmentation regions. Visual results indicate the good performance of the segmentation algorithm presented here.

Segmentation algorithms based on Graph Cut have been very useful, however when high level cues are incorporated (information as shape or color distribution) the segmentation results in a harder energy minimization problem. In these cases, Branch and Mincut techniques are used as proposed in [60]. Shape information is relatively stable to changes in appearance and could be propagated to adjacent frames resulting in a good segmentation approach. Lee *et al.* [61] proposed a method that propagates the global shape (ground truth) for a small number of frames by using Branch and Mincut. Segmentation regions which are likely to be erroneous are identified (defined as questionable points) and a local reinforcement is performed where local appearance, shape of preliminary boundary and pairwise gradients are unified and are used to produce the final segmentation result. This result is used to update the set of shape template. The algorithm was tested using videos from different TV series and webcam sequences confirming its robustness to background clutter and camera motion. The performance decreases when the shape of the foreground changes abruptly. Another disadvantage of this algorithm is that it requires an initial ground truth set making the results dependent of these user’s inputs. In [62] a similar approach is implemented where initially a manual segmentation is performed with approximately 5% of all frames. Then a segmentation of the incoming frames is calculated with a superpixel algorithm followed by a Graph Cut method. The disadvantage of this proposal is that 60s of video sequence are analyzed in 20 – 30min.

For a complete reference of how graph algorithms are been applied to vision problems refer to [63].

2) Image Foresting Transform (IFT)

In the IFT algorithm the user must indicate a seed (or marker) pixels of the object of interest and its surrounding background. IFT finds a minimum-cost path from internal and external seeds to each pixel. IFT process the image as a graph (as Graph Cut algorithm) and can handle partially occluded objects of arbitrary shape and size. The object does not need to have a homogeneous color or texture, and it may contain internal sharp boundaries between regions of very different looks and will often recover occluded objects once they become visible again. The interior and exterior markers will define the object segmentation in the next frame. IFT results indicate that is very efficient in object segmentation tasks since it uses a variant of Dijkstra’s algorithm with the max path-cost function which can be implemented to run in $O(N)$ time for an image with N pixels, in

contrast the best algorithm used in Graph Cut runs at $O(N^{2.5})$. An example of an IFT implementation is presented by Minetto *et al.* in [64] where the algorithm is compared against OpenCV Snake, and Zhong-Chang algorithms. Even when the object of interest is partially occluded the segmentation can be performed once the object becomes visible again. Also, when the background is very similar to the foreground or the background is dynamic the segmentation performance is acceptable.

3) Level Sets

Level set functions provide a simple framework for modeling the shape and evolution of curves. Curves merge, move, brake or disappear during the course of their evolution; level set method handles all these topological changes very easily [65]. In [66] is presented one method that can track multiple moving objects on dynamic and cluttered backgrounds and can handle inter-object occlusions problems. In this algorithm an initial segmentation is performed manually and once the background and foreground are separated an algorithm that combines region, boundary and shape information is used to improve edge regions. Minimization of the energy function is achieved using Level sets. The visual results presented in this paper are very accurate, but the computational cost is high.

Xiao *et al.* [67] show another example of an interactive method. In order to group similar regions (defined as region based information) a similarity map between the current frame and the training data is calculated using GMM. An energy function which incorporates edge and region based information is proposed using level set functions. Segmentation results presented are accurate but as previously mentioned the disadvantage to implement it in real time systems is that it requires an initial user input.

Another application of a level set algorithm is presented by Prisacariu and Reid [65]. Here is proposed a method based on the derivatives of a level set segmentation energy function with respect to the pose parameters of known 3D models. Segmentation and pose are recovered by nonlinear optimization functions as gradient descend and conjugate gradients. The algorithm was implemented using a GPU achieving a real time implementation of the algorithm.

C. Clustering Based Segmentation Methods

A clustering algorithm is a very common method used to identify groups in a set of objects. In a clustering algorithm the objects in one specific group are more similar to each other that to those in a different group. Some authors have demonstrated that a clustering algorithm could be applied to segmentation tasks producing acceptable results.

Alpert *et al.* [68] implemented a method where pixels are gradually merged with its most similar neighbor to produce larger regions. Likelihood based on intensity and texture cues are defined to produce the merged regions. The results are compared against normalized cuts, mean shift, contour detection and hierarchical segmentation algorithms showing improvements in Alper’s results.

Automatic analysis of video sports has gained much attention due to its usefulness to increase performance in athletes. Hung Mao-Hsiung *et al.* [69] propose a technique to segment and analyze these kinds of videos. Initially a PDF of color

components (cb,cr) is used with the steepest ascent hill-climbing algorithm to generate clusters. They are merged into four color classes: red, green, blue and gray. The algorithm is compared against a GMM based method indicating that the algorithm proposed is significantly less computationally expensive and obtains comparable segmentation accuracy.

Silva and Scharcanski [70] select a set of points, defined as particles, and identify their trajectory based in a clustering and MS algorithm. A meta-clustering validation algorithm is implemented to compare the clusters formed in the previous step against meta-cluster prototypes in order to correct the segmentation labels. Finally a spatial filter is applied to eliminate groups of adjacent particles that are not significant. Results of the algorithm demonstrate that the parameter initialization of the MS algorithm could produce over-segmentation results. Kriechbaum *et al.* [71] also use motion information and the MS algorithm to segment moving objects. MS is applied to locate clusters to get the dominant colors of the image that can be used in the segmentation process. Kriechbaum also presents an overview of different natural based tracking techniques proposed in the last years.

Sundaram and Keutzer [72] indicate that intensity, color, texture and motion cues could be used to create an affinity matrix where its generalized eigenvectors could be calculated. A clustering algorithm is applied on the eigenvectors and 3D superpixels are obtained. This initial boundary is refined with ultrametric contour maps and it produces a segmentation result. This algorithm was implemented using CUDA for GPU programming. On average, the runtime for the segmentation was about 5 minutes for 200 frames of size 352x288.

A technique that can produce a background image based on a patch background initialization (PBI) algorithm is proposed in [73] by Colombari and Fusiello. First, camera noise is estimated using the median absolute difference algorithm. The spatial domain is subdivided into overlapping windows, on each window, cluster image patches are calculated using Sum of Squared Distances (SSD). A cluster representative is calculated with an average measure and the cluster with maximal length is selected as background. Finally the background is formed based on the background Tessellation algorithm.

III. FEATURE-BASED CLASSIFICATION

A. Depth Information

It is natural that the object of interest to segment may not have consistent color and texture features but must occupy an integrated region in the space [74]. Taking this into account there has been many researches that have used depth information in object segmentation tasks. Xia *et al.* [74] proposed to use the information provided by the Kinect to detect people in indoor environments. First, the image that is provided by Kinect is processed with the nearest neighbor interpolation algorithm to fill pixels that the sensor is not able to measure to then smooth them with median filter. A Canny edge detector is used to find edges in the depth array eliminating those that are smaller than a specified threshold. A binary head template is implemented to find regions that may contain a head. Finally a region growing algorithm finds the entire body of the person. The method is compared against

Ikemura's algorithm showing that the proposal of this paper improves in precision, recall and accuracy results. The problem that is reported is that if the head is occluded or if the person is wearing a strange hat then the method will fail.

Some other authors proposed the use of stereo-vision techniques for image and video processing using depth information for segmentation tasks where the disparity concept is much employed. Disparity is defined as the relative displacement between the left and the right image points belonging to the same object point. Disparity can be an important feature, which provides layer information to segment video object from sequences. In [75], the disparity measure and Saliency Map (SM) function are used for segmentation task. The SM features used in this paper are color, depth, contour, texture, size, location and motion. One of the problems presented in this method is camouflage; also the algorithm is time consuming causing a non feasible real time implementation.

Wei *et al.* [76] utilized stereo video information to segment objects in video sequences. Results indicate that the use of depth, disparity and spatio-temporal information produce accurate segmentation results even when the object move slowly or when multiple objects overlapped.

In [77] depth information is used to identify different objects in the video sequence. Results indicate that the limitation of this proposal is that the moving objects cannot be too far away from the camera because of the similar depth values between the background and the moving object.

J. Ruiz-Hidalgo *et al.* [78] proposed to segment the depth map and color information into homogeneous regions using the Weighted Euclidean Distance, WEDM.

Multi-view Video Systems (MVV) have good applications in Three-Dimensional Television (3DTV) and Free Viewpoint Television (FTV) because it allows the user to change her/his viewing point and direction freely. One of the problems in a MVV system is the inconsistency color between different viewpoints caused by changes in scene illumination, camera calibrations, CCD noise, etc. In [79] is proposed a color correction algorithm of MVV based on depth information. Depth in each view is calculated by disparity estimation and the background and foreground are separated using this information (background has large depth and foreground has small depth). Once that background and foreground are separated, correction factors are obtained and the color correction algorithm is implemented.

B. Motion Information

The goal in motion-based segmentation is to partition images in a video sequence into segments of coherent motion. A method that combines motion and intensity information using non parametric distributions is presented by Herbulot *et al.* in [80]. The research demonstrated that when using these two features the segmentation results improves in contrast when they are used separately. The results are compared with an algorithm based on Graph Cut indicating a better performance in the Herbulot's method.

Feng Xu *et al.* [81] indicated that the use of motion information becomes a key issue in video segmentation tasks. Xu utilizes the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) features among successive frames to estimate motion information to then

over-segment the result using graph methods. These two tasks are executed iteratively to generate a segmentation mask. The performance of the segmentation algorithm is measured using the Receiver Operating Characteristic and compared versus Will's method showing a significant improvement.

Analyzing optical flow vectors, Ranchin *et al.* [82] detected moving objects in video sequences. A classical edge detector functions is used as a weighted total variation. Ranchin's method was tested with vehicular monitoring videos demonstrating the effectiveness of the algorithm.

Denman *et al.* [83] proposed to calculate optical flow information only in dynamic regions previously calculated by a simple background subtraction algorithm. Using this scheme the computational complexity could be reduced achieving a faster processing.

In [84] an initial segmentation is performed based on dense optical flow that describes motion vector and color information where pixels belonging to the same region have coherent motion. A Markov Random Field (MRF) formulates the foreground detection problem as a labeling problem where a likelihood energy function is evaluated for classification. Regions which have the same classification label and similar colors are merged constructing the final segmentation result. Once the foreground and background are separated the background model (based on Stauffer's GMM) is updated. Visual results indicate that the algorithm can successfully eliminate shadows.

Medical analysis systems are another very important application of dynamic object segmentation where suspicious tissues are identified from a video sequence taken with specialized equipment. In [85] motion analysis is used to perform segmentation to examine the whole digestive track. Two methods are used to extract motion features ARPS (Adaptive Rod Pattern Search) and BMSD (Bayesian Multi-Scale Differential) with optical flow information.

In [86] motion compensation information is used in conjunction with a group of pixels defined as macroblocks. This work is based on Fuzzy Logic for detecting moving objects and the system classify the object as a person, group of persons, motorcycle, cars, etc. The inputs of the fuzzy system are motion vectors. One of the advantages of fuzzy logic is that the system could adapt to changes causing an improvement in the object detection step (in this particular case changing the shape of the membership functions). Because of the image is treated with macroblocks the segmentation results could be considered as identification of moving zones.

Li [87] used optical flow algorithms to model motion patterns of dynamic objects and background. Initially, Li implemented a corner detection algorithm and then calculates its optical flow vector. Using the magnitude of the optical flow and the location of the feature points Li identified different groups of dynamic objects.

Schwarz *et al.* proposed the use of depth and intensity information produced by Time of Flight (ToF) cameras or the Kinect device to generate optical flow information [88]. In cases where body parts occlude each other, optical flow is used to identify occluding limbs from the body part achieving high accuracies in the estimation of full body poses. In this research is only considered static background, but the problem of a correct identification of body parts when they are been occluded is a

very difficult task. Similarly, Abramov *et al.* [89] used depth and color information of the Kinect sensor in conjunction with optical flow to segment objects in video scenes. Later, in another research performed by Abramov *et al.* [90] optical flow information of stereo videos is calculated on a portable system with an integrated GPU. The algorithm is tested with video sequences acquired with moving cameras containing arbitrary moving objects.

Seamless video composition is the process of extracting foreground objects from a video sequence and pasting them into a new target video sequence, Zhi-Feng Xie *et al.* implemented this technique in [91]. Firstly, a foreground mask of previous frames is constructed using optical flow and propagates to the current frame and an initial trimap is formed. If the generated trimap is inefficient an interactive tool was developed to modify it. Then the discoloration and smudging artifacts are removed based on the mean and standard deviation of the definite foreground region and alpha matte information.

C. Histogram Information

When a moving camera is used in a security system is difficult to obtain accurate segmentation results due to constant changes in the background causing that subtraction background techniques cannot be employed. In [92] is proposed a spatial color histogram model based on color distribution and spatial information, defined as Spatiogram. A center voting method and Hough transform estimate the object location frame to frame. Once the object is localized a back projection technique is used for the segmentation task. The use of the voting scheme is feasible only after a modification of the spatiogram into a form similar to the R-Table of the generalized Hough transform. One of the advantages of this method is that it considers the existence of background regions which could have similar color and appearance with the object to be segmented. The disadvantage is that many parameters must to be initialized and also the algorithm is not completely automatic, in the beginning it needs a manually selection of the target to segment and model it using the proposed spatiogram method.

A method called pRAD (physics based Ridge Analysis of Distributions) is presented by Vazquez *et al.* in [93]. This method performs a histogram analysis exploiting the statistics of the ridges. This method is robust to discontinuities in histograms due to compression and noise caused by the acquisition method. Segmentation is based on the color information. The image is modeled by a set of segments that correspond to a Material Reflectance (MR) described by a distribution in histogram space where each MR is related to an object in the image. The results presented demonstrate that the chromatic information is an important cue on human segmentation tasks. The method is only tested with images, not with videos but due to the results demonstrate that this is a fast segmentation method is feasible to apply it in video sequences, especially because it can handle temporal variations due to camera movements, slight illumination changes and moving shadows.

Hu *et al.* [94] consider rainy video scenes where foreground and background pixels are separated using histogram change detection. Shadows and color reflection are removed using a diamond window mask and color analysis of moving objects.

TABLE I
MOST RELEVANT IMAGE AND VIDEO DATABASES USED TO COMPARE RESULTS IN
SEGMENTATION ALGORITHMS

Dataset	Location
Wallflower dataset	http://research.microsoft.com/en-us/um/people/jckrumm/WallFlower/TestImages.htm
PETS database	http://www.cvg.rdg.ac.uk/slides/pets.html
CAVIAR database	http://groups.inf.ed.ac.uk/vision/CAVIAR/CAVIARDATA1/
Berkeley Segmentation	http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/BSDS300/html/dataset/images.html
Caltech 101	http://www.vision.caltech.edu/feifeili/Datasets.htm
Caltech 256	http://authors.library.caltech.edu/7694/
CBCL StreetScenes	http://cbcl.mit.edu/software-datasets/streetscenes/
Imageparsing.com	http://www.imageparsing.com/
MSR Cambridge v2	http://research.microsoft.com/en-us/projects/objectclassrecognition/
TRECVID 2007	http://trecvid.nist.gov/trecvid.data.html
Microsoft Research dataset	http://research.microsoft.com/en-us/projects/i2i/data.aspx
Video Recognition Database	http://mi.eng.cam.ac.uk/research/projects/VideoRec/

Finally the edge of the moving objects is refined using connected component labeling and morphological operations.

D. Infrared Information

Some authors have investigated the option to use the information obtained from infrared videos to segmentation tasks due to the fact that moving objects may have higher temperature compared with its surrounding region. In [95] human segmentation is performed in real time videos using temperature information. Camera information is normalized and incandescent points (light bulbs) are eliminated. The image is binarized and morphological operators are used to eliminate noise in the image. An algorithm is defined to validate the content of each region and verify if it contains one human or more. The method was tested with indoor and outdoor videos showing that it could be implemented in real time applications. The performance of the person segmentation hit was of 98%. One of the problems that were reported is that when the person is too close to the camera it could be not detected as a human.

IV. VIDEO AND IMAGE DATABASE FOR SEGMENTATION TASKS

In order to evaluate the different algorithms proposed for segmentation task many investigators have opted to use the same video database and compare the segmentation results. A very common video database used in the computer vision community is the wallflower's dataset developed by Tomaya *et al.* in [96]. In this dataset are considered issues related to dynamic background, sudden and gradual illumination changes and camouflage; then it is a very complete video dataset (in particular the waving tree video sequence is very common video used to test the segmentation performance). Another very popular dataset used to test segmentation algorithms is PETS where many real scenarios are considered, for example: university public spaces, indoor and outdoor people tracking, vehicle tracking, etc., even when this dataset is used to evaluate surveillance system, in the initial stage must be implemented a dynamic object segmentation algorithm. Similar to these databases, there exist more others that present

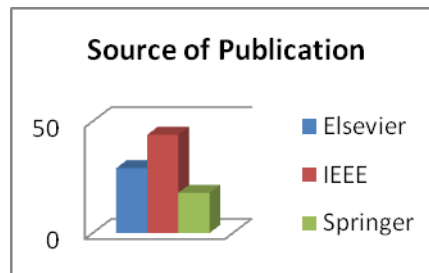


Fig. 1 Source of the consulted papers and its publication year.

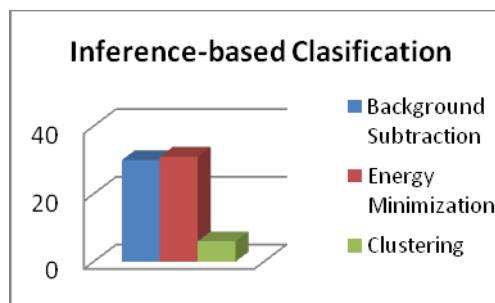


Fig. 2 Papers classification based on main method used to segment.

different challenges to the researches in order to develop robust segmentation algorithms. Table 1 summarizes these common databases used by the computer vision community to validate their new algorithm proposals. If a new segmentation algorithm is developed, it is a good option to test it with any of these databases to confirm that real or common scenarios were considered on its design.

V. CONCLUSIONS

After an exhaustive search of the latest seven years of research done in the area of dynamic object segmentation in video sequences, there were found more than 90 papers. Figure 1 shows the publication year of the consulted papers and its source.

Considering the literature review of the different methods used to obtain a robust segmentation result it is difficult to determine which ones are better but most of them made a contribution that will improve future researches. First of all, trying to classify the papers with the method used for the segmentation task was hard because most of them are based on a combination of various methods and also a combination of several features. Figure 2 shows the distribution of the different papers reviewed, classified by the main method used to segment

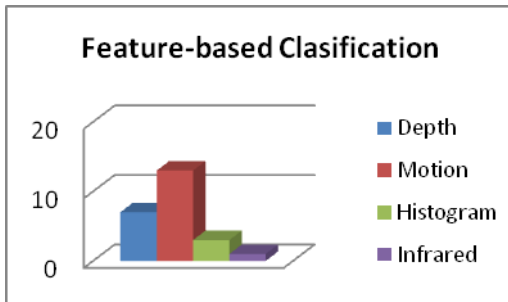


Fig. 3 Papers classification based on the feature used to segment.

defined as *Inference*-base classification. We can observe that Background Subtraction and Energy Minimization algorithms are very used among the computer vision community.

Figure 3 shows the paper distribution based on the main feature used to achieve the video segmentation results. It can be observed that motion and depth information has attracted much attention from researches.

As general conclusions we have:

- 1) The most common issues presented in video segmentation tasks are: shadows, camouflage, occlusion, dynamic background, gradual or sudden illumination changes and camera motion.
- 2) Background Subtraction algorithms are very used in segmentation tasks, particularly GMM (50% of the papers found based on background subtraction uses a GMM algorithm). The challenge on these kinds of algorithms is to build robust background models that could adapt appropriately to any possible background change. Specifically, in a GMM algorithm, each pixel could be modeled with n Gaussians. The disadvantage is that the computational time will increase as the number of Gaussians increase and also optimal parameters must be found for each Gaussian model.
- 3) Another popular algorithm is the one that is based on Energy Minimization, as Graph-Cut. It is an optimization method that is used in conjunction with other algorithms achieving very accurate segmentation results. The disadvantage on a Graph Cut algorithm is that most of them need an initial user definition of the foreground and background regions making them impractical for real time implementation. A variation on the algorithm must be considered to implement it with no user intervention.
- 4) One of the most common features used in video segmentation algorithms is motion that could be used in conjunction with probabilistic algorithms to deal with partial occlusion and camouflage problems. A common algorithm used to calculate motion information is Optical Flow where a brightness constancy assumption (BCA) is considered to calculate the pixel movement. If the information used by the BCA does not distinguish accurately the pixel movement, the motion information will be incorrect.
- 5) Depth information has demonstrated its robustness to environmental changes as illumination, dynamic background and camera motion, therefore it is considered convenient to

use it in segmentation tasks. Most of the researchers that use depth information use the Kinect to acquire it because of its low cost compared with other depth sensors. Its disadvantage is that it can only be used indoors with a maximum distance between the sensor and the dynamic object of 4m approximately.

- 6) In order to implement the segmentation of moving objects and meet a real time execution various authors have chosen to implement their algorithms in a GPU.

REFERENCES

- [1] Ajay K. Mishra, Yiannis Aloimonos, Loong-Fah Cheong, and Ashraf A. Kassim, "Active Visual Segmentation," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions On*, vol. 34, no. 4, pp. 639-653, April 2012.
- [2] Hongliang Li and King Ngi Ngan, *Image/Video Segmentation: Current Status, Trends, and Challenges*: Springer New York, 2011.
- [3] Faliu Yi and Inkyu Moon, "Image segmentation: A survey of graph-cut methods," *International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), IEEE*, pp. 1936- 1941, May 2012.
- [4] S. Thilagamani and N. Shanthi, "A Survey on Image Segmentation Through Clustering," *International Journal of Research and Reviews in Information Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 14-17, March 2011.
- [5] J. Candamo, M. Shreve, D.B. Goldgof, D.B. Sapper, and R. Kasturi, "Understanding Transit Scenes: A Survey on Human Behavior-Recognition Algorithms," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 11, no. 1, pp. 206- 224, March 2010.
- [6] C. Stauffer and W.E.L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. IEEE Computer Society Conference on*, vol. 2, Fort Collins, CO, 1999.
- [7] Kofi Appiah, Andrew Hunter, Patrick Dickinson, and Hongying Meng, "Accelerated hardware video object segmentation: From foreground detection to connected components labelling," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 114, no. 11, pp. 1282-1291, November 2010.
- [8] M. Genovese and E. Napoli, "FPGA-based architecture for real time segmentation and denoising of HD video," *Journal of Real Time Image Processing*, pp. 1-13, Dec 2011.
- [9] Yuan Yuan, Yanwei Pang, Jing Pan, and Xuelong Li, "Scene segmentation based on IPCA for visual surveillance," *Neurocomputing*, vol. 72, no. 10-12, pp. 2450-2454, June 2009.
- [10] Jiaming Zhang and Chi Hau Chen, "Moving Objects Detection and Segmentation In Dynamic Video Backgrounds," in *Technologies for Homeland Security, 2007 IEEE Conference on*, Woburn, MA, May 2007, pp. 64- 69.
- [11] Wei-Kai Chan and Shao-Yi Chien, "Real-Time Memory-Efficient Video Object Segmentation in Dynamic Background with Multi-Background Registration Technique," in *Multimedia Signal Processing, 2007. MMSp 2007. IEEE 9th Workshop on*, Crete, 2007, pp. 219- 222.
- [12] Kaiqi Huang and Tieniu Tan, "Vs-star: A visual interpretation system for visual surveillance," *Pattern Recognition Letters*, vol. 31, no. 14, pp. 2265-2285, October 2010.
- [13] Daozheng Chen, Mustafa Bilgic, Lise Getoor, and David Jacobs, "Dynamic Processing Allocation in Video," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 11, pp. 2174-2187, November 2011.
- [14] Xiaomu Song and Guoliang Fan, "Selecting Salient Frames for Spatiotemporal Video Modeling and Segmentation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 12, pp. 3035- 3046, Dec 2007.
- [15] Yunyoung Nam, Seungmin Rho, and Jong Hyuk Park, "Intelligent video surveillance system: 3-tier context-aware surveillance system with metadata," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 57, no. 2, pp. 315-334, 2012.
- [16] YingLi Tian, Andrew Senior, and Max Lu, "Robust and efficient foreground analysis in complex surveillance videos," *Machine Vision and Applications*, Oct 2011.
- [17] Herong Zheng, Zhi Liu, and Xiaofeng Wang, "Research on the video segmentation method with integrated multi-features based on GMM," in *Digital Image Processing, 2009 International Conference on*, Bangkok, pp. 62- 66.
- [18] Y. Hishinuma, T. Suzuk, K. Nakagami, and T. Nishitani, "Transformed domain GMM foreground segmentation for mobile video camera," in *Image*

- Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on, Hong Kong, 2010, pp. 2217- 2220.
- [19] Qingsong Zhu and Zhan Song, "A Novel Recursive Bayesian Learning Method for Video Segmentation," in Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on, Harbin, 2010, pp. 1690- 1693.
- [20] Zheng Li, Pohuang Jiang, Hong Ma, Jian Yang, and DongMing Tang, "A model for dynamic object segmentation with kernel density estimation based on gradient features," *Image and Vision Computing*, vol. 27, no. 6, pp. 817–823, May 2009.
- [21] Qingsong Zhu, Guanzheng Liu, and Yaoqin Xie, "Dynamic Video Segmentation via a Novel Recursive Kernel Density Estimation," in Image and Graphics (ICIG), 2011 Sixth International Conference on, Hefei, Anhui, 2011, pp. 452- 455.
- [22] Qingsong Zhu and Zhan Song, "A Novel Recursive Bayesian Learning-Based Method for the Efficient and Accurate Segmentation of Video With Dynamic Background," *TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, IEEE, vol. 21, no. 9, pp. 3865-3876, Sept 2012.
- [23] Csaba Benedek and Tamás Szirányi, "Bayesian Foreground and Shadow Detection in Uncertain Frame Rate Surveillance Videos," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 4, pp. 608- 621, April 2008.
- [24] Carlos Cuevas, Carlos R. del Blanco, Narciso García, and Fernando Jaureguizar, "Segmentation-tracking feedback approach for high-performance video surveillance applications," in *Image Analysis & Interpretation (SSIAI)*, 2010 IEEE Southwest Symposium on, Austin, TX, 2010, pp. 41- 44.
- [25] Jui-Hsin Lai, Chieh-Li Chen, Chieh-Chi Kao, and Shao-Yi Chien, "Tennis Video 2.0: A new presentation of sports videos with content separation and," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 22, no. 3, pp. 271–283, April 2011.
- [26] Wei-Yao Chiu and Du-Ming Tsai, "Dual-mode detection for foreground segmentation in low-contrast video images," *Journal of Real Time Image Processing*, Jan 2012.
- [27] Wu-Chih Hua, Ching-Yu Yang, and Deng-Yuan Huang, "Robust real-time ship detection and tracking for visual surveillance of," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 22, no. 6, pp. 543–556, Aug 2011.
- [28] Du-Ming Tsai and Shia-Chih Lai, "Independent Component Analysis-Based Background Subtraction for Indoor Surveillance," *Image Processing, IEEE Transactions On*, vol. 18, no. 1, pp. 158-167, Jan 2009.
- [29] Olivier Barnich and Marc Van Droogenbroeck, "ViBe: A Universal Background Subtraction Algorithm for Video Sequences," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 6, pp. 1709- 1724, June 2011.
- [30] David Schreiber and Michael Rauter, "GPU-based non-parametric background subtraction for a practical surveillance system," in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, 2009 IEEE 12th International Conference on, Kyoto, 2009, pp. 870- 877.
- [31] J. L. A. Samatelo and E. O. T. Salles, "A New Change Detection Algorithm for Visual Surveillance System," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol. 10, no. 1, pp. 1221- 1226, Jan 2012.
- [32] Lucia Maddalena and Alfredo Petrosino, "A Self-Organizing Approach to Background Subtraction for Visual Surveillance Applications," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 7, pp. 1168- 1177, July 2008.
- [33] Ariel Amato, Mikhail G. Mozerov, Andrew D. Bagdanov, and Jordi González, "Accurate Moving Cast Shadow Suppression Based on Local Color Constancy Detection," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 10, pp. 2954- 2966, Oct 2011.
- [34] Luc Vosters, Caifeng Shan, and Tommaso Gritti, "Real-time robust background subtraction under rapidly changing illumination conditions," *Image and Vision Computing*, vol. 30, no. 12, pp. 1004-1015, December 2012.
- [35] Chao-Yang Lee, Shou-Jen Lin, Chen-Wei Lee, and Chu-Sing Yang, "An efficient continuous tracking system in real-time surveillance application," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, no. 3, pp. 1067–1073, May 2012.
- [36] Ivan Huerta, Ariel Amato, Xavier Roca, and Jordi Gonz, "Exploiting multiple cues in motion segmentation based on background subtraction," *Neurocomputing*, no. 100, pp. 183–196, 2013.
- [37] Taegyu Lim, Bohyung Han, and Joon H Han, "Modeling and segmentation of floating foreground and background in videos," *Pattern Recognition*, vol. 45, no. 4, pp. 1696–1706, April 2012.
- [38] Chen MinGang, BoCong Sui, Yan Gao, and LiZhuang Ma, "Efficient video cutout based on adaptive multilevel banded method," *Science China Information Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 1082-1092, May 2012.
- [39] Qian Zhang and King Ngi Ngan, "Multi-view video based multiple objects segmentation using graph cut and spatiotemporal projections," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 21, no. 5-6, pp. 453–461, August 2010.
- [40] Qian Zhang and King Ngi Ngan, "Segmentation and Tracking Multiple Objects Under Occlusion From Multiview Video," *EEE Trans Image Process.*, vol. 20, no. 11, pp. 3308-3313, Nov 2011.
- [41] Qiang Liu, Hongliang Li, and King Ngi Ngan, "Automatic body segmentation with graph cut and self-adaptive initialization level set (SAILS)," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 22, no. 5, pp. 367–377, July 2011.
- [42] Nicolas Papadakis and Aurelie Bugeau, "Tracking with Occlusions via Graph Cuts," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions On*, vol. 33, no. 1, pp. 144- 157, Jan 2011.
- [43] P Kohli and P.H.S Torr, "Dynamic Graph Cuts for Efficient Inference in Markov Random Fields," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions On*, vol. 29, no. 12, pp. 2079- 2088, Dec 2007.
- [44] Xue Bai and Guillermo Sapiro, "Geodesic Matting: A Framework for Fast Interactive Image and Video Segmentation and Matting," *International Journal of Computer Vision*, vol. 82, no. 2, pp. 113-132, 2009.
- [45] Varun Gulshany, Carsten Rotherz, Antonio Criminisiz, Andrew Blakez, and Andrew Zisserman, "Geodesic Star Convexity for Interactive Image Segmentation," in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 IEEE Conference on, San Francisco, CA, June 2010, pp. 3129- 3136.
- [46] Zhen Tang, Zhenjiang Miao, Yanli Wan, and Dianyong Zhang, "Video matting via opacity propagation," *The Visual Computer*, vol. 28, no. 1, pp. 47-61, 2012.
- [47] Bineng Zhong *et al.*, "Background subtraction driven seeds selection for moving objects segmentation and matting," *Neurocomputing*, vol. 1, no. 103, pp. 132–142, 2013.
- [48] Yu Zhou, An-wen Shen, and Jin-bang Xu, "Non-interactive automatic video segmentation of moving targets," *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, vol. 13, no. 10, pp. 736-749, October 2012.
- [49] Zhen Tang, Yanli Wan, and Forrest F. Jesse, "Foreground prediction for bilayer segmentation of videos," *Journal Pattern Recognition Letters*, vol. 32, no. 14, pp. 1720-1734, Oct 2011.
- [50] Vibhav Vineet and P. J. Narayanan, "CUDA Cuts: Fast Graph Cuts on the GPU," in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2008. CVPRW '08. IEEE Computer Society Conference on, Anchorage, AK, 2008*, pp. 1- 8.
- [51] Jean-Yves Guillemaut and Adrian Hilton, "Joint Multi-Layer Segmentation and Reconstruction for Free-Viewpoint Video Applications," *International Journal of Computer Vision*, vol. 93, no. 1, pp. 73-100, 2011.
- [52] Natan Jacobson, Yen-Lin Lee, Vijay Mahadevan, Nuno Vasconcelos, and Truong Q. Nguyen, "A Novel Approach to FRUC Using Discriminant Saliency and Frame Segmentation," *Journal IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, no. 11, pp. 2924-2934, Nov 2010.
- [53] Pei Yin, Antonio Criminisi, John Winn, and Irfan Essa, "Bilayer Segmentation of Webcam Videos Using Tree-Based Classifiers," *Journal IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 1, pp. 30-42, Jun 2011.
- [54] Li Cheng, Minglun Gong, Dale Schuurmans, and Terry Caelli, "Real-Time Discriminative Background Subtraction," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, no. 5, pp. 1401-1414, May 2011.
- [55] Jaume Civit and Oscar Divorra Escoda, "Robust foreground segmentation for GPU architecture in an immersive 3D videoconferencing system," in *Multimedia Signal Processing (MMSP)*, 2010 IEEE International Workshop on, Saint Malo, 2010, pp. 75- 80.
- [56] Varun Gulshan, Victor Lempitsky, and Andrew Zisserman, "Humanising GrabCut: Learning to segment humans using the Kinect," in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, 2011 IEEE International Conference on, Barcelona, 2011, pp. 1127- 1133.
- [57] Guofeng Zhang, Jiaya Jia, Wei Hua, and Hujun Bao, "Robust Bilayer Segmentation and Motion/Depth Estimation with a Handheld Camera," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 33, no. 3, pp. 603- 617, March 2011.
- [58] Liang Wang *et al.*, "Automatic Real-Time Video Matting Using Time-of-Flight," *International Journal of Computer Vision*, vol. 97, no. 1, pp. 104-121, 2012.

- [59] Meir Johnathan Dahan, Nir Chen, Ariel Shamir, and Daniel Cohen-Or, "Combining color and depth for enhanced image segmentation and retargeting," *The Visual Computer*, 2011.
- [60] Victor Lempitsky, Andrew Blake, and Carsten Rother, "Image Segmentation by Branch-and-Mincut," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 15-29, 2008.
- [61] Soochahn Lee, Il Dong Yun, and Sang Uk Lee, "Robust bilayer video segmentation by adaptive propagation of global shape and local appearance," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 21, no. 7, pp. 665-676, Oct 2010.
- [62] E. Lomakina Rummyantseva, P. Voronin, D. Kropotov, D. Vetrov, and A. Konushin, "Video Tracking and Behavior Segmentation of Laboratory Rodents," *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 19, no. 4, pp. 616-622, 2009.
- [63] Pedro F. Felzenszwalb and Ramin Zabih, "Dynamic Programming and Graph Algorithms in Computer Vision," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 33, no. 4, pp. 721-740, April 2011.
- [64] R. Minetto *et al.*, "IFTrace: Video segmentation of deformable objects using the Image Foresting Transform," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 116, no. 2, pp. 274-291, Feb 2012.
- [65] Victor A. Prisacariu and Ian D. Reid, "PWP3D: Real-Time Segmentation and Tracking of 3D Objects," *International Journal of Computer Vision*, vol. 98, no. 3, pp. 335-354, 2012.
- [66] Mohand Saïd Allili and Djemel Ziou, "Active contours for video object tracking using region, boundary and shape information," *Journal Signal, Image and Video Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 101-117, 2007.
- [67] Chunxia Xiao, Jijia Gan, and Xiangyun Hu, "Fast level set image and video segmentation using new evolution indicator operators," *The Visual Computer*, pp. 1-13, Feb 2012.
- [68] Sharon Alpert, Meirav Galun, Achi Brandt, and Ronen Basri, "Image Segmentation by Probabilistic Bottom-Up Aggregation and Cue Integration," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 34, no. 2, pp. 315-327, Feb 2012.
- [69] Hung Mao-Hsiung, Hsieh Chaur-Heh, and Kuo Chung-Ming, "Generalized playfield segmentation of sport videos using color features," *Pattern Recognition Letters*, vol. 32, no. 7, pp. 987-1000, May 2011.
- [70] Luciano S. Silva and Jacob Scharcanski, "Video Segmentation Based on Motion Coherence of Particles in a Video Sequence," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 4, pp. 1036-1049, April 2010.
- [71] Andreas Kriebbaum, Roland Mörzinger, and Georg Thallinger, "A framework for unsupervised mesh based segmentation of moving objects," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 50, no. 1, pp. 7-28, 2010.
- [72] Narayanan Sundaram and Kurt Keutzer, "Long term video segmentation through pixel level spectral clustering on GPUs," in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, 2011 IEEE International Conference on, Barcelona, España, 2011, pp. 475-482.
- [73] A. Colombari and A. Fusiello, "Patch-Based Background Initialization in Heavily Cluttered Video," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 4, pp. 926-933, April 2010.
- [74] Lu Xia, Chia-Chih Chen, and J. K. Aggarwal, "Human Detection Using Depth Information by Kinect," *International Workshop on Human Activity Understanding from 3D Data in conjunction with CVPR (HAU3D)*, June 2011.
- [75] Ouyang Xingming and Wei Wei, "Video Object Segmentation Based on Disparity," *Advances in Web and Network Technologies, and Information Management*, vol. 5731, pp. 36-44, 2009.
- [76] Jian Wei, Shigang Wang, and Liwei Chen, "Adaptive Stereo Video Object Segmentation Based on Depth and Spatio-Temporal Information," in *Computer Science and Information Engineering*, 2009 WRI World Congress on, Los Angeles, CA, 2009, pp. 140-144.
- [77] Y. Ma, S. Worrall, and A.M. Kondoz, "Automatic Video Object Segmentation Using Depth Information and an Active Contour Model," in *Multimedia Signal Processing*, 2008 IEEE 10th Workshop on, Cairns, Qld, Oct 2008, pp. 910-914.
- [78] J. Ruiz-Hidalgo, J.R. Morros, P. Aflaki, F. Calderero, and F. Marqués, "Multiview depth coding based on combined color/depth segmentation," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 23, no. 1, pp. 42-52, July 2012.
- [79] Yue Fei, Mei Yu, Feng Shao, and Gangyi Jiang, "A Color Correction Algorithm of Multi-view Video Based on Depth Segmentation," in *Computer Science and Computational Technology*, 2008. ISCSCT '08. International Symposium on, Shanghai, 2008, pp. 206-209.
- [80] Ariane Herbulot, Sylvain Boltz, Eric Debreuve, Michel Barlaud, and Gilles Aubert, "Space-Time Segmentation Based on a Joint Entropy with Estimation of Nonparametric Distributions," in *SSVM'07 Proceedings of the 1st international conference on Scale space and variational methods in computer vision*, 2007, pp. 721-732.
- [81] Feng Xu, Kin-Man Lam, and Qionghai Dai, "Video-object segmentation and 3D-trajectory estimation for monocular video sequences," *Image and Vision Computing*, vol. 29, no. 2-3, pp. 190-205, Feb 2011.
- [82] Florent Ranchin, Antonin Chambolle, and Françoise Dibos, "Total Variation Minimization and Graph Cuts for Moving Objects Segmentation," *Scale Space and Variational Methods in Computer Vision*, vol. 4485, pp. 743-753, 2007.
- [83] Simon Denman, Clinton Fookes, and Sridha Sridharan, "Improved Simultaneous Computation of Motion Detection and Optical Flow for Object Tracking," *Proceedings of the 2009 Digital Image Computing: Techniques and Applications, IEEE*, pp. 175-182, Dec 2009.
- [84] Shih-Shih Huang, Li-Chen Fu, and Pei-Yung Hsiao, "Region-Level Motion-Based Background Modeling and Subtraction Using MRFs," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 5, pp. 1446-1456, May 2007.
- [85] Baopu Li, Max Q.-H. Meng, and Chao Hu, "Motion analysis for capsule endoscopy video segmentation," in *Automation and Logistics (ICAL)*, 2011 IEEE International Conference on, Chongqing, 2011, pp. 46-51.
- [86] C. Solana Cipres, G. Fernandez Escribano, L. Rodriguez Benitez, J. Moreno Garcia, and L. Jimenez Linares, "Real-time moving object segmentation in H.264 compressed domain based on approximate reasoning," *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 51, no. 1, pp. 99-114, Dec 2009.
- [87] Jianjun Yin Yanbin Han Wendi Hou Jinping Li, "Detection of the Mobile Object with Camouflage Color Under Dynamic Background Based on Optical Flow," *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 2201-2205, 2011.
- [88] Loren Arthur Schwarz, Artashes Mkhitarian, Diana Mateus, and Nassir Navab, "Human skeleton tracking from depth data using geodesic distances and optical flow," *Image and Vision Computing*, vol. 30, no. 3, pp. 217-226, March 2012.
- [89] Alexey Abramov, Karl Pauwels, Jeremie Papon, Florentin Worgoten, and Babette Dellen, "Depth-supported real-time video segmentation with the Kinect," *Applications of Computer Vision, IEEE*, pp. 457-464, 2012.
- [90] Alexey Abramov, Karl Pauwels, Jeremie Papon, Florentin Worgoten, and Babette Dellen, "Real-Time Segmentation of Stereo Videos on a Portable System With a Mobile GPU," *Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, IEEE*, vol. 22, no. 9, pp. 1292-1305, 2012.
- [91] Zhi-Feng Xie, Yang Shen, Li-Zhuang Ma, and Zhi-Hua Chen, "Seamless video composition using optimized mean-value cloning," *The Visual Computer*, vol. 26, no. 6-8, pp. 1123-1134, 2010.
- [92] Suryanto, Dae-Hwan Kim, and Hyo-Kak Kim, "Spatial color histogram based center voting method for subsequent object tracking and segmentation," *Image and Vision Computing*, vol. 29, no. 12, pp. 850-860, Nov 2011.
- [93] Eduard Vazquez, Ramon Baldrich, Joost Van de Weijer, and Maria Vanrell, "Describing Reflectances for Color Segmentation Robust to Shadows, Highlights, and Textures," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 33, no. 5, pp. 917-930, May 2011.
- [94] Wu-Chih Hu, Yan-Ting Ye, Chao-Ho Chen, and Deng-Yuan Huang, "Video object segmentation in rainy situations based on difference scheme with object structure and color analysis," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 23, no. 2, pp. 303-312, Feb 2012.
- [95] Antonio Fernández Caballero, José Carlos Castillo, Juan Serrano Cuerda, and Saturnino Maldonado Bascón, "Real-time human segmentation in infrared videos," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 2577-2584, March 2011.
- [96] Kentaro Toyama, John Krumm, and Barry Brumitt, "Wallflower: Principles and practice of background maintenance," *IEEE International Conference on Computer Vision*, 1999.



Graciela Ramírez Alonso was born in Chihuahua, Mexico in 1980. She received the BSc(2002) and the MSc.(2004) degrees in Electrical Engineering from the Chihuahua Institute of Technology, Chihuahua, Chih., Mexico.

Currently, she is a PhD student of the Institute of Technology, Chihuahua, Chihuahua, Mexico. Her research interest includes computer vision, video signal processing and pattern recognition.



Mario I. Chacón Murguía was born in Chihuahua, Mexico in 1959. He received the BSc(1982) and the MSc.(1985) degrees in Electrical Engineering from the Chihuahua Institute of Technology, Chihuahua, Chih., Mexico, and the Ph.D.(1998) in Electrical Engineering from New Mexico State University, Las Cruces NM, USA.

His professional experience includes positions as a Graduate Research and Teaching Assistant at New Mexico State University. He has also developed research projects for several companies. He currently works as a Research Professor at the Chihuahua Institute of Technology, in Chihuahua, Chih., Mexico. He has published more than 105 works in international and national journals and congresses and published 2 books. His current research includes visual perception, computer vision, image and signal processing using computational intelligence, and patten recognition.

Dr. Chacon is a Senior member of The IEEE, member of the IEEE Signal Processing Society, IEEE Computational Intelligence Society and member of the National Research System in Mexico.



RIEE&C

Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación

INVITACIÓN A FORMAR PARTE DEL COMITÉ REVISOR

El Instituto Tecnológico de Sonora a través del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica pone en marcha la Revista RIEE&C (ISSN: 1870-9532) con el fin de coadyuvar a la difusión científica y cultural en el país en las áreas de Electrónica, Eléctrica y Sistemas Computacionales. RIEE&C es un espacio donde se pueden publicar resultados científicos y de desarrollo tecnológico tanto para investigadores como para estudiantes de nivel superior.

En esta revista se publican artículos de investigación con resultados originales y deseamos que dichos artículos estén sujetos a un estricto arbitraje realizado por investigadores líderes en su especialidad, adscritos a instituciones nacionales y extranjeras. Lo anterior con el objetivo de ser incluida en el índice de revistas reconocidas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

Por lo anterior le hacemos una cordial invitación para que forme parte del grupo de revisores de la revista RIEE&C. En busca de indexarse, RIEE&C crea un expediente de cada uno de sus revisores, por lo que en caso de aceptar la invitación, se le solicita envíe su currículum vitae así como una copia de la cédula profesional o copia del título del máximo grado académico obtenido. Es importante que su currículum contenga datos como:

- Número de cédula profesional.
- Grado académico.
- Áreas de interés.
- Centro de trabajo.

Estos datos deberán ser enviados a la dirección de correo electrónico rieandc@itson.edu.mx. También le invitamos a conocer nuestra página electrónica en la dirección <http://www.itson.mx/rieeyc>.

Atentamente

José Antonio Beristáin Jiménez
Editor en Jefe de la RIEE&C
Instituto Tecnológico de Sonora
Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica



En el Instituto Tecnológico de Sonora ofrecemos la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, opción: Energía Eléctrica.

Objetivo del programa:

Formar recurso humano capaz de generar conocimiento y tecnología relacionados con energía para el desarrollo regional sustentable a través de proyectos innovadores en alianzas estratégicas con los sectores productivo y social.

Líneas de generación y aplicación del conocimiento:

- Calidad de la energía eléctrica.
- Generación y uso eficiente de la energía eléctrica.

Podrá desempeñarse en las siguientes áreas:

- Soluciones alternativas de generación de energía eléctrica.
- Uso eficiente y calidad de la energía eléctrica.
- Docencia.
- Investigación.

• Para ingresar al posgrado se deberá contar con licenciatura afín, razonamiento verbal y numérico, pensamiento lógico estructurado, capacidad para trabajar en equipo y el autoaprendizaje, aptitud para la investigación científica, habilidad para identificar y resolver problemas, espíritu emprendedor y creativo.

Contacto:
Responsable de Programa Educativo
Unidad Obregón / Campus Nainari
Centro de Atención Docente (CAD)
Teléfono: 4109000 ext.1681
Email: mcie_posgrado@itson.edu.mx
Página web: <http://www.itson.mx/oferta/mciee>



ITSON
Educar para
Trascender



RIEE&C

Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

RIEE&C, Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación (ISSN: 1870-9532) se publica semestralmente. Se aceptan artículos originales en aplicaciones de la ciencia, desarrollo de nueva tecnología o soluciones eficientes de ingeniería, siempre y cuando no hayan sido publicados o estén bajo consideración para publicarse en alguna otra revista.

Todos los documentos deberán enviarse al editor en jefe de RIEE&C, José Antonio Beristáin Jiménez, por e-mail a: rieecandc@itson.edu.mx.

Los artículos se revisarán por especialistas en el área y dictaminarán si el artículo es apropiado para su publicación. No se deberán enviar manuscritos directamente a los editores asociados.

Los manuscritos enviados por los autores deberán seguir el formato que muestra la guía para el autor, la cual se encuentra en la página de internet <http://www.itson.mx/rieeyc>.



ITSON
Educar para
Trascender