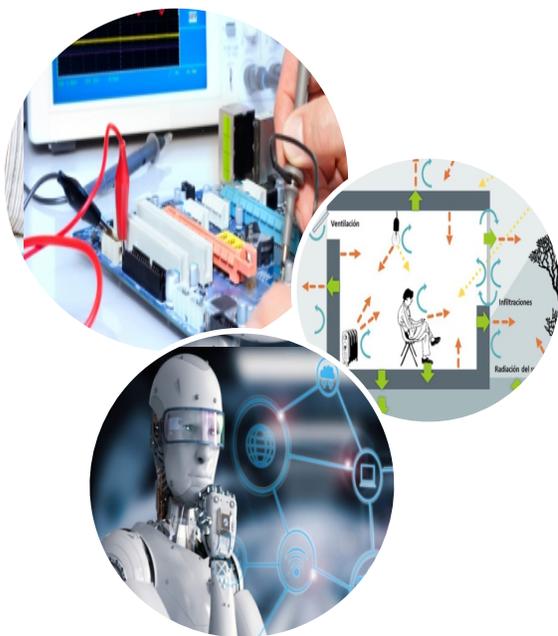


TECNOLOGÍA Y CIENCIA APLICADA

Enero-Junio 2019

Vol.2/ Núm.1

ISSN en trámite



2019



<https://www.cenidet.edu.mx/revistajornadacienciaytecnologiaaplicada.php>

EDITORES

Dr. Ricardo Fabricio Escobar Jiménez
esjiri@cenidet.edu.mx

Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo
gloriaosorio@cenidet.edu.mx

Dr. Rodolfo Amalio Vargas Méndez
rodolfovm@cenidet.edu.mx

Editores Asociados

Dr. Gerardo Vicente Guerrero Ramírez
gerardog@cenidet.edu.mx

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez
ncastro@cenidet.edu.mx

Dr. Arturo Abundez Pliego
abundez@cenidet.edu.mx

Dr. Manuel Mejía Lavallo
mlavallo@cenidet.edu.mx

Índice

Artículos

2-D Superpixel Oversegmentation of Images Evaluated by Different Color Spaces, *David Domínguez López, Dante Mújica-Vargas, Diego C. Luna Márquez*

A Comparative Assessment of Cryptography Algorithms for Data Analytics Applications in Smart Metering Systems, *Juan C. Olivares-Rojas, Enrique Reyes-Archundia, José A. Gutiérrez-Gnecchi, Johan W. González-Murueta, Jaime Cerda Jacobo, Adriana C. Téllez-Anguiano*

Abordando Eficientemente el Problema del Camino más Corto mediante Redes Neuronales de Tercera Generación, *Manuel Mejía-Lavalle, José J. Paredes-Cano, Humberto Sossa*

Aplicación de redes neuronales artificiales para la predicción de la temperatura de confort en edificios ubicados en un clima tropical Aw, *Luis A. López Pérez, J. Jassón Flores Prieto, Carlos Ríos Rojas.*

Cámara de Ambiente Controlado para la Caracterización de Muros de Viviendas, *Baeza Carrillo José Alfredo, Landero Masté Alejandro Antonio, Aguilar Castro Karla María, Macias Melo Edgar Vicente, Pérez Olán Isa Yadira, Hernández-Pérez Iván Alejandro*

Construcción de un corpus lingüístico a partir de tweets tomando como base un tema específico, *Cristian de Jesús López Pérez, Alicia Martínez Rebollar, María Yasmín Hernández Pérez*

Detección automática de ansiedad: Una revisión sistemática del trastorno de ansiedad generalizada, *Cuevas Chávez P. Alejandra, Martínez R. Alicia, Sánchez G. A. Fabiola*

Diseño Conceptual de Máquina de Ensayos Cíclicos para Prótesis Transtibiales Tipo P4 Bajo ISO 10328 con Actividad K3, *Cid Ibarra Alan Steven, Peraza Navarrete Francisco Aarón, Valencia Elenes Efredn Eduardo, Siqueiros Hernández Miriam, González Vizcarra Benjamín*

Diseño y Construcción de una Incubadora Automática de Huevos, *A.R. Bautista-Pérez, I. Hernández-Pérez, K.M. Aguilar-Castro, I.Y. Pérez-Olán, L.E. Ángeles-Montero, J.C. Hernández-Méndez*

Diseño y ensamble mecánico de un sistema de suavización de agua, *MIA. Santos Olvera Orlando K.' Ojeda Barroso José A.' MC. Vázquez Chávez Luis A.*

Distribucion Semántica para el Análisis y la Clasificación de Documentos de Texto, *Ing. Armando Rojas Valdez, Dr Noé Alejandro Castro Sánchez, Dr Gerardo Eugenio Sierra Martinez*

Fuzzy Control of Stewart Platform with Artificial Vision, *Ángel Arturo Rendón Castro, Jesus Antonio Luna Álvarez, Dante Mújica Vargas*

Localización de dispositivos móviles en espacios cerrados utilizando la tecnología de beacons, *Daniel Cervantes, Alicia Martínez, Juan F. Mosiño, Javier Ortiz*

Método para la generación de resúmenes personalizados de textos en español, *Uriel Ramírez, Yasmín Hernández, Alicia Martínez*

Modelado de Sistemas no Lineales con Acoplamiento de Incertidumbre mediante Redes Neuronales Dinámicas, *Lis Beatriz Govea Moreno, Juan Reyes Reyes*

Sistema de Transporte Inteligente para Predecir los Tiempos de Arribo del Transporte Público, *Andrés Ocampo Ortiz, Alicia Martínez Rebolgar, Javier Ortiz*

The Theta* Algorithm for Path Calculation, *Diego Carlos Luna Márquez, Dante Mújica Vargas, Ana Monserrat Rojas Fernández*

Uso de Color en la Detección de Puntos Destacados, *Sergio González, José Ruiz*

Pósters

Algoritmo EMF para Eficientar la Búsqueda de Soluciones en Problemas de Inteligencia Artificial, *Dr Manuel Mejía Lavalle, Dra Andrea Magadán Salazar, Francisco Javier Castillo Flores*

Caracterización de un Banco de Supercapacitores y Batería de LiFePO₄ y su aplicación en el diagnóstico de fallas, *Diana Arleth Muñoz Menéndez, Dr. José Francisco Gómez Aguilar, Dra. Ma. Guadalupe López López.*

Definición e implementación de restricciones para un esquema de clasificación de servicios Web de aprendizaje, *I.S.C. Marianita Uriostegui Cuadra, Dra. Olivia Graciela Fragosó Díaz*

Detección y localización de fallas en actuadores de una central termoeléctrica, *Ing. Jorge Yusef Colín Castillo, Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo, Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza, Dr. Guadalupe Madrigal Espinoza*

Diseño de filtros fraccionarios y su aplicación en la detección de características y reconstrucción de imágenes, *Ing. Jonathan Diego Pereyra Guzmán, Dr. José Francisco Gómez Aguilar*

Diseño de un sistema de iluminación inteligente para micro-redes de CD, *Luis Bryan Domínguez Barrera, Jaime Eugenio Arau Roffiel, Gabriel Calzada Lara*

Dispositivo para la determinación de coeficientes de difusión de calor en materiales de construcción, *Landero Masté Alejandro Antonio, Baeza Carrillo José Alfredo, Macías Melo Edgar Vicente, Aguilar Castro Karla María*

Ecuación de celdas conectadas en serie para almacenamiento de energía, *Gerardo Ocampo, Abraham Claudio, Luis G. Vela*

Evaluación del Modelo Neuronal de Intersección Cortical para la Segmentación de Imágenes Médicas, *José Luis Soto Piña, Manuel Mejía Lavalle*

Evaluación de un algoritmo Neuronal Pulsante Bidireccional para la Planeación de Trayectorias Discretas en 2D para Robots Móviles, *Oliver Eder Espinosa Meneses, Dr. Manuel Mejía Lavalle*

Generación de Servicios Web de Aprendizaje para un proceso de negocio, *Julia Guadalupe Juárez Hernández, Dra. Olivia Graciela Fragosa Díaz*

Geolocalización y estudio de la movilidad de personas en espacios cerrados a partir de emisores WiFi y beacons, *Regino Infante Covarrubias, Javier Ortiz Hernández, Alicia Martínez Rebollar, Salomón García Paredes*

Gestión de Servicios Web de Aprendizaje con contenido para su composición automática, *Iván Humberto Fuentes Chab, Dra. Olivia Graciela Fragosa Díaz*

Hacia la inclusión de la Inteligencia Artificial en problemas de Alineación de Secuencias en Genómica, *Omar Guzmán Ruiz, Dr. Manuel Mejía Lavalle, Dra. Perla A. Troncoso Rey*

Inversor para un sistema fotovoltaico interconectado a red con funciones auxiliares, *Ing. Miguel Francisco Sabido Borges, Dr. Jesús Darío Mina Antonio, Dr. Humberto Raúl Jiménez Grajales*

Medición de nivel de Interfases Líquidas, *Cesar Augusto Peregrino de la Cruz*

Mejoramiento de imágenes médicas luminosas utilizando el Modelo de Intersección Cortical, *Kevin Salvador Aguilar Domínguez, Manuel Mejía Lavalle, Juan Humberto Sossa Azuela*

Planificación y Control del Movimiento de un Robot Diferencial basado en Tracción y Frenado Pulsantes, *Oyuki G. Vega Maqueda, Juan Reyes Reyes*

Realidad Virtual para el Sector Energético, *Miguel Pérez Ramírez*

Reconstrucción de fallas en actuadores basada en observadores de aprendizaje para sistemas LPV, *Ing. Israel Isaac Zetina Rios, Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo, Dr. Guadalupe Madrigal Espinosa*

Representación Vectorial de Oraciones Argumentativas Clasificadas con el Paradigma Neuronal Perceptron, *Kenia Nieto Benítez, Noé Alejandro Castro Sánchez, Manuel Mejía Lavalle, Héctor Jiménez Salazar*

Sistema Fotovoltaico Aislado para Aplicaciones Domésticas, *Ing. Miguel Ángel Escalante Carbajal*

Suplantación de identidad en imágenes faciales, *Ing. Wendy Valderrama Cárdenas, Dra. Andrea Magadán Salazar*

Fuzzy Control of Stewart Platform with Artificial Vision

Arturo Rendón-Castro * Antonio Luna-Álvarez ***
Dante Mújica-Vargas **

* CENIDET, Cuernavaca, México (angel.rendon18ce@cenidet.edu.mx).

** CENIDET, Cuernavaca, México (jesus.luna18ce@cenidet.edu.mx).

*** CENIDET, Cuernavaca, México (dantemv@cenidet.edu.mx).

Abstract The sphere on a platform system is the extension of traditional sphere on beam balancing problem in control theory, in this paper was designed and implemented as a prototype a fuzzy control for a Stewart platform that carries out the automatic balance of a sphere. The platform was built with the Lego MindStorm NTX programmable set and controlled with the LeJOS operating system, a single Webcam c170 was used as a way of acquiring system information using a Haar Cascade Classifier for the detection.

Keywords: Fuzzy control, Stewart Platform, Artificial Vision, Haar Cascade, Lego MindStorm, LeJOS.

1. INTRODUCTION

Transfer the human experience to a robotic systems that habitually execute pre-programmed repetitive tasks can lead to an adaptable and flexible process, this in order to respond to the problems of daily life and avoid the use of complex algorithms of high computational consumption. This paper is dedicated to a system for a balance of a sphere through a Stewart platform, artificial vision and fuzzy logic.

The Stewart platform is a parallel structure with architecture that consists of a fixed base and a mobile upper base connected in at least 3 points with linear actuators, has many advantages, such as high rigidity, excellent load capacity, high precision, low ratio of own weight at load and good dynamic performance, as indicated in (González Alvarez and Reinoso Mendoza, 2011). Therefore, the research for different control methods of the Stewart platform is significant for practical applications in different domains.

The implementation of this platform is found with different variants as required, such as the type of control used, as it can be manual or automatic; the type and number of actuators, as defined in the work of (Chung et al., 1999), that uses 6 hydraulic cylinders for the handling of Six-degree motion; or the type of information acquisition with which the Stewart platform will work (e.g. Accelerometer or artificial vision), all the above for an inference that allows the correct control of the platform, as in the case of (Yang et al., 2008), where an output of a with gravity compensation is used. In the research of (Nguyen et al.,

2017), a parallel mini-manipulator model to establish a highly efficient multiple angle view functionality for robot vision systems implement Eigenfaces and Haar cascade for real-time face tracking was introduced, the result was an effective, simple and inexpensive development and implementation.

The control and balance of a sphere in a platform is usually seen as a problem in the field of automatic control for intelligent robots, in the context of different actuators for the platform, the following researches can be mentioned: in (Aphiratsakun and Otaryan, 2016), (Ali and Aphiratsakun, 2015) and where a pair of servomotors is used to carry out a task, the first two jobs use a derivative-integral-derivative (PID) controller. The approach proposed by (Cheng and Tsai, 2016) present a visual servo control technique with two degrees-of-freedom an acrylic plate attached as the end effector, and the control algorithm was designed with a Linear Quadratic Regulator, the results exhibit the ball can be balanced at specific positions in a table tennis. In the paper of (Dobriborsci et al., 2017) a 2DOF Stewart platform for research of control theory of balance was presented, implementing a PID controller using Ziegler- Nichols method, the result control for Ball and Plate system was achieved In this work we intend to develop a stewart platform with the Lego Mindstorms robotic kit equipped with the leJOS operating system, with three servomotors as actuators, real-time detection through a Haar Cascade Classifier and the use of the fuzzy logic for the inference, with the aim of propose a different method of artificial vision to obtain information to compare the efficiency of the vision methods with the fuzzy approach, like in the work of (Kuncan et al., 2016) where a Blob analysis was used,

and in the work of (Cheng and Chou, 2016) was used a maximal-minimal function.

The rest of this paper is organized as follows. In Section II, the background of the theoretical concepts are presented. The method of acquisition of information and the fuzzy controller developed is introduced in Section III. The results in Section IV. In the final section, conclusions are drawn and future works are discussed.

2. BACKGROUND

2.1 Haar Cascade Classifier

Haar cascade classifiers are based on the algorithm of Viola and Jones (2001), which stands out for its low computational cost, which allows it to be used in real time. The algorithm is based on Haar-like features, which are very simple features that are sought in the images and consist of the difference of light intensities between adjacent rectangular regions, see Figure 1, obtaining a correct detection while the result of the difference approaches to 1.

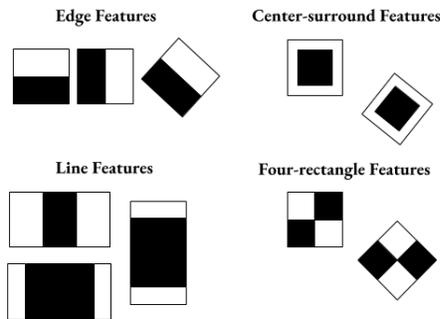


Figure 1. Example of Haar features.

These features can be calculated efficiently from an image representation called integral, where each point (x, y) contains the sum of all the pixels that are above and to the left of that point in the original image, Function 1.

$$ii(x, y) = \sum_{x \leq x', y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

where $ii(x, y)$ is the integral image and $i(x, y)$ is the original image. The integral image can be calculated in a single sweep of the image using the following pair of recurring sentences:

$$\begin{aligned} s(x, y) &= s(x, y - 1) + i(x, y) \\ ii(x, y) &= ii(x - 1, y) + s(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

It is necessary to carry out a supervised training process to create the cascade of classifiers. This process is done through an algorithm based on AdaBoost, where a series of weak classifiers are taken and combined to build a

strong classifier. Cascade classifier training requires a set of positive samples, contains regions of interest specified to be used as positive samples, and one of negative images that do not contain objects of interest, all objects detected from these images are false positives, which are used as negative samples, in this way, each new stage of the cascade is trained to correct errors committed in previous stages, as indicated in (Viola and Jones, 2004).

2.2 Fuzzy Logic

Fuzzy logic is a theory proposed by the computer scientist Lofti Zadeh in 1965, where fuzzy sets are defined as a class of sets with degrees of membership from 0 to 1 (Ponce-Cruz et al., 2016), with fuzzy sets trying to model the uncertainty related to reasoning natural human, which is expressed with words and sentences instead of mathematical expressions.

A fuzzy set is characterized by a membership function μ_F , which assigns each element a degree of membership (Jerry, 2001), a fuzzy set F is defined by a set of ordered pairs:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in X\} \quad \mu_F \in [0, 1] \quad (3)$$

Where x is an element of the universe U and μ_F is the membership function that is assigned to a membership degree $\mu_F(x)$ for each element x of F .

Usually, human reasoning in decision making is not defined by mathematical methods, so fuzzy numbers can be used to solve simple and advanced problems that deal with ambiguous conditions. Fuzzy sets are used to describe the lack of clarity depending on the degrees of membership and can be used in many real situations with linguistic terms, usually this theory is applied through fuzzy systems containing the following components: fuzzifier, knowledge base, inference and defuzzifier, which are interconnected as shown in Figure 2.

- Fuzzification: converts a point reading value to a fuzzy domain.
- Knowledge base: IF-THEN language functions stored in the canonical rules base.
- Inference: this block assigns to the fuzzy input a fuzzy output according to the established rules and operators.
- Defuzzification: assignment of a fuzzy type 1 entry in a punctual or word-form output.

3. SYSTEM DESCRIPTION

The system was developed with the operating system LeJOS for the management of the programmable set LEGO Mindstorms NXT in Java language, the construction of the Stewart platform was developed with the structures and servomotors of the same set of Lego, the structure of the system can be observed in the Figure 3

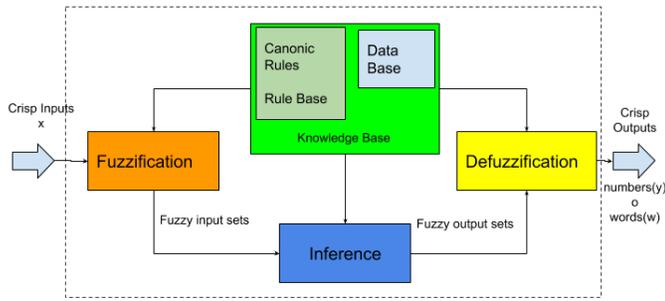


Figure 2. Block diagram of a fuzzy system .

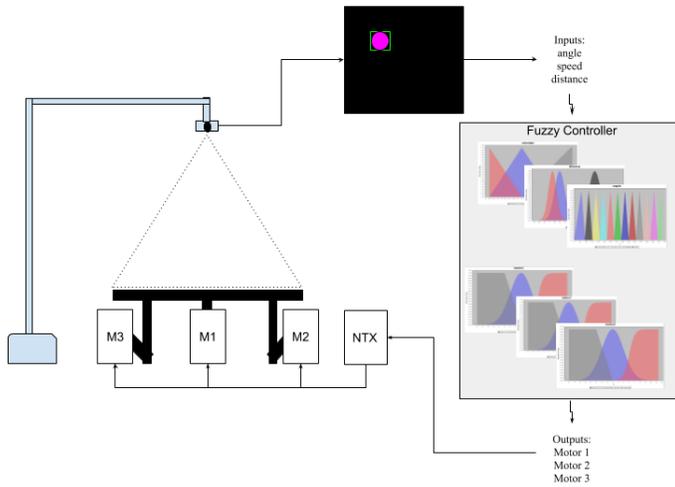


Figure 3. Proposed system diagram.

3.1 Acquisition of Information

In this work we used a set of 30 positive and 50 negative images, this is because the images where the search is performed are dilute to a black background quadrant, and the object to be detected is the only one in the scene and one color very contrasting. The detection is made in an image acquired with a Logitech webcam c-170, the image shows the upper platform which is divided into 12 zones (Z_1, \dots, Z_{12}) of 30 degrees each in clockwise direction. The values of angle, speed and distance are obtained from the tracking of a pink sphere. The trajectory of the sphere is drawn on the display screen, see Figure 4.

3.2 Fuzzy Controller

The fuzzy controller was developed with an intuitive fuzzification method depending on the position of the sphere. The angle, speed and distance were considered as inputs to the system, each one with its respective membership functions that can be observed in Figure 5.

In the knowledge base, 36 canonical rules were established, these rules were used with a logical AND connector

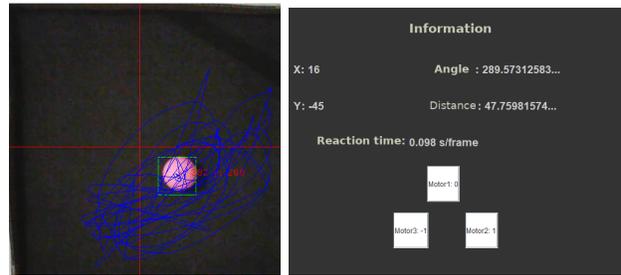
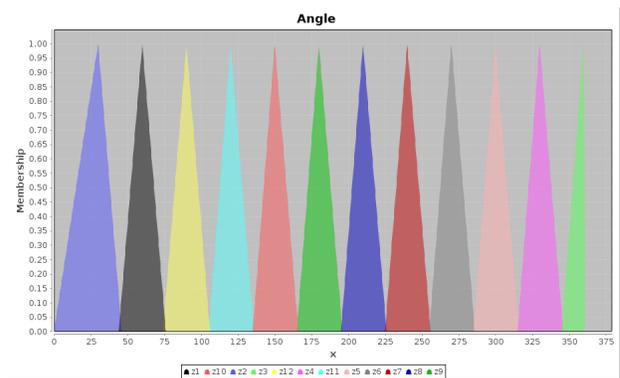
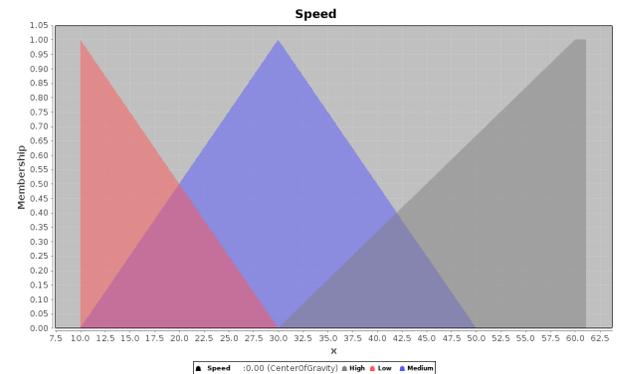


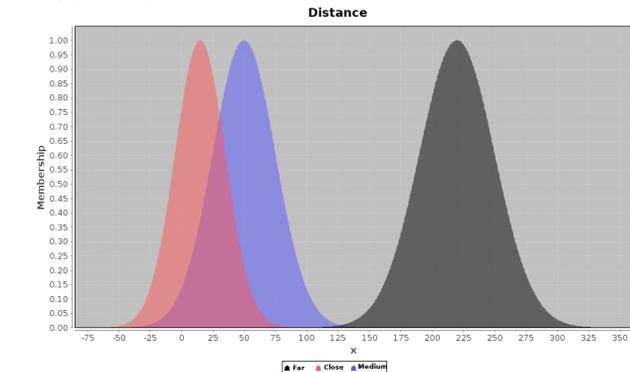
Figure 4. Detection of the sphere and drawing of its trajectory.



(a) Triangular membership functions for angle input.



(b) Triangular membership functions for speed input.



(c) Gaussian membership functions for distance input.

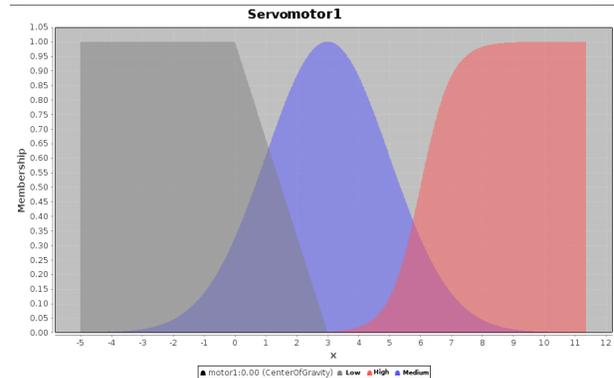
Figure 5. Memberships functions for the inputs of the system.

and are the following:

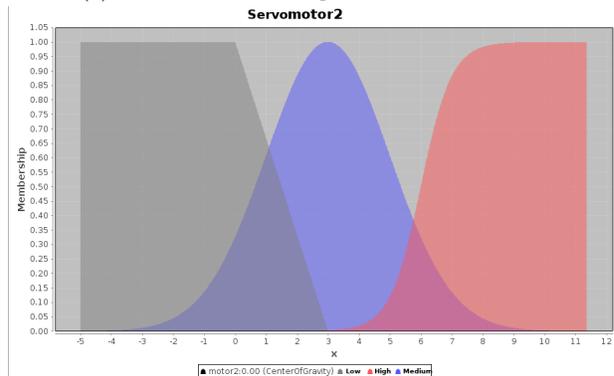
$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_{x_i}}{\sum_{i=1}^n \mu_{x_i}} \quad (4)$$

- RULE 1: IF angle IS z12 AND distance IS near THEN motor1 IS low, speed IS low;
- RULE 2: IF angle IS z12 AND distance IS medium THEN motor1 IS medium, speed IS medium;
- RULE 3: IF angle IS z12 AND distance IS far THEN motor1 IS high, speed IS high;
- RULE 4: IF angle IS z11 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 5: IF angle IS z11 AND distance IS medium THEN motor1 IS medium, motor3 IS low, speed IS medium;
- RULE 6: IF angle IS z11 AND distance IS far THEN motor1 IS high, motor3 IS low, speed IS high;
- RULE 7: IF angle IS z10 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 8: IF angle IS z10 AND distance IS medium THEN motor1 IS medium, motor3 IS medium, speed IS medium;
- RULE 9: IF angle IS z10 AND distance IS far THEN motor1 IS high, motor3 IS high, speed IS high;
- RULE 10: IF angle IS z9 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 11: IF angle IS z9 AND distance IS medium THEN motor1 IS low, motor3 IS medium, speed IS medium;
- RULE 12: IF angle IS z9 AND distance IS far THEN motor1 IS low, motor3 IS high, speed IS high;
- RULE 13: IF angle IS z8 AND distance IS near THEN motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 14: IF angle IS z8 AND distance IS medium THEN motor3 IS medium, speed IS medium;
- RULE 15: IF angle IS z8 AND distance IS far THEN motor3 IS high, speed IS high;
- RULE 16: IF angle IS z7 AND distance IS near THEN motor2 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 17: IF angle IS z7 AND distance IS medium THEN motor2 IS low, motor3 IS medium, speed IS medium;
- RULE 18: IF angle IS z7 AND distance IS far THEN motor2 IS low, motor3 IS high, speed IS high;
- RULE 19: IF angle IS z6 AND distance IS near THEN motor2 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 20: IF angle IS z6 AND distance IS medium THEN motor2 IS medium, motor3 IS medium, speed IS medium;
- RULE 21: IF angle IS z6 AND distance IS far THEN motor2 IS high, motor3 IS high, speed IS high;
- RULE 22: IF angle IS z5 AND distance IS near THEN motor2 IS low, motor3 IS low, speed IS low;
- RULE 23: IF angle IS z5 AND distance IS medium THEN motor2 IS medium, motor3 IS low, speed IS medium;
- RULE 24: IF angle IS z5 AND distance IS far THEN motor2 IS high, motor3 IS low, speed IS high;
- RULE 25: IF angle IS z4 AND distance IS near THEN motor2 IS low, speed IS low;
- RULE 26: IF angle IS z4 AND distance IS medium THEN motor2 IS medium, speed IS medium;
- RULE 27: IF angle IS z4 AND distance IS far THEN motor2 IS high, speed IS high;
- RULE 28: IF angle IS z3 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor2 IS low, speed IS low;
- RULE 29: IF angle IS z3 AND distance IS medium THEN motor1 IS low, motor2 IS medium, speed IS medium;
- RULE 30: IF angle IS z3 AND distance IS far THEN motor1 IS low, motor2 IS high, speed IS high;
- RULE 31: IF angle IS z2 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor2 IS low, speed IS low;
- RULE 32: IF angle IS z2 AND distance IS medium THEN motor1 IS medium, motor2 IS medium, speed IS medium;
- RULE 33: IF angle IS z2 AND distance IS far THEN motor1 IS high, motor2 IS high, speed IS high;
- RULE 34: IF angle IS z1 AND distance IS near THEN motor1 IS low, motor2 IS low, speed IS low;
- RULE 35: IF angle IS z1 AND distance IS medium THEN motor1 IS medium, motor2 IS low, speed IS medium;
- RULE 36: IF angle IS z1 AND distance IS far THEN motor1 IS high, motor2 IS low, speed IS high;

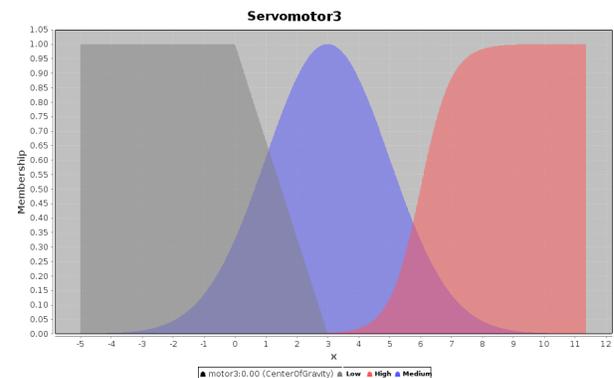
where the average of all the area under the function is calculated in Z^* , the memberships of the output could be observed in the Figure 6.



(a) Gaussian membership functions for Motor1.



(b) Gaussian membership functions for Motor2.



(c) Gaussian membership functions for Motor3.

Figure 6. Memberships functions for the outputs of the system.

4. RESULTS

As a result, three outputs are obtained from fuzzy system that control 3 different servomotors that balance the sphere on the platform. This outputs was obtained using the defuzzification method of centroid of area, where Z^* denotes the resulting value, see Function 4.

As a result of the presented work, the development of the system proposed in the Lego Mindstorm NTX set was achieved, see Figure 7, managing the capture of

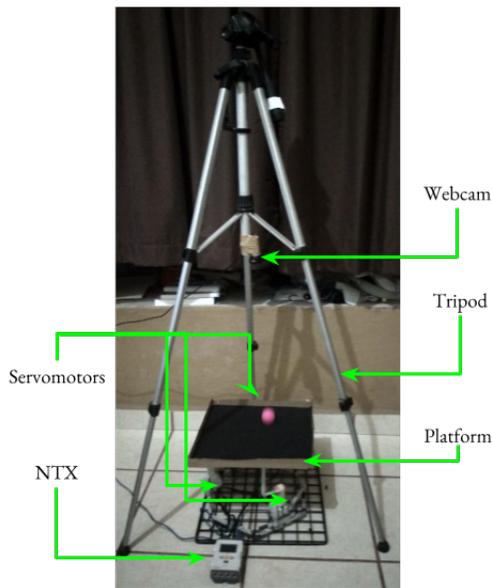


Figure 7. System prototype.

information and the correct classification of the sphere in real time with a low false positive index. The experiment was carried out by placing a sphere on the platform and waiting for the automatic balance on the platform. A perturbation was induced after stabilization of the sphere, registering the coordinate and trajectory of the sphere. The image processing rate of up to 15 FPS was reached. The achievement sphere stabilized approximately after 18 seconds and stopped after 28 seconds.

5. CONCLUSION

This paper present the development of a system that consists of a fuzzy controller that is responsible for the motors of the Stewart platform and a the acquisition of information for the tracking of the sphere is done with a Haar cascade classifier. The control mechanism is an approach based on 36 rules with a fuzzification method mamdani and a defuzzification method based on the centroid of the area. As future work the fine adjustment of the fuzzy controller is considered, as well as the parallelization of the functions of greater processing in order to have greater accuracy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank to CENIDET as well as TecNM and CONACYT for their support.

REFERENCES

Ali, E. and Aphiratsakun, N. (2015). Au ball on plate balancing robot. In *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2031–2034. IEEE.

- Aphiratsakun, N. and Otaryan, N. (2016). Ball on the plate model based on pid tuning methods. In *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 1–4. IEEE.
- Cheng, C.C. and Chou, C.C. (2016). Fuzzy-based visual servo with path planning for a ball-plate system. In *International Symposium on Intelligent Computing Systems*, 97–107. Springer.
- Cheng, C.C. and Tsai, C.H. (2016). Visual servo control for balancing a ball-plate system. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 5(1), 28.
- Chung, I.F., Chang, H.H., and Lin, C.T. (1999). Fuzzy control of a six-degree motion platform with stability analysis. In *IEEE SMC'99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 99CH37028)*, volume 1, 325–330. IEEE.
- Dobriborsci, D., Kapitonov, A., and Nikolaev, N. (2017). Application of the stewart platform for studying in control theory. In *2017 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, 95–99. IEEE.
- González Alvarez, N.X. and Reinoso Mendoza, E.P. (2011). *Estudio, diseño y construcción de una plataforma robótica didáctica tipo Stewart aplicada al estudio de controladores difusos*. B.S. thesis.
- Jerry, M.M. (2001). Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions.
- Kuncan, M., Kaplan, K., Fatih, A., Kundakçi, I.M., and Ertunç, H.M. (2016). Fuzzy logic based ball on plate balancing system real time control by image processing. *Uluslararası Doğa ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (3), 28–32.
- Nguyen, Q.H., Tran, T.N., Huynh, D.D., Le, A.T., and Le, T.D. (2017). Real-time localization and tracking system with multiple-angle views for human robot interaction. In *2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, 316–319. IEEE.
- Ponce-Cruz, P., Molina, A., and MacCleery, B. (2016). *Fuzzy Logic Type 1 and Type 2 Based on LabVIEW™ FPGA*. Springer.
- Viola, P. and Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *null*, 511. IEEE.
- Viola, P. and Jones, M.J. (2004). Robust real-time face detection. *International journal of computer vision*, 57(2), 137–154.
- Yang, C., He, J., Jiang, H., and Han, J. (2008). Modeling and simulation of 6-dof parallel manipulator based on pid control with gravity compensation in simulink/adams. In *2008 International Workshop on Modelling, Simulation and Optimization*, 391–395. IEEE.

Sistema de Transporte Inteligente para Predecir los Tiempos de Arribo del Transporte Público

Andres Ocampo Ortiz, Alicia Martínez Rebollar, Javier Ortiz

*Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, CO 62490
Cuernavaca, Morelos, México{andres.ocampo17ca, amartinez, ortiz}@cenidet.edu.mx.

Resumen: Los sistemas de transporte inteligentes han sido implementados en muchas ciudades del mundo, ya que estos facilitan el uso del transporte público por que proporcionan información importante, tal como el tiempo u hora aproximada en el que llegará el autobús a sus diferentes paradas, ubicación actual del autobús entre otra información más. En México el uso del transporte público es elemental pero no se cuenta con muchos sistemas de este tipo. Este artículo propone el desarrollo de una herramienta que proporcionará información del transporte público, la cual estará adaptada a la especificación general de los *feed* (retroalimentación) de transporte público denominada por sus siglas en inglés (GTFS, *General Transit Feed Specification*) y podrá indicar un estimado de tiempo de llegada de los autobuses a sus diferentes paradas.

Keywords: Sistema de Transporte Inteligente, GTFS, Ciudades Inteligentes, heurística, GPS, Internet de las cosas.

1. INTRODUCCION

Según el INEGI (2016) el transporte público es un servicio ofrecido diariamente hacia la comunidad, el cual tiene como objetivo ayudar a las personas a trasladarse de un lugar a otro con la finalidad de ahorrarles tiempo y esfuerzo. Miles de personas lo utilizan diariamente para llegar a sus trabajos, escuelas, lugares de entretenimiento etc.

Por otra parte, la tecnología se ha convertido en una necesidad para la sociedad. Un claro ejemplo es el Smartphone, mediante los cuales se puede acceder a diferentes fuentes de información y entretenimiento a través de las aplicaciones tales como Chrome, Facebook, Outlook.

Las ciudades inteligentes es un término que ha ido ganando mucha popularidad en la actualidad, ya que ha captado la atención de los medios de comunicación, las redes sociales y los foros políticos de forma intensiva y recurrente. También se ha vuelto un tema de interés para las empresas y para los ámbitos académicos, ya que es un área la cual se pueden desarrollar grandes proyectos los cuales podrían contribuir a la evolución de las ciudades Motonari et al. (2013).

Día con día surgen nuevas necesidades las cuales pueden ser resueltas con la tecnología, un ejemplo de esto son los Sistemas de Transporte Inteligentes que tienen como objetivo mejorar la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre Hinojosa (2011). Ejemplos de las aplicaciones desarrolladas con este objetivo son los sistemas de cálculo de tráfico, sistemas de navegación entre otros más.

Este tipo de sistemas facilitan la vida diaria de las personas, ya que otorgan información con la cual se puede administrar de mejor manera el tiempo y tener una mejor planificación del día

o inclusive evitar algunos eventos como el no conocer donde se encuentran las paradas de los autobuses, estar expuesto a un asalto, entre otros más.

Actualmente países europeos y algunos países en América como Estados Unidos y México cuentan con un sistema de predicción de tiempos de arribo del transporte público, lo cual facilita a los ciudadanos el uso de los autobuses y el uso correcto de su tiempo diario. Sin embargo, la mayoría de ellos tienen algunos inconvenientes, uno de ellos es que los sistemas no se encuentran adaptados a un sistema de estandarización, lo que ocasiona que los choferes no tengan un control de entrada, por lo que se pueden retrasar los horarios de llegada de los autobuses y la gente que los utiliza no tiene manera de saber esto. Lo cual ocasiona que los mexicanos no puedan planear su viaje, ya que en ocasiones desperdician demasiado tiempo esperando la llegada de los autobuses. Otro inconveniente es que algunos de estos sistemas utilizan el sistema GPS (por sus siglas en inglés, Global Positioning System) que se encuentra instalado en los autobuses y la información del GPS pertenecen a empresas que no comparten esta información de manera gratuita o no la comparten. Es por eso que en este artículo se propone un método para desarrollar un Sistema de transporte inteligente de predicción de tiempos de arribo en el cual no se utilice el GPS que las empresas adaptan al vehículo y el cual este adaptado al Sistema GTFS para poder llevar un control de horarios de los autobuses.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se presentan algunos trabajos de investigación que están relacionados con lo que se propone. Las partes para desarrollar el sistema de transporte inteligente se presentan en la

sección 3. La sección 4 presenta resultados sobre la propuesta. Las conclusiones obtenidas son mostradas en la sección 5.

1.1 Fundamentos Teóricos

Redes Neuronales: Johar, Jain and Garg (2015) describen que uno de los métodos más utilizados y que garantiza una buena predicción de los tiempos de arribo de los autobuses es utilizar las redes neuronales, ya que estas realizan predicciones con base en hechos que ya han ocurrido. Las redes neuronales se entrenan dándoles diferentes parámetros de entrada, los cuales son los más significativos que influyen en la llegada de los autobuses y los que tomaran en cuenta para la realización de la predicción de los tiempos de arribo.

Máquinas de vector soporte: Haiyang et al. (2017) mencionan que son un tipo de clasificadores utilizados para realizar la predicción del tiempo de arribo de los autobuses, este tipo de clasificador ha sido probado en el desarrollo de diferentes algoritmos y han resultado ser muy eficaces al momento de realizar este tipo de tareas. Este tipo de clasificador al igual que las redes neuronales utiliza una fase de entrenamiento en donde se le indica los diferentes factores a tomar en cuenta para realizar la predicción de los tiempos de arribo.

Meta modelos: Como Aidan et al. (2016) informan que este tipo de algoritmos es una fusión de diferentes algoritmos ya desarrollados, de los cuales se toman las partes más importantes de cada uno de ellos para realizar un algoritmo nuevo aún más potente. Esta técnica ha sido utilizada últimamente por los desarrolladores para mejorar algunos trabajos de investigación. Es una forma que permite facilitar un poco el desarrollo de un algoritmo, ya que toman como base otros algoritmos y tienen una base sobre la cual pueden trabajar.

Algoritmos heurísticos: Como Tianyi, Gianmario and Kaixu (2017) dicen que este tipo de algoritmos son utilizados para crear un método que nos dé un resultado no óptimo, pero si correcto para realizar algún tipo de actividad o tarea específica. En otras palabras, es crear un método propio y puede ser en base a un método ya creado.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación, se analizan algunos trabajos de investigación que se han desarrollado para la predicción de tiempos de arribo del transporte público.

2.1 MOBANA

Este trabajo de investigación Tianyi, Gianmario and Kaixu (2017) presentan el desarrollo de un Framework nombrado MOBANA. Este implementa el sistema GTFS y GTFS-RealTime entre otras técnicas para poder calcular el tiempo de arribo del transporte público. MOBANA permite visualizar un mapa de la ciudad, paradas y rutas, posición de los vehículos en tiempo real, la posición programada de los vehículos en tiempo real, eventos de tráfico y feeds.

MOBANA utiliza el sistema GTFS para realizar casi todos los cálculos, pero agrega un sistema de mensajería distribuida, con el cual mediante los tweets publicados en diferentes zonas se logra calcular y observar el flujo de tráfico que existe en los diferentes caminos, mediante la posición GPS o mediante Hashtags. Desarrollaron un algoritmo para poder procesar esta información y así utilizar esta metodología. Crearon otro método para poder predecir los retardos que los autobuses presenten ya sea que se encuentre en medio de un accidente o algún otro suceso que retrase su llegada, y el cálculo del tiempo que tardara esta en llegar a su destino para procesar esta información con el sistema GTFS y poder mostrarla al usuario mediante un Framework que fue montado en una página web.

2.2 Visualización GTFS

Este trabajo de investigación Tianchi (2014) describe cómo utilizar el sistema GTFS y como se adapta a un sistema. En este trabajo de investigación fue adaptado a una página web en la cual podrán ingresar todas las personas y se muestra algunos ejemplos de cómo la visualizan los usuarios. Nos muestran algunas ideas para combatir con algunas de las limitaciones con las que cuenta el sistema GTFS, como es el caso de número máximo de paradas que se permite registrar y entre otros.

El sistema web utiliza el estándar GTFS, para el desarrollo de este fueron utilizados principalmente cuatro de los archivos de texto con los que cuenta el estándar GTFS. Las cuales son: Route, Stop, Trip y StopTime. En donde están registrados los datos de la ruta, de la parada y del viaje, ya que la tabla StopTime contiene llaves foráneas de las otras 3 tablas.

Uno de los problemas que se comenta es que existen errores al obtener la información del sistema, ya que al obtener los datos se deben analizar, procesar y corregir para posteriormente almacenarlo en la base de datos. Otro error abordado es la limitante de captura de paradas, puesto que el sistema solo permite registrar 8 paradas por ruta más su inicio y su fin dando como resultado 10 registros por ruta en total. Este trabajo aborda la solución que le dieron a estos problemas. Nos muestra una visualización de su sistema y una pequeña explicación de cómo es que funciona.

2.3 Deja-Bus

Este trabajo de investigación Gómora (2014) presenta como objetivo principal apoyar al usuario del transporte público en México, fue desarrollado por el doctor Carlos Moisés Hernández Suárez, quien es investigador de la Universidad de Colima. Es un sistema informático inteligente que monitorea los autobuses dentro de su ruta y predice el tiempo de arribo de esta a sus diferentes paradas. Una de las condiciones es que el autobús debe contar con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para que pueda estar mandando su ubicación en tiempo real, la cual estará transmitiéndose cada minuto al servidor para que se pueda calcular el tiempo de arribo a la siguiente parada, el tiempo se calcula cada 10 segundos y es mandado al usuario.

Para el cálculo también se toma en cuenta los factores climáticos, hora y día de la semana, aunque para que estos factores puedan

ser monitoreados el autobús necesita tener la aplicación integrada. Otra ventaja con la que se cuenta es que si todos los autobuses de una ruta cuentan con la aplicación será más fácil y preciso calcular el tiempo de arribo y si alguno de estos sale de su ruta trazada ya sea por algún fallo, ajuste o algún otro factor más, este deja de ser monitoreado. El sistema te permite guardar las rutas favoritas del usuario, el GPS detecta de manera automática la posición en la que se encuentra el usuario, brinda un mapa con la ubicación del Smartphone y de los autobuses.

2.4 Predicción con una red neuronal artificial

Este trabajo de investigación Johar, Jain and Garg (2015) muestran cómo utilizar una red neuronal artificial para poder realizar predicciones del tiempo de arribo de los autobuses. Aborda una pequeña descripción de métodos que han sido utilizados para realizar esta tarea y los compara con el ya mencionado. Su enfoque principal es la comparación con el método de regresión, ya que los autores creen que es el más preciso para realizar este tipo de tareas.

El método de Red Neuronal Artificial trabaja en dos fases la de aprendizaje y la de recordar. En la primera etapa es en donde se le darán los parámetros con los cuales se trabajará y en la segunda es en donde se realiza todo el proceso de cálculo con los parámetros dados en la primera etapa. Los parámetros que toma en cuenta el método son distancia entre paradas, tiempo de retrasos, tiempos de espera del autobús en una parada y tiempo de llegada a la parada, ya que son los parámetros que más influyen al momento de realizar la predicción.

2.5 Track my bus

Este trabajo de investigación Swati et al. (2013) presentan el desarrollo de un sistema que predice el tiempo de arribo del transporte público. La metodología utilizada y sobre como el sistema fue desarrollado creando una aplicación Mobile para el Sistema Operativo Android.

El sistema desarrollado para calcular el tiempo de arribo de las rutas cuenta con dos fases (actualizador de enlaces y tiempo estimado de llegada) para realizar obtener el tiempo estimado de arribo, además, permite registrar las paradas que tiene el autobús proporcionando su longitud y latitud, las cuáles serán almacenadas en una base de datos, calcula la distancia que existe entre paradas, estos son parámetros utilizados para que el algoritmo pueda trabajar. El sistema calcula el tiempo de arribo gracias a que el autobús se encuentra enviando su ubicación GPS en tiempo real. Con esto se permite obtener un cálculo del tiempo estimado de llegada mediante la posición de la ruta y con la posición a la que se encuentra su siguiente parada. Estos factores se promedian con el tiempo estimado de espera (el tiempo que tarda la ruta anterior en recorrer esa misma distancia), esta variable se va actualizando gracias a cada una de las rutas y cada que una ruta recorre el camino de una parada a la siguiente, esto para poder obtener un estimado aproximado de cómo está el tráfico o si ocurrió algún otro suceso que retrase los tiempos de arribo.

3. SISTEMA DE TRANSPORTE INTELIGENTE

El sistema de software que se presenta en este artículo tiene como objetivo predecir los tiempos de arribo del transporte público en México.

El desarrollo de este sistema ha implicado que se tomen en cuenta diferentes aspectos en su construcción; como la estandarización de horarios para el transporte público (GTFS), lo cual en varios países ya ha sido establecido como un estandar para compartir la información. Además, este tipo de sistema requiere del monitoreo en tiempo actual de los autobuses, lo que genera una gran cantidad de información que debe procesarse y presentarse al usuario.

En la figura 1 se muestra la metodología del sistema preliminar.

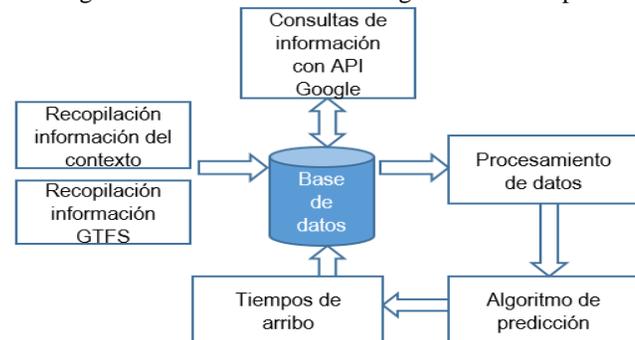


Fig. 1. Metodología de solución.

A continuación, se presentan los principales componentes que se están tomando en cuenta para el desarrollo del sistema de transporte inteligente.

3.1 Especificación General de retroalimentación del Transporte Público (GTFS).

Actualmente, en varios países los gobiernos han adoptado la propuesta de la especificación general de los *feed* de transporte público. Esto ha permitido que la generación de este tipo de sistema pueda ser compartida con el público.

Developers (2016) muestran que un elemento que mejora un Sistema de transporte público es la especificación general de los *feed* (retroalimentación) de transporte público (GTFS), el cual define un formato común de horarios para el transporte público y su información geográfica, en el cual las empresas dueñas del transporte pueden compartir su información para hacerla pública. Los *feed* GTFS son un conjunto de archivos .txt recopilados en un archivo .zip, cada uno de estos archivos contiene información de una de las características de los autobuses como: paradas, horarios, rutas, entre otros más. La información puede ser compartida almacenándola en un servidor web de esta manera se puede hacer uso de ella para realizar desarrollo de software relacionado al transporte público. Para almacenar la información GTFS posteriormente será mediante una página web a la cual solo tendrán acceso los administradores del sistema.

Para la realización del modelo de predicción de datos de viaje es necesario descargar los archivos del sistema GTFS para saber qué datos se deben obtener.

Una vez obtenidos los archivos, se debe realizar la recolección de los datos, en los cuales se debe obtener la información de los autobuses, así como su nombre y sus direcciones, sus horarios de salidas y llegadas a cada una de sus paradas, ubicaciones de las paradas, nombres y a que autobuses pertenecen a cada una de ellas.

Para desarrollar un Sistema de transporte inteligente adaptado al GTFS es necesario llenar los archivos de texto que correspondientes con la información de los autobuses, en la figura 2 se muestran los archivos que se necesitan llenar y en la figura 3 un ejemplo de cómo llenar uno de ellos de manera correcta con la información correspondiente.

| | | | |
|-----------------|----------------------|------------------|------|
| agency | 08/04/2007 01:57 ... | Documento de tex | 1 KB |
| calendar | 08/04/2007 02:06 ... | Documento de tex | 1 KB |
| calendar_dates | 08/04/2007 02:08 ... | Documento de tex | 1 KB |
| fare_attributes | 08/04/2007 02:10 ... | Documento de tex | 1 KB |
| fare_rules | 08/04/2007 02:12 ... | Documento de tex | 1 KB |
| frequencies | 08/04/2007 02:13 ... | Documento de tex | 1 KB |
| routes | 08/04/2007 02:01 ... | Documento de tex | 1 KB |
| shapes | 08/04/2007 02:12 ... | Documento de tex | 1 KB |
| stop_times | 08/04/2007 02:05 ... | Documento de tex | 2 KB |
| stops | 08/04/2007 01:58 ... | Documento de tex | 1 KB |
| trips | 08/04/2007 02:03 ... | Documento de tex | 1 KB |

Fig. 2. Archivos .txt de GTFS para información de los autobuses

```

stop_id,stop_name,stop_desc,stop_lat,stop_lon,zone_id,stop_url
FUR_CREEK_RES,Furnace Creek Resort (Demo),,36.425288,-117.133162,,
BEATTY_AIRPORT,Nye County Airport (Demo),,36.868446,-116.784582,,
BULLFROG,Bullfrog (Demo),,36.88108,-116.81797,,
STAGECOACH,Stagecoach Hotel & Casino (Demo),,36.915682,-116.751677,,
NADAV,North Ave / D Ave N (Demo),,36.914893,-116.76821,,
NANAA,North Ave / N A Ave (Demo),,36.914944,-116.761472,,
DADAN,Doing Ave / D Ave N (Demo),,36.909489,-116.768242,,
EMSI,E Main St / S Irving St (Demo),,36.905697,-116.76218,,
AMV,Amargosa Valley (Demo),,36.641496,-116.40094,,

```

Fig. 3. Ejemplo de cómo llenar el archivo stops.txt de GTFS

3.2 Monitoreo de autobuses

La información es obtenida monitoreando los autobuses mediante un GPS que será colocado en los autobuses para obtener su ubicación actual, esta información sirve para poder realizar las peticiones de tiempos de arribo cada vez que se vayan moviendo los autobuses.

Una vez obtenidos los datos serán almacenados en una base de datos que estará almacenada en un servidor web. Esta información permitirá al usuario consultar en donde se encuentra el autobús al momento de hacer la consulta.

3.3 Algoritmo de tiempos de arribo

El algoritmo utilizado para hacer la predicción de los tiempos de arribo se divide en 2 partes. Cabe resaltar que para poder obtener la información requerida es necesario realizar las peticiones a el servicio web, por lo cual su usa una librería llamada volley, la

cual se implementó al software de programación móvil Android Studio. Mediante este método se obtiene también la información GTFS y la ubicación de los autobuses, la cual será utilizada para poder realizar las peticiones.

La primera parte es hacer uso de la API de google, para hacer uso de la API mediante la cual se obtienen los tiempos estimados de arribo a las paradas. Al obtener la información es necesario procesarla ya que la información obtenida viene en forma de matrices. Cabe resaltar que mediante este tipo de peticiones se puede obtener gran cantidad de información, en la que destaca los tiempos de arribo, la distancia del recorrido o entre intersecciones, se puede trazar una línea en los mapas de google para que se pueda ver de manera gráfica los recorridos de los autobuses, se pueden obtener incluso instrucciones de cómo llegar de un punto a otro. En este caso solo se requerida información de tiempos y las líneas de recorrido ya que el sistema se realizará de manera gráfica, por lo que se mostrará mediante líneas la ruta que siguen los autobuses. La información puede ser obtenida mediante objetos json o xml para después procesarla y hacer uso de ella.

La segunda parte es construir el algoritmo de predicción de tiempos de arribo, este es construido con el historial de tiempos de autobuses que se obtienen mediante el monitoreo de los autobuses. El algoritmo consiste en ir obteniendo los tiempos que tarda el autobús en recorrer de una parada a otra, es decir el tiempo que tarda en recorrer la distancia entre la parada de 1 a 2, de 2 a 3, etc. Una vez hecho esto se consultan los tiempos obtenidos por la API de Google y se suma a los tiempos obtenidos por este primer autobús para promediarlos y obtener el tiempo estimado que tardara el siguiente autobús en realizar el mismo recorrido, estos datos se almacenan en la base de datos. El autobús número 2 realiza una nueva toma de datos, pero antes de almacenarlos, realiza una consulta a los tiempos guardados por el autobús anterior y a los tiempos obtenidos por la API de Google, al tener los 3 tiempos estimados se suman y se promedian para poder almacenarlo en la base de datos, este quedará como el nuevo tiempo que tardara el siguiente autobús en recorrer su ruta destinada. Esto mismo se realiza con los siguientes autobuses.

En caso de la información de las líneas obtenidas es necesario realizar una decodificación de esta, ya que viene codificada y de esa manera no se puede utilizar.

Para poder almacenar la información y después hacer uso de ella fue necesario hacer uso de programación php por lo cual es obligatorio levantar un servicio de apache, mediante los archivos creados en este lenguaje se realiza la conexión con la base de datos, una vez hecha la conexión se anexa a otros archivos más, cada uno de estos archivos está encargado de realizar diferentes tareas, como realizar consultas de datos, registros, actualizaciones de datos, eliminar registros o datos, entre otras funcionalidades más

3.4 Interface móvil

Una vez ya hecho el procesamiento de los datos ya se pueden mostrar mediante mapa de google cargado en una aplicación el

trayecto que sigue cada uno de los autobuses marcado con una línea. El usuario también podrá realizar consultas acerca de los autobuses, así como sus diferentes paradas y los tiempos de arribo de los autobuses a cada una de ellas.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizaron pruebas realizando peticiones con la información que se obtuvo, en este caso se obtuvo información del autobús que sigue la ruta 1 que opera en la ciudad de Cuernavaca, Morelos ubicada en México. Al momento de realizar las peticiones nos regresaba las matrices de información la cual se procesó y se pudo obtener un estimado de los tiempos de arribo que tienen los diferentes autobuses que siguen este camino. Se pudo observar que los tiempos obtenidos junto con la información GTFS y la ubicación actual de los autobuses nos arrojan una predicción estimada de los autobuses.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Existen diferentes maneras de realizar un sistema de transporte inteligente para predecir tiempos de arribo del transporte público ya que es un tema que tiene mucha importancia en algunas partes del mundo, como se analizó en este artículo ya existen muchos trabajos desarrollados con diferentes métodos que han sido adaptados a sistemas de transporte inteligentes para la predicción de tiempos de arribo de los autobuses, todos y cada uno de ellos funcionan de buena manera, aunque los resultados obtenidos por cada uno de ellos es diferente dependiendo de donde y como es que se implemente. Para utilizar alguno de ellos solo es necesario evaluar y analizar cuál es el que más conviene utilizar, o en algunos casos probar otras técnicas que no han sido utilizadas o realizar heurística e incluso realizar heurística sobre métodos ya existentes.

Como trabajo futuro se terminará la aplicación móvil para poder realizar mejores pruebas y poder comparar los resultados obtenidos con los resultados de otros algoritmos que han sido probados y utilizados en diferentes tipos de sistemas.

Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto “Sistema de seguimiento y predicción de tiempos de arribo de transporte público basado en el estándar GTFS y utilizando sensores de monitoreo”, clave 5138.19-P del TecNM.

Referencias

- IMT, and SCT. (2000). Tecnologías para el cobro electrónico de cuotas en carreteras y puentes, ISSN. 0188-7297.
- Mihail, L. and Vaidyanathan, R. (2003). Localization of Wireless Sensor Networks with a Mobile Beacon, pp.01-13.
- Hinojosa, C. (2011). Que son los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). [online] tecnocarreteras. Available at: <https://www.tecnocarreteras.es/2011/04/11/que-son-los-sistemas-inteligentes-de-transporte-its/>

Motonari, H., Hajime, A., Hidekazu, S., Kazuyuki, K., Yukimasa, M. and Akira, W. (2013). Proposal for Novel Bus Location System Using Wireless Sensor Network. *ITS Japan, no.3209*, pp.01-10.

Swati, C., Sneha. M., Sanjana, S., Megharani, M. and Pooja B. (2013). Implementation of Real Bus Monitoring and Passenger Information System. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, Issue 5, pp.2250-3153.

WeblogsSL. (2013). Todo sobre los ITS, los Sistemas de Transporte Inteligentes. [online] WeblogSL. Available at: <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/todo-sobre-los-its-los-sistemas-de-transporte-inteligentes>.

Tianchi, Z. (2014). General Transit Feed Specification Data Visualization. *Geoinformatics (Geoinformatics)*, 2014 22nd International Conference on, pp.01-06.

Gómora, L. (2014). Deja-Bus. [online] CONACYT. Available at: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/tic/109-diseñan-sistema-que-monitorea-y-predice-llegada-de-autobuses-de-transporte-publico>

Johar, A., Jain S. and Garg, P. (2015). PREDICTION OF BUS TRAVEL TIME USING ARTIFICIAL NEURAL. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, Vol. 5(4), pp.410 - 424.

Developers, G. (2016). ¿Qué es la GTFS?. [online] Google Transit. Available at: <https://developers.google.com/transit/gtfs/?hl=es>.

Aidan, O., Francisco, C., Jinhua, Z. and Harilaos, N. (2016). Uncertainty in Bus Arrival Time Predictions: Treating Heteroscedasticity With a Metamodel Approach. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, Vol. 17, No.11, pp.3286-3296.

Haiyang, Y., Zhihai, W., Dongwei, C. and Xiaolei, M. (2017). Probabilistic Prediction of Bus Headway Using Relevance Vector Machine Regression. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, Vol. 18, No.17, pp.1772-1781.

Tianyi, M., Gianmario, M. and Kaixu, L. (2017). Delivering Real-Time Information Services on Public Transit: A Framework. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, Vol. 18, No. 10, pp.01-15.

INEGI. (2016). Principales características de la red de transporte de pasajeros en la ciudad de México. [online] INEGI. Available at: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=1090&d1090#D1090>.

Distribución Semántica para el Análisis y la Clasificación de Documentos de Texto

Ing. Armando Rojas Valdez*, Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez.**
Dr. Gerardo Eugenio Sierra Martínez***

*Tecnológico Nacional de México/CENIDET, CP 62490
Cuernavaca Morelos, México (Tel: 782 103 7639; e-mail: armando.rojas17ce@cenidet.edu.mx)

**Tecnológico Nacional de México/CENIDET, CP 62490
Cuernavaca Morelos, México (Tel: 777 362 7770; e-mail: ncastro@cenidet.edu.mx)

*** Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Ingeniería
Ciudad de México, México, (email: GSierraM@iingen.unam.mx)}

Resumen: La minería de datos en conjunto con la inteligencia artificial son áreas muy necesarias e importantes para poder desarrollar métodos y modelos computacionales con utilidades y fines prácticos para el mundo real.

La muestra más importante de ello es el hecho de la existencia de los "Motores de Búsqueda", con los cuales las personas podemos encontrar distintos tipos de documentos de acuerdo a una consulta previamente introducida por el usuario. Estos motores utilizan diversas técnicas para medir qué tan semejantes o distantes son diversos elementos o fragmentos de información, y de esta manera, poder satisfacer las consultas que se hacen en ellos. En este trabajo se presenta un algoritmo de clasificación basado en una nueva medida de distancia entre definiciones derivada de la Energía Textual, calculada a partir de una representación vectorial del texto, independiente del idioma. Esta distancia puede tener aplicaciones en agrupamiento de textos cortos como snippets y títulos, para los cuales resulta complicado utilizar técnicas clásicas de ponderación como tf-idf porque sus frecuencias son muy bajas. Los resultados obtenidos son bastante alentadores y dan pie a explorar otras propiedades de la distancia propuesta.

1. ANTECEDENTES/PROBLEMÁTICA

Los algoritmos de agrupamiento (en inglés "Clustering") son procedimientos de agrupación de una serie de vectores de acuerdo con criterios que por lo general son distancia o similitud. La cercanía se define en términos de una determinada función de distancia como la euclídea o el coseno. La medida más utilizada para medir similitud entre los casos son las matrices de correlación de $n \times m$ casos. Sin embargo, existen también muchos algoritmos basados en métodos estadísticos y en recursos lingüísticos dirigidos bajo conjuntos de reglas [1]. El área encargada de trabajar en identificar la similitud entre elementos, se denomina "semántica distribucional", la cual, en particular, desarrolla y estudia las teorías y métodos para cuantificar y categorizar las similitudes semánticas entre elementos lingüísticos, según sus propiedades distribucionales en grandes muestras de datos lingüísticos. La idea básica de la semántica distribucional se puede resumir en la llamada hipótesis distribucional: «elementos lingüísticos con distribuciones similares tienen significados similares» [2]. Este trabajo se centra en proponer un nuevo algoritmo para realizar distribución semántica, a través de un nuevo paradigma denominado "energía textual".

1.2.- ESTADO DEL ARTE:

Los algoritmos de agrupamiento más conocidos y utilizados actualmente, son los siguientes:

K-Means:

K-medias es un método de agrupamiento, que tiene como objetivo la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano. Es un método no supervisado utilizado en minería de datos [7].

K vecinos más cercanos:

En el reconocimiento de patrones, el algoritmo K.V.M.C. es usado como método de clasificación de objetos (elementos) basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los elementos por lo que emplea un método supervisado [8].

TF-IDF:

Tf-idf (del inglés *Term frequency – Inverse document frequency*) es una medida numérica que expresa cuán relevante es una palabra para un documento en una colección. Esta medida se utiliza a menudo como un factor de ponderación en la recuperación de información y la minería de texto [9].

Teoría de la información de Shannon:

Mediante una serie de enunciados el científico de la computación Claude E. Shannon formalizó el concepto de la *Entropía* de la siguiente forma:

En el ámbito de la teoría de la información la entropía, también llamada entropía de la información y entropía de Shannon (en honor a Claude E. Shannon), mide la incertidumbre de una fuente de información. El concepto entropía es usado en termodinámica, mecánica estadística y teoría de la información. En todos los casos la entropía se concibe como una «medida del desorden» o la «peculiaridad de ciertas combinaciones». La entropía puede ser considerada como una medida de la incertidumbre y de la información necesaria para, en cualquier proceso, poder acotar, reducir o eliminar la incertidumbre. Resulta que el concepto de información y el de entropía están básicamente relacionados entre sí, aunque se necesitaron años de desarrollo de la mecánica estadística y de la teoría de la información antes de que esto fuera percibido [10].

Redes Neuronales Recurrentes:

Una Red Neuronal Recurrente (RNR) es una clase de red neuronal artificial donde las conexiones entre nodos forman un gráfico dirigido a lo largo de una secuencia temporal. Esto le permite exhibir un comportamiento dinámico temporal. A diferencia de las redes neuronales tradicionales, los RNR pueden usar su estado interno (memoria) para procesar secuencias de entradas, siendo que esos patrones de comportamiento han sido de gran utilidad práctica en el área del Procesamiento de Lenguaje Natural desde sus inicios en los años 90s [11].

El desarrollo de esta investigación se centra directamente en la implementación de un modelo computacional basado en las Redes Neuronales Recurrentes (**RNR**) empleando patrones de comportamiento de distancia sintáctica entre vectores basados en los algoritmos clásicos como K-Means o la Frecuencia de Ocurrencia de Términos como lo hace TF-IDF.

2. MOTIVACIÓN/JUSTIFICACIÓN

Dentro del marco del área del Procesamiento de Lenguaje Natural el problema que representa mayor dificultad en la actualidad se le conoce como "Similitud Semántica", por ende, existen muchas propuestas desarrolladas por distintos autores y por lo tanto aún no existe una solución definitiva para este problema [3].

En este trabajo se propone el desarrollo de un algoritmo para realizar la distribución semántica a través de una medida de distancia entre textos llamada "Energía Textual", algoritmo que busca prescindir de la mayor cantidad de recursos lingüísticos (diccionarios, corpus, etc.) al emplear sólo técnicas estadísticas, lo cual hará posible realizar una distribución semántica de manera automática y autónoma sin importar el idioma y utilizando únicamente como recursos lingüísticos los corpus de estudio necesarios.

3. OBJETIVOS (GENERAL y ESPECÍFICO)

3.1.- Objetivo General

Desarrollar un método mediante Energía Textual que permita la distribución semántica independiente del lenguaje y con el mínimo uso de recursos lingüísticos.

3.2.- Objetivos Específicos:

3.2.1.- Diseñar y desarrollar un método para distribución semántica en un lenguaje de programación.

3.2.2.- Documentar y explicar el diseño del nuevo método.

3.2.3.- Implementar el método en un sistema computacional web.

3.2.4.- Proporcionar el servicio para sea disponible a usuarios de todo el mundo.

Por lo tanto, el producto entregable que va a ser generado con esta investigación va a constar de un sistema web desarrollado en HTML5, PHP y Python3 con su respectiva documentación.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El término "agrupar" se usa en este trabajo como la tarea de utilizar un método de aprendizaje no supervisado para reunir documentos sin incluir información lingüística adicional ni utilizar un conjunto de ejemplos de entrenamiento. Se presentan a continuación las ideas fundamentales que integran el algoritmo de agrupamiento semántico:

El uso de las redes neuronales se ha extendido exitosamente durante los últimos años, la versatilidad de esta herramienta estadística nos lleva desde aplicaciones puramente teóricas hasta los usos más prácticos inimaginables debido a su gran capacidad para reconocer y aprender patrones. El modelo que presentamos en este trabajo parte directamente de uno de los modelos de magnetismo más sencillos de la mecánica estadística: el modelo de Ising, que considera espines atómicos dispuestos en una retícula rectangular en el plano X-Y. Inspirado en este modelo, "John Hopfield en el año 1982" construyó una red neuronal recurrente con capacidad de recuperar patrones a partir de un conjunto de ejemplos y la denominó red de memoria asociativa. (también conocida como Red de Hopfield), En esta red las unidades tienen asociados dos posibles valores de activación (0 o 1). La configuración de los valores de activación en las unidades determina el estado de la red. Cada estado, a su vez, tiene asociado un número conocido como la energía de la red. Uno de los inconvenientes del modelo de Hopfield es que solamente una fracción de patrones puede ser recordado correctamente, limitando su uso en aplicaciones prácticas [4].

La propuesta de solución consiste en emplear la "Red de Hopfield" para poder generar la cantidad de Energía que deriva de un conjunto de documentos de texto (también llamada Energía Textual).

5. ALCANCES

Alcances:

1.- Sistema computacional basado en web.

2.- Un modelo computacional para realizar distribución semántica.

3.- Pruebas de rendimiento (precisión y cobertura).

6. RESULTADOS DE EXPERIMENTOS

El desarrollo de la propuesta de solución arrojó resultados que se evaluaron con las métricas de solución de precisión y cobertura [6].

6.1.- Para evaluar el rendimiento del algoritmo fue utilizada una colección de 5000 documentos los cuales son comentarios extraídos de distintos sitios web, con los cuales realizamos una clasificación de ellos de acuerdo a su género contextual, a continuación se muestra la forma en que están estructurados dichos documentos:

6.1.- COLECCIÓN DE DOCUMENTOS DE TEXTO:

| P | String #1 | String #2 |
|------|---|---|
| 1 | 1.- Amzori accused his brother, whom hell called "the witness", of deliberately distorting his evidence | 1.- Referring to him as only "the witness", Amrozi accused his brother of deliberately distorting his evidence. |
| 0 | 2.- Yucaipa owned Dominick's before selling the chain to Safeway in 1998 for \$2.5 billion. | 2.- Yucaipa bought Dominick's in 1995 for \$693 million and sold it to Safeway for \$1.8 billion in 1998. |
| 1 | 3.- They had published an advertisement on the Internet on June 10, offering the cargo for sale, he added. | 3.- On June 10, the ship's owners had published an advertisement on the Internet, offering the explosives for sale. |
| 0 | 4.- Around 0335 GMT, Tab shares were up 19 cents, or 4.4%, at A\$4.56, having earlier set a record high of A\$4.57. | 4.- Tab shares jumped 20 cents, or 4.6%, to set a record closing high at A\$4.57. |
| n... | m(1).- ... | m(2).- ... |

Ejemplo de los primeros 4 documentos que forman parte de la colección de 5000 documentos donde "n" es un valor binario (0 ó 1) y m1 y m2 son el par de oraciones, (el valor binario indica la existencia o ausencia de paráfrasis). Esta colección de documentos de texto consta de 5000 pares de oraciones con un criterio binario de alineamiento que indica si el par de oraciones constituye o no una relación semántica (paráfrasis).

El conjunto de dichos documentos tienen el nombre de "Microsoft Research Paraphrase Corpus" [5].

Para evaluar el rendimiento del algoritmo se procedió a evaluar cada par de oración con nuestro algoritmo de Energía Textual para posteriormente comparar el resultado con el resultado binario pre-existente en el corpus (La columna "P"). La Energía Textual tuvo la capacidad de acertar en el 73% de los casos, teniendo como un rango de error el 27% de los resultados, a continuación se muestra el rendimiento de dichos datos de acuerdo al algoritmo de la Energía Textual:

Para definir y contextualizar un entorno donde los resultados de la recuperación de la información son positivos (cercaos o iguales al 100%) y útiles se decidió nombrar como **Zona "A"** a los vectores de datos recuperados en el caso donde la Precisión y la Cobertura sea la más alta, es decir, la que cuente con información útil y correcta.

Como resultado obtuvimos que el valor de corte para recuperar la mayor cantidad de información útil con nuestro método no supervisado debe ser de 0.8, A este resultado se le conoce como "**Zona A**", a continuación, se muestran todas las zonas con sus respectivos estadísticos que evalúan la calidad de recuperación de información:

| Zona: | Precisión: | Cobertura: |
|----------|------------|------------|
| 1 | 61 | 98 |
| 2 | 61 | 98 |
| 3 | 62 | 97 |
| 4 | 62 | 97 |
| 5 | 62 | 97 |
| 6 | 64 | 95 |
| 7 | 64 | 93 |
| 8 | 69 | 86 |
| 9 | 69 | 72 |

La zona con mayor rendimiento es la 8, a continuación, se muestra un análisis completo de dicha zona:

| Zona: | Precisión: | Cobertura : |
|-----------|------------|-------------|
| 81 | 68 | 85 |
| 82 | 68 | 85 |
| 83 | 68 | 85 |
| 84 | 68 | 83 |
| 85 | 68 | 85 |
| 86 | 69 | 80 |
| 87 | 70 | 77 |
| 88 | 70 | 77 |
| 89 | 64 | 74 |

La zona con mayor rendimiento es la zona 87, ya que es la que presenta mayor precisión y cobertura. A esa zona se le denominó como "**Zona A**".

La **zona A** es capaz de recuperar el 73% de documentos de acuerdo a la F-Measure[6].

6.1.- Conclusiones:

El rendimiento de la Energía Textual permite detectar paráfrasis de nivel general, por lo tanto, el algoritmo es muy eficiente para crear clústeres de textos. pero no es muy eficiente para detectar el nivel de asociación entre una cadena de caracteres contra otra cadena de caracteres, ya que las frecuencias son muy bajas. Este nivel de detección de paráfrasis es muy útil para el agrupamiento de definiciones.

Por otro lado, el algoritmo no detecta paráfrasis mecánica ni paráfrasis constructiva, ya que en ambos casos las frecuencias son demasiado bajas.

Actualmente el problema en esta investigación ha sido desarrollado únicamente desde el punto de vista de la lingüística computacional (específicamente desde las Redes Neuronales y el Reconocimiento de patrones) esperando que las próximas investigaciones a realizar cuenten con una mayor capacidad de extracción de características la cual permita resolver el problema de la similitud semántica de forma más precisa.

REFERENCIAS:

- 1.- Rousseeuw, P.J.; Kaufman, L. (1990). *Finding Groups in Data: An Introduction to Clúster Analysis*. Wiley.
- 2.- De Sousa Webber, Francisco (2015). «Semantic Folding Theory And its Application in Semantic Fingerprinting». arXiv:1511.08855.
- 3.- Rada, R., H. Mili, E. Bicknell y M. Blettner (1989). Development an Application of a Metric on Semantic Nets, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, , 17–30.
- 4.- Dr. Gerardo Eugenio Sierra Martinez. (2010). La Energía Textual como Medida de Distancia en Agrupamiento de Definiciones. 1, 1, 10. Febreo 2019, De http://www.ledonline.it/ledonline/JADT-2010/allegati/JADT-2010-0215-0226_105-Torres.pdf Base de datos.
- 5.- Quirk, C., C. Brockett, and W. B. Dolan. 2004. Monolingual Machine Translation for Paraphrase Generation, In *Proceedings of the 2004 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Barcelona Spain. Dolan W. B., C. Quirk, and C. Brockett. 2004. *Unsupervised Construction of Large Paraphrase Corpora: Exploiting Massively Parallel News Sources*. COLING 2004, Geneva, Switzerland.
- 6.- Powers, David M W (2011). "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" (PDF). *Journal of Machine Learning Technologies*. 2 (1): 37–63.
- 7.- MacQueen, J. B. (1967). *Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations*. *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* 1. University of California Press. pp. 281–297. MR 0214227. Zbl 0214.46201. Consultado el 7 de abril de 2009.
- 8.- Fix, E.; Hodges, J.L. (1989). «(1951): An Important Contribution to Nonparametric Discriminant Analysis and Density Estimation: Commentary on Fix and Hodges (1951)». *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique* 57 (3): 233-238. doi:10.2307/1403796.
- 9.- García, Dr. E. (27 de octubre de 2006). «Vector Models based on Normalized Frequencies». Mi Islita. Archivado desde el original el 8 de junio de 2012. Consultado el 17 de agosto de 2012.
- 10.- Jorge Ramió Aguirre, *Aplicaciones criptográficas. Libro guía de la asignatura de Seguridad Informática*. Escuela Universitaria de Informática. Universidad Politécnica de Madrid. Enero de 2018.
- 11.- Mandic, D. & Chambers, J. (2011). *Recurrent Neural Networks for Prediction: Learning Algorithms, Architectures and Stability*. Wiley. ISBN 978-0-471-49517-8.

Construcción de un corpus lingüístico a partir de *tweets* tomando como base un tema específico

Cristian de Jesús López Pérez*, Alicia Martínez Rebollar*, María Yasmín Hernández Pérez**

*Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, 62490
México (Tel: 777-304-4910 e-mail: {cristian.lopez17ca, [amartinez](mailto:amartinez@cenidet.edu.mx)}@cenidet.edu.mx)

**Instituto Nacional de Electricidad y Energía Limpias, INEEL, 62490
México (Tel: 762-3811 ext. 7502 e-mail: yasmin.hernandez@ineel.mx)

Resumen. El corpus lingüístico es un conjunto amplio y estructurado de ejemplos reales de uso de la lengua. El corpus lingüístico apoya en el análisis estadístico y permite contrastar una hipótesis sobre un área de estudio. La construcción de un corpus lingüístico es el proceso de estructurar y procesar la información de la lengua, para la construcción de una lista de datos relevantes hacia el trabajo de investigación. En este artículo se presenta la metodología seguida para la construcción de un corpus lingüístico. Esto se lleva a cabo a través del análisis de un conjunto de tuits. En esta metodología se utilizó la red social Twitter para obtener los tuits de un tema en específico, además se utilizó R para analizar los datos.

Keywords: Corpus lingüístico, tema específico, lengua, enriquecimiento de un corpus, minería de opinión

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de un corpus es el proceso de estructurar y procesar la información de la lengua. Algunos de los métodos o pasos que se mencionan para la construcción de un corpus lingüístico, son: decidir que lengua o variedad lingüística se va a analizar, obtener una cantidad de textos representativos, decidir qué tipo de texto se va a seleccionar y usar un programa para el análisis de frecuencia de acuerdo con la investigación a realizar, entre otros. La construcción de un corpus interviene el procesamiento de lenguaje natural que logra realizar la comunicación entre la máquina y lo que expresa una persona mediante el uso de una lengua natural, obteniendo datos para analizarlos.

La problemática de este trabajo de investigación es el procesamiento de los datos y la estructuración para clasificarlos en la categoría del tema. En el procesamiento de los datos se realiza también la comprensión del lenguaje para lograr identificar las palabras que pertenecen al tema, y obtener una lista de ellas. Además, la estructuración de los datos se debe asignar campos donde serán clasificados o etiquetados de acuerdo con el tema.

La variedad de métodos existentes de como construir un corpus depende de los datos que se extraen de un texto o de un documento. Existe una forma de obtener características más específicas que nos sea de interés de conocer para la

construcción del corpus, como la realización de una encuesta se puede obtener datos precisos. El corpus es un factor de cierta importancia debido a su tamaño, accesibilidad, información lingüística y enciclopédica. Debido a esto, brinda a los investigadores la posibilidad de tener a su disposición grandes volúmenes de datos y con ello poder estudiar la lengua integrada en el contexto discursivo. Actualmente existen una gran variedad de corpus, cada uno de ellos tienen su propio objetivo.

Twitter (<https://www.twitter.com>) es un servicio de microblogueo que crece día tras día. La información que otorga *Twitter* son las publicaciones realizadas por los usuarios, también llamadas *tweets* o *tuis*. Los tuits es una fuente de información que se puede analizar y obtener ciertos datos relevantes para una investigación. Existe una plataforma de *Twitter* que permite a los programadores crear una aplicación. Cuyo objetivo es poder entablar una conexión con una herramienta externa. *Twitter* por seguridad realiza un cuestionario a los usuarios que quieren crear una aplicación y valida si la aplicación es adecuada de acuerdo con los términos de privacidad de la empresa.

En este artículo se presenta la metodología utilizada para construir un corpus de un tema en específico. Esta metodología contiene los siguientes pasos: i) Recolección de los datos; ii) Desarrollo de un modelo de datos, y iii) Clasificación de los datos.

El resto del artículo se organiza de las siguientes secciones: fundamento teórico y trabajo relacionado, construcción del corpus, lecciones aprendidas y conclusiones.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO Y TRABAJOS RELACIONADOS

2.1 Fundamento teórico

2.1.1 Corpus lingüístico

Pérez C. (2002) menciona que se puede llamar corpus a cualquier colección que contenga más de un texto (corpus como cuerpo textual). El corpus es un conjunto amplio y estructurado del uso de la lengua. El corpus es una colección de textos que se supone que son representativos de un idioma determinado, los cuales se convierten en repositorios de información.

2.1.2 Lengua en el ámbito lingüístico

El Instituto Cervantes (1997-2018) menciona una referencia al empleo de la lengua, destacando de este modo la que se concibe como su función fundamental que es la comunicación. La lengua, entendida de este modo, se convierte en el objeto de estudio del análisis del discurso, de la lingüística del texto, de la etnografía de la comunicación, de la pragmática, entre otras.

2.1.3 Procesamiento del lenguaje natural

Saif M. (2015) menciona que el “Procesamiento del Lenguaje Natural” también conocido con sus siglas *PLN* o *NLP* (*Natural Language Processing*) consiste en la utilización de un lenguaje natural para comunicarse con la computadora, debiendo ésta entender las oraciones que le sean proporcionadas, el uso de estos lenguajes naturales, facilita el desarrollo de programas que realicen tareas relacionadas con el lenguaje o desarrollar modelos que ayuden a comprender los mecanismos humanos relacionados con el lenguaje.

2.1.4 Lenguaje natural

Saif M. (2015) menciona que el lenguaje natural es el medio que se utiliza de manera cotidiana para establecer comunicación con las otras personas. El lenguaje natural ha venido perfeccionándose a partir de la experiencia a tal punto que se puede utilizar para analizar situaciones altamente complejas y razonar muy sutilmente.

2.2 Trabajos relacionados

En los siguientes trabajos de investigación que se presentan a continuación, se hace resaltar los puntos importantes de la creación de un corpus lingüístico dentro del artículo.

Hernández Y., Martínez A. y Acevedo C. (2017) proponen un método de extracción de palabras y frases para la construcción de un corpus basándose de un estudio para conocer la personalidad. El estudio consiste en tres etapas: i) los participantes respondieron preguntas sobre información personal, ii) completaron un cuestionario del modelo de personalidad DISC y iii) los participantes escribieron algunos párrafos sobre un tema de su elección.

Baca Y. (2014) describe un método de creación de un corpus es basándose con comentarios de la red social *Facebook* (<https://www.facebook.com>), donde recolectaron 4,600 comentarios, para crear dicho corpus para este trabajo de investigación. La selección de las palabras dentro de la colección de texto que recolectaron fue de criterio lingüístico explícito, es decir, la delimitación del corpus y la segmentación de los textos.

Molina C. (2015) presenta una colección de 15 documentos escritos en español y digitalizados que suman un total de 322,613 vocablos de la lengua común y especializada, que se usaron para obtener una tipología de los corpus, es decir, obtener una clasificación y distinción del corpus, por ejemplo: *origen de los textos* es un tipo de corpus que se obtiene de corpus orales y corpus textuales; y que de corpus orales se desglosa corpus oral sonoro y transcrito, y con ello obtener la ortografía, fonética y fonología.

Fernández P. (2015) propone un método para la creación de un corpus, como una colección de textos con base en el tema en específico. El método tiene los siguientes pasos: i) concientización lingüística trata de la transcripción, el cual es un proceso de escritura con un cierto grado de habilidad, rapidez y eficacia, para comprender el proceso comunicativo existente entre el escritor del documento y el lector-transcriptor; ii) la escritura del texto trata de transcribir el texto, etiquetándolo estructuralmente y anotándolo con las categorías morfosintácticas oportunas, según las instrucciones recibidas y los criterios expuestos; iii) la actitud holística interdisciplinaria trata de definir de cómo plasmar las transcripciones realizadas. La selección de las palabras fue tomada con criterio de datos lingüísticos, mencionando que el enriquecimiento que darán a los corpus creados deberán ser basados hacia el tema específico que el investigador seleccionó.

Pitkowski E. & Vásquez J. (2016) presentan una variedad de corpus, tanto como tipos de corpus y sus datos generales, a pesar de toda esa información que se brindan. Se enfocaron en la estructura general de los corpus. Haciendo comparaciones entre los corpus dando ventajas y desventajas. Dando a conocer los puntos fuertes de cada corpus y estructurando corpus a base a ello.

Lareo I. (2016) propone un método para la extracción y almacenamiento de datos extraídos para un tema concreto de estudio: las colocaciones verbo-nombre en Inglés Moderno Tardío. Las colocaciones de verbo-nombre es la extracción y

análisis de datos procedentes de textos reales, permitiendo comprobar la frecuencia de uso, implicaciones extralingüísticas, evolución, primera aparición y, en algunos casos, desaparición de las colocaciones. La metodología consiste primeramente en haber compilado el corpus, después se procedió a la extracción, almacenamiento y proceso de datos, siguiendo una serie de pautas y utilizando la ayuda de algunos programas informáticos.

Villayandre M. (2008) desarrolló una metodología basada con un corpus. Donde los diferentes conceptos de corpus están relacionados con las corrientes teóricas más influyentes en los últimos siglos. Los corpus no son considerados instrumentos válidos, ya que, desde la respectiva del modelo teórico propugnado por Chomsky según el autor Villayandre, pero estos corpus son pequeños si se comparan con los estándares de la actualidad. Además, menciona que las principales ventajas que derivan del hecho de consistir en muestras reales de la lengua, de aportar objetividad y de ofrecer la posibilidad de verificar teorías fácilmente. Tanto como la manipulación, extracción y procesamiento de los mismos.

3. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CORPUS

La construcción del corpus presentado en este artículo es detallada a través de un conjunto de pasos. El corpus lingüístico fue construido con 2,500 tuits. Se hizo una selección de los tuits hacia al tema de política. La Fig. 1 muestra la metodología de solución la cual está formada por tres pasos.



Fig. 1. Pasos propuestos para la construcción de un corpus lingüístico

Esta serie de pasos “recolección de datos”, “modelo de datos” y “clasificación de los datos” tiene como objetivo construir un corpus a partir de los tuits. El corpus que se obtiene de los tuits descargados es necesario definir la lengua o la variedad lingüística que se va a analizar. Además, se debe saber la estructura de un tuit que se mencionara con mayor detalle en la sección modelo de datos. Teniendo el modelo de datos, se puede llevar a cabo un análisis que consiste en la selección de tuits a criterio de un especialista en el tema de política, pasando así 3 filtros de la selección de los tuits. Con la finalidad de obtener tuits clasificados a relación al tema de política, y con ello extraer una lista de palabras relacionadas al tema que conformará al corpus a construir.

A continuación, se explican con mayor detalle cada uno de los pasos propuestos.

3.1 Recolección de datos

El primer paso es la recolección de datos, la cual tiene como objetivo extraer la mayor cantidad de tuits en la red social *Twitter*. Con la plataforma de *Twitter developer* es necesario contar con una aplicación creada a través de ella, para establecer una conexión con la herramienta externa a usar.

Esta investigación consta de la recolección de tuits a través de una herramienta llamada *RStudio*. Es necesario contar con una aplicación creada de la plataforma de *Twitter developer*. La conexión se hará a través de *RStudio* enlazando a la aplicación creada en la plataforma *Twitter developer*. *Twitter* otorga claves únicas para la utilización de la conexión de una herramienta externa. Además, *RStudio* necesita algunas bibliotecas para poder trabajar con *Twitter*, así como descargar tuits, el preprocesamiento y entre otras funciones. Las bibliotecas para usar: *twitteR*, *tidyr*, *dplyr*, *purrr*, *ROAuth*, *httr*, *tm*, *SnowballC*, *NLP* y *reader*.

Después, se realiza la conexión con la aplicación que se creó a través de la plataforma de *Twitter developer* con la herramienta *RStudio*. En las siguientes líneas se muestra el código a usar para hacer la conexión a *Twitter* y así poder llevar a cabo la descarga de los tuits.

```

consumerKey = "consumerKey"
consumerSecret = "consumerSecret"
accessToken = "accessToken"
accessSecret = "accessSecret"
options(httr_oauth_cache=TRUE)
setup_twitter_oauth(consumer_key = consumerKey,
consumer_secret = consumerSecret, access_token
= accessToken, access_secret = accessSecret)
  
```

En los campos *consumerKey*, *consumerSecret*, *accessToken* y *accessSecret* se cambia por las claves que *Twitter* otorga. Las claves son únicas por cada aplicación que se crea en la plataforma *Twitter developer*. Como se muestra en la Fig. 2.

Consumer API keys

ogKY6ZkZyXCVkfvXKIGYv8crU (API key)

Kz0xjaw7xjHmsdPW1nPLS9RBF6m0BXGmPMYmxnVEVgAs591xR (API secret key)

Regenerate

Access token & access token secret

1087749532023181312-1e3jAAbngqe1my5ZHndKbxcj4bJX0S (Access token)

iZEaxWxcWZt75SiteINKLrGVvH0kLJFV9CCmCxsVTWnuJ (Access token secret)

Fig. 2. Claves únicas que otorga *Twitter* al crear una aplicación en su plataforma de desarrollo

RStudio se enlazará con la aplicación creada de la plataforma *Twitter developer*, para obtener una conexión entre ellas. Teniendo la conexión se introducirá el comando *searchTwitter* para asignarlo a una variable. Ej. `Todo_tuits <- searchTwitter("", n=2,500, lang = "es", geocode = "19.34953,-99.18794,600km")` con la biblioteca cargada en R la cual es *twitteR*, cuyos parámetros son: *String* (la cadena que se buscará en los tuits), *n* (la cantidad de tuits a descargar), *lang* (el idioma a buscar) y *geocode* (la ubicación donde se buscará los tuits, esto no es tan necesario, depende de la investigación a realizar).

3.2 Modelo de los datos

El modelo de los datos ayuda a entender los componentes que contiene el dato, en este caso el de un tuit. Los componentes que contiene un tuit es: *text*, *favorited*, *favoriteCount*, *replyToSN*, *created*, *truncated*, *replyToSID*, *id*, *replyToUID*, *statusSource*, *screenName*, *retweetCount*, *isRetweet*, *retweeted*, *longitude* y *latitude*. Son todos los componentes de un tweet, a continuación, se describe los campos en la tabla 1.

Tabla 1. Campos que compone a un tuit

| | |
|----------------------|---|
| <i>text</i> | El texto del estado |
| <i>favorited</i> | Si este estado ha sido favorecido |
| <i>favoriteCount</i> | El número de veces que ha sido favorecido |
| <i>replyToSN</i> | Nombre de pantalla del usuario al que responde como respuesta |
| <i>created</i> | Cuando este estado fue creado |
| <i>truncated</i> | Si este estado fue truncado |
| <i>replyToSID</i> | Muestra un ID interno de <i>Twitter</i> del tuit al que respondió |
| <i>id</i> | ID de este estado |
| <i>replyToUID</i> | ID del usuario al que respondía |
| <i>statusSource</i> | Agente de usuario de origen para este tuit |
| <i>screenName</i> | Nombre de pantalla del usuario que publicó este estado |
| <i>retweetCount</i> | El número de veces que este estado ha sido retweeteado |
| <i>isRetweet</i> | Verdadero si este estado ha sido retweeteado |

| | |
|------------------|--|
| <i>retweeted</i> | Verdadero si este estado ha sido retweeteado del retweet |
| <i>longitude</i> | Longitud de donde fue publicado el estado |
| <i>latitude</i> | Latitud de donde fue publicado el estado |

Formato por default que genera la herramienta RStudio.

3.3 Clasificación de los datos

La clasificación de los datos nos ayuda a etiquetar las palabras, frases o tokens y relacionarla con un tema. Con la ayuda de los filtros que se haya realizado con la selección de los tuits es posible crear el modelo de datos. El modelo de datos creado se añade campos donde se extraerán las palabras o frases que tienen una relación con el tema. Realizando un preprocesamiento de los tuits se puede obtener las palabras o frases de ellas y a criterio de un experto en el tema puede indicar cuales palabras pertenece al tema. La estructuración de los tuits seleccionados se obtiene las palabras que se considera parte del tema, además, se obtiene la clasificación de los tuits seleccionados que pertenece al tema.

Tabla 2. Extracción de palabras de los tuits

| | | | |
|------|----------|----------|-------------|
| Text | Palabra1 | Palabra2 | PalabraN... |
|------|----------|----------|-------------|

Los campos "palabra 1", "palabra 2", etc. son aquellas palabras que fueron tomadas de un tuit que tiene relación con el tema. Con esa pequeña estructura o modelo de datos, se puede definir el tema de los tuits de la porción tomada de la muestra. Todo esto ayuda a crear un corpus del tema. Las palabras que fueron tomadas como clave para definir el tema de un tweet se añade para la creación del corpus. Con los datos restantes de la muestra se puede hacer el mismo procedimiento para identificar las palabras y relacionarlas al tema. Finalmente, la estructuración de los datos queda de la siguiente forma.

Tabla 3. Tuits con etiquetado del tema y extracción de las palabras

| | | | | |
|------|----------|----------|-------------|------|
| Text | Palabra1 | Palabra2 | PalabraN... | Tema |
|------|----------|----------|-------------|------|

Tabla 4. Corpus del tema en específico

| | | | |
|-------|------------|--------------------|------|
| Token | Frecuencia | Peso de la palabra | Tema |
|-------|------------|--------------------|------|

4. DISCUSIÓN

Al momento de construir un corpus, se debe tener en claro lo que uno busca en específico, porque hay ocasiones que uno se desvía del objetivo original. Cuando se comienza la construcción un corpus se puede tomar cualquier palabra para añadirla en el mismo, de esa forma no es prudente realizarlo, porque no sería

REFERENCIAS

algo específico del corpus y tendrá una variedad de palabras que no esté relacionado con el tema que se haya escogido, y esto podría causar error o ruido al momento de querer usar el corpus.

La recolección de los datos se lleva a cabo de varias formas, pero en este caso, la recolección fue realizada por una herramienta externa llamada *RStudio*. Con la ayuda de *RStudio* se logra realizar una conexión con Twitter para hacer la petición de los tuits a descargar. La información analizada en los trabajos relacionados permitió concluir que no ha sido encontrado el mejor método para la creación de un corpus. El análisis manual de un corpus puede brindar información importante que permite asegurar ampliamente las palabras.

Existen corpus lingüísticos que contienen información acerca de un tema. Por lo tanto, esos corpus pueden estar en el dominio público o privado. Luego de revisar si había alguno de interés, se buscó en los sitios web donde la información que brindará estuviera respaldada por algo o por alguien, es decir, comprobar que la información fuera de calidad. Si en dado caso se haya encontrado la información de un corpus existente del tema, se puede realizar el proceso de enriquecimiento del corpus, añadiendo palabras restantes que puede ser de utilidad, para cuando se dé el uso de ello.

En la construcción de un corpus específico se debe tener en cuenta la lengua que se decidió, es decir, la variedad lingüística que se va a analizar, además, la comprensión del tema y de los datos. La comprensión de los datos puede ser algo complicado al momento de hacer un análisis de ello. Comprendiendo los componentes del dato se puede realizar el modelo de datos.

5. CONCLUSIONES

Las técnicas existentes para la construcción de un corpus, son de gran utilidad, porque los pasos de cada uno están dirigidos hacia algo específico y se debe saber cómo aplicarlas. La creación de un corpus ayuda al investigador a tener la información almacenada y ordenada para luego aplicarla donde se vaya a usar, puede ser en probabilidades estadísticas, en análisis de sentimiento, minería de opinión, entre otros, para obtener resultados eficientes. El enriquecimiento de un corpus ayuda a tener un amplio contenido de la información, obteniendo así un mayor resultado de eficiencia. Esos criterios de enriquecimientos dependen de cada investigador, porque en la obtención de los resultados se ve que tan bueno es la calidad del mismo.

Además, al realizar estos pasos podemos obtener información útil de cómo construir un corpus lingüístico basándose con un tema específico. También cabe señalar, la ventaja de trabajar con corpus es de tenerlo almacenado y poder usarlo en cualquier momento. Debido a ello, entender mejor cómo funciona el lenguaje humano. Los corpus también proporcionan elementos útiles en el campo de la enseñanza de las lenguas, además, es un factor de cierta importancia debido a su tamaño, accesibilidad, información lingüística y enciclopédica.

- Baca Y. (2014). Desarrollo de un servicio web para determinar la polaridad de textos de redes sociales en español (Tesis de Maestría). *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico*, pp. 52-63.
- Bing L. (2012). *Sentiment Analysis and Opinion Mining*, Morgan & Claypool Publishers, pp. 90-100.
- Fernández P. (2015). La creación de corpus lingüístico diacrónicos: la perspectiva del transcriptor. *Revista Venezolana de Información, Tecnología y conocimiento*, 12(3), pp. 23-47.
- Hernandez Y., Acevedo C. y Martínez A. (2017). Towards a linguistic corpus in Spanish with personality annotations. *Conference: 16th Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, 10633(2), pp. 158-168.
- Instituto Cervantes. (1997 - 2018). Centro Virtual Cervantes. [Online] Available at: https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/usolengua.htm [31 Oct. 2018].
- Lareo I. (2006). Compilación y explotación de un corpus con fines específicos. *RAEL: revista electrónica de lingüística aplicada*, Volumen (5), pp. 87-106.
- Molina C. (2015). Diseño de un corpus y una base de datos para el análisis lingüístico de los términos de una técnica específica. *UNAM-IIFL*, pp. 2-5. 2015.
- Pérez C. (2002). Estudios de Lingüística del Español (ELiEs). [Online] Available at: <http://elies.rediris.es/elies18/23.html> [30 Oct. 2018].
- Pitkowski E. y Vásquez J. (2016). El uso de los corpus lingüísticos como herramienta pedagógica para la enseñanza y aprendizaje de ELE. *Sección d'études hispaniques Université de Montréal, May*, Volumen (11), pp. 31-51.
- Saif M. (2015). Sentiment Analysis: Detecting Valence, Emotions, and Other Affective States from Text. *Emotion Measurement*, pp. 201 -237.
- Villayandre M. (2008). Lingüística con corpus. *E.H. Filología*, Volumen (30), pp. 329-349.

Localización de dispositivos móviles en espacios cerrados utilizando la tecnología de beacons

Daniel Cervantes*, Alicia Martínez*
Juan F. Mosiño**, Javier Ortiz*

**Tecnológico Nacional de México/CENIDET, Int. Internado Palmira S/N, C.P. 62490,
Col. Palmira. Cuernavaca, Morelos, México (e-mail: {daniel.cb17ce, [amartinez_ortiz](mailto:amartinez_ortiz@cenidet.edu.mx)}@cenidet.edu.mx)
**Tecnológico Nacional de México/I. T. León. Av. Tecnológico S/N, Fracc. Industrial Julián de Obregon,
León Guanajuato C.P. 37290, México e-mail:(jfmosino@gmail.com)

Resumen

Con el creciente desarrollo de Internet de las cosas, ha incrementado la necesidad de las personas de tener un panorama más amplio de saber su ubicación en espacios cerrados. Como se sabe el sistema de posicionamiento en exteriores por satélite “GPS”, ha evolucionado lo suficiente proporcionando a los usuarios posicionamientos en exteriores de alta precisión. Desafortunadamente, el GPS en espacios cerrados pierde precisión y los datos no son confiables, debido a que la señal no se mueve fácilmente a través de objetos sólidos. En este trabajo de investigación, se presenta un sistema de posicionamiento en interiores (indoor) basado en tecnología *Bluetooth* de Baja Energía, mediante dispositivos *beacon*. Se obtiene la potencia de la señal RSSI que emite el beacon, para poder determinar por medio del algoritmo de trilateración la ubicación del dispositivo en algún lugar dentro de un recinto cerrado.

Palabras clave: Trilateración, *beacon*, RSSI, Posicionamiento *indoor*

1. INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, la tecnología ha evolucionado a gran velocidad, y hay un factor que ha sido denominador común de las principales innovaciones:” **la conectividad**”. Actualmente, vivimos más conectados que nunca, no sólo a internet sino a otros dispositivos, como, por ejemplo, a una pulsera de actividad, sensores de movimiento, aparatos electrodomésticos, dotando a las personas de dispositivos que proporcionan una mejor calidad de vida. La finalidad de estos dispositivos es tener una visión específica de todo lo que sucede a nuestro alrededor (Vega 2016).

Con todos estos avances tecnológicos, viene el internet de las cosas (*IoT*), tecnología que permite que personas y objetos puedan estar conectadas en tiempo real. Con la llegada de esta tecnología, se produjo un cambio muy impactante en las aplicaciones de los teléfonos inteligentes, ya que se convirtieron en una herramienta muy útil en la vida de los usuarios. Permitiendo la conectividad con su entorno. Una de

las áreas emergentes dentro del *IoT*, es el uso de *beacons*, que son pequeños dispositivos de ultra bajo consumo que constantemente emiten una información prefijada mediante BLE (*Bluetooth Low Energy*). El uso de BLE lo hace compatible con prácticamente todos los dispositivos móviles, lo que abre un abanico inmenso de posibilidades, ya que hoy en día los dispositivos inteligentes son una realidad al alcance de la mayoría (Tineo 2016). La presente investigación, ha consistido en el desarrollo de una solución que hemos llamado “ubico” sistema de localización *indoor* en tiempo real de bajo costo, basada en el uso de tecnología *Bluetooth* de Baja Energía (*BLE*), que permita ubicar dispositivos móviles en lugares cerrados, con ayuda de los dispositivos beacons.

Hoy en día, el Sistema de posicionamiento global GPS, se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas, debido a que provee servicios geográficos en tiempo real, permitiendo determinar la ubicación de un objeto o dispositivos, con un alto grado de precisión. EL inconveniente principal que presenta esta tecnología, es que en espacios cerrados pierde precisión y

los datos no son confiables, debido a que la señal no se mueve fácilmente a través de objetos sólidos, así como también la pérdida de precisión cuando se trata de ubicar objetos o dispositivos.

La localización en interiores y la detección de proximidad han sido objeto de un aumento del interés en los desarrolladores de *software*. Actualmente se han propuesto una serie de soluciones (Barba 2017) (Gómez 2017) (Peña 2017), que se basan en utilizar la tecnología *Ble beacon*, por su bajo consumo de energía y fácil manejo en interiores. Enfocados a plataformas Android y iOS. Yanina Boccardo propone un patrón de diseño permite prevenir aquellos problemas típicos y recurrentes que puedan surgir a la hora de desarrollar una aplicación móvil que interactúa con dispositivos *beacon* para recibir información de contexto de los usuarios (Boccardo 2016). Otro punto importante a tomar en cuenta, son las técnicas y métodos de geolocalización existentes, entre las que se incluye WiFi, UWB (Radiofrecuencia con un ancho de banda mayor a 500 MHz), RFID (Identificación por radiofrecuencia), y BLE etc. y métricas como RSSI (Indicador de fuerza de señal recibida) (An 2017) (Rusli 2016) (Marinelli 2015) (Cabrera 2018). Ángulo de llegada (AoA), Hora de vuelo (ToF), diferencia horaria de llegada (TDoA), etc. para una localización y seguimiento precisos en interiores (Caspi 2017) (Quezada 2018), utilizando el algoritmo basado en trilateración (Rusli 2016) para una mejor ubicación.

Por lo tanto, existe una demanda urgente de tecnología de posicionamiento en interiores. Por consiguiente, El objetivo de este trabajo es, diseñar una aplicación para dispositivos móviles, que permita localizar dispositivos móviles en ambientes cerrados con ayuda de la tecnología *Beacons*.

2. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

En este trabajo de investigación, se presenta un algoritmo de localización en interiores, utilizando la tecnología *Beacon estimote*, del cual se obtiene la señal RSSI. A través del algoritmo de posicionamiento de tiempo real, y consultando estos resultados en la base de datos MySQL, se muestra la posición actual del dispositivo móvil para llevar a cabo el proceso de posicionamiento. Durante esta investigación, se encontró que Android es la plataforma perfecta para implementar este proyecto. Ya que es un sistema operativo móvil de código abierto y gratuito para los desarrolladores. A continuación, en la (Fig. 1), se muestra la estructura del sistema.

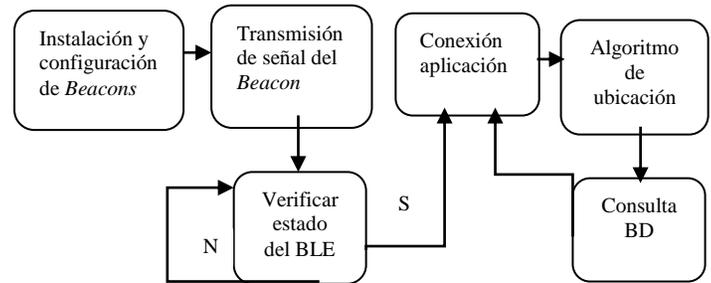


Fig. 1. Diagrama de flujo para la consulta de la ubicación de dispositivos móviles

- 1.- Se configuran los beacon: UUID (Identificador universal), *major* y *minor* (Identificador del beacon) con respecto a nuestro proyecto y se colocan los beacon en las áreas específicas dentro del edificio.
- 2.- Se llevan a cabo pruebas con la intensidad de la señal RSSI emitida por los *beacon*.
- 3.- Se realizan pruebas de conexión vía bluetooth con la aplicación.
- 4.- Se realiza la operación de ubicación con ayuda del algoritmo de trilateración, el cual hace conexión con la base de datos y muestra en pantalla la ubicación solicitada.

2.1 Localización a partir de la señal RSSI

Para calcular la distancia entre los dispositivos de radio utilizando RSSI, se emplea un modelo de propagación de radio adecuado. Los diferentes obstáculos entre el transmisor y el receptor como paredes, muebles e incluso cuerpos humanos, ocasionan una pérdida de propagación de la señal de radio debido a la absorción y desviación ocasionada por estos obstáculos, la cual no puede ser tomada a la ligera. Por lo tanto, se optó por utilizar, un modelo de propagación para interiores utilizando la (ecuación 1):

$$d = 10^{((TxPower - RSSI)/(10 \cdot n))} \quad (1)$$

donde:

RSSI es el nodo de potencia de referencia recibido, d es la distancia entre los nodos de referencia, $TxPower$ se define como la energía absoluta que representa en dBm a una distancia de 1 metro del transmisor, n es la constante de transmisión de la señal y es relevante para el entorno de transmisión de la señal.

2.2 Algoritmo de localización

En esta investigación, se presenta un algoritmo de localización basado en trilateración. Con un mínimo de tres anclas y sus

respectivas posiciones. Es posible aproximar la ubicación de un objeto móvil, esto se consigue trazando una circunferencia con radio ‘distancia medida’ y centro en cada ancla. La región determinada por la intersección de las circunferencias determina la posición estimada del objeto. Cuantas más anclas tengamos más precisión obtendremos. Primeramente, se muestra un algoritmo de flujo como se muestra en la (Fig. 2). Al momento en el que el dispositivo móvil se encuentre en el rango de los *beacons* se obtiene la señal RSSI. Se pretende filtrar la señal ya que es muy inestable para obtener un mejor resultado en la ubicación. Ya filtrada la señal RSSI, se ubican los *beacons* más cercanos mínimo 3, y se realiza la ubicación con ayuda del algoritmo de trilateración, mostrando la ubicación del dispositivo móvil en la aplicación.

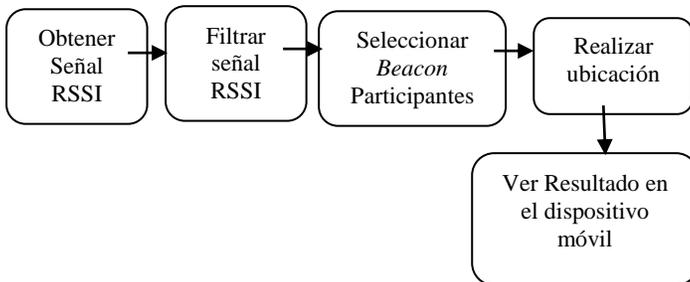


Fig. 2. Diagrama de flujo para determinar la ubicación

A continuación, se definen las siguientes ecuaciones para el algoritmo de trilateración:

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (2)$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2 \quad (3)$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \quad (4)$$

Para encontrar las intersecciones de la primera y segunda esfera, se resta la (ecuación 2) menos la (ecuación 3). Obteniendo el valor de “x” que se muestra en la (ecuación 5):

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (5)$$

Para encontrar “y”, se sustituye “x” en (ecuación 2), y se obtiene la (ecuación 6):

$$r_1^2 = \left(\frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \right)^2 + y^2 + z^2 \quad (6)$$

Se tienen dos posibles puntos objetivos, se utiliza la (ecuación 4) para determinar cuál es la solución. Despejamos las incógnitas “y” y “z” en la (ecuación 4) y esta última “y”, se obtiene la (ecuación 7):

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - 2xi + i^2 + j^2}{2d} \quad (7)$$

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación, se analizan los resultados obtenidos, se presenta el diseño de la interfaz de usuario del sistema resultante, su funcionalidad, diseño y pruebas.

3.1 Desarrollo de la interface de usuario

El prototipo que se presenta, permite que el usuario conozca su ubicación en interiores, siempre y cuando cuenten con la aplicación instalada en su dispositivo y el recinto cuente con la tecnología *Beacons*.

Cuando el usuario requiere saber su ubicación dentro de un recinto realiza el siguiente procedimiento:

- 1.- Enciende la aplicación
- 2.- Activa el *Bluetooth*. Nos muestra un mensaje emergente, en el cual nos da la posibilidad de activar o no el *Bluetooth*. Como se muestra en la (Fig. 3):



Fig. 3. Pantalla activación Bluetooth

- 3.- Inicia sesión, se valida usuario y contraseña, de ser correcta nos muestra la pantalla de inicio de sistema como se muestra en la (Fig. 4), en la que el usuario podrá seleccionar su estado en la aplicación, podrá estar como oculto, visible para todos, o seleccionar quien lo puede ver:

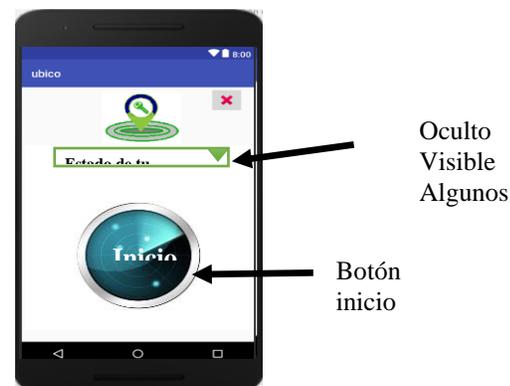


Fig. 4. Pantalla inicio ubicación

- 4.- Dando click en el botón “Inicio”, se realiza la ubicación.
- 5.- Entra en el rango de los *beacons* activos y se inicia la detección de la señal del RSSI.
- 6.- Empleando esa información se procede a utilizar el algoritmo de trilateración, para obtener la ubicación del dispositivo móvil.
- 7.- Finalmente como resultado nos muestra la ubicación del usuario, como se muestra es la (Fig. 5).



Fig. 5. Pantalla ubicación

3.2 Simulación del algoritmo de trilateración para ubicación de dispositivos móviles

Para hallar la posición de nuestro dispositivo móvil, basta con encontrar la intersección de las circunferencias que forman las 3 anclas (*Beacons*). Estas circunferencias tienen de radio la distancia que se ha determinado a partir de la (ecuación 1), la cual se encuentra en función de la intensidad de la señal RSSI que emiten los *Beacons*. Las circunferencias mostradas en la (Fig. 6) son determinadas por medio de las (ecuaciones 2-4). Como se observa en la (Fig. 6), la cual representa el segundo nivel de la unidad Académica 5 del campus Mecánica del Cenidet, se desarrolló una simulación del algoritmo de trilateración para realizar posicionamiento en interiores mediante la tecnología *Beacons*.

Partiendo de la suposición de la instalación de tres *Beacons*, se elige instalar el primer *Beacon* en la esquina superior del salón 2, el segundo *Beacon* se coloca en el muro de división del salón 2 y el área de estudiantes, finalmente el tercer *Beacon* se coloca en la esquina superior donde se ubican las escaleras.

Considerando que el objeto móvil a ubicar se encuentra dentro del alcance de la señal de los beacons y una vez que ejecutemos la aplicación por medio del botón “Inicio” se ejecuta el algoritmo de trilateración, e indicara al usuario su ubicación en el interior del edificio, como se observa en la (Fig. 6):

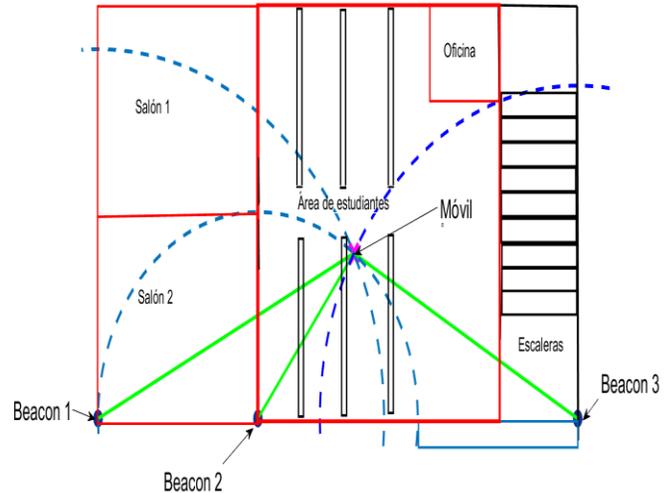


Fig. 6. Ubicación en interiores utilizando trilateración y dispositivos beacon

4. CONCLUSIONES

En este trabajo, se propone un sistema de localización de interiores basado en el algoritmo de trilateración y la tecnología iBeacon. La utilización del iBeacon tiene la ventaja de un menor consumo de energía y una mayor precisión con respecto a los sistemas de posicionamiento GPS. Los resultados de la presión de la ubicación en un área libre de obstáculos son aceptables y prometedores sin embargo si la señal RSSI es obstaculizada la señal RSSI se degrada y debilita, por este motivo es necesario que algoritmo utilice una señal promediada o inclusive una señal RSSI filtrada con el objetivo de realizar una localización precisa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México) y al CENIDET (Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico) por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta tesis de Maestría.

REFERENCIAS

- An, K. a. 2017. ‘Reliable sensor location for object positioning and surveillance via trilateration’. *Transportation research procedia, volumen 23, Elsevier*, pp. 228--245.

- Boccardo, Y. a. 2016. 'Patron de diseño Beacon Action Manager para comunicar Aplicaciones móviles (IoT)'. *Revista Eletronica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação y de la Comunicación*, vol. 1, no. 6, pp. 14.
- Caspi Nasimba, J. A. 2017. 'Desarrollo de aplicaciones basadas en ubicación para espacios interiores utilizando tecnologías de localización. Caso de estudio: visita guiada de la biblioteca "Alejandro Segovia"'. PhD thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Daniel Barba, A. M. 2017. 'Uso de Bluetooth de Baja Energía en aplicaciones de localización indoor'. *Jornadas Sarteco*.
- Gómez Oliva, a. a. 2017. 'Turismo inteligente y patrimonio cultural: un sector a explorar en el desarrollo de las Smart Cities'. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, vol. 3, no. 1, pp. 389-411.
- Cabrera Goyes, D. O. 2018. 'Posicionamiento en espacios interiores con Android, Bluetooth y RSSI'. *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 1, pp. 118-126, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador.
- Quezada Cabrera 2018. 'Prototipo de aplicación movil de localización en interiores'. PhD thesis, Universidad de Uzuay. Cuenca – Ecuador.
- Marinelli, M. |. 2015. 'Diseño de un sistema de posicionamiento Wi-Fi en interiores basado en la plataforma Android'. *XVII Workshop de investigadores en Ciencias de la Computación (Salta, 2015)*. Buenos Aires.
- Peña Parra, M. a. 2017. 'Implementación de servicios de proximidad para el desarrollo de ambientes inteligentes usando BLE Beacons'. PdH thesis, Universidad Autónoma de Occidente. Cali Colombia.
- Piedra Vega, J. 2016. 'Sistema de posicionamiento móvil para interiores vía Wifi'. PdH thesis, Catalunya, España: Universitat Oberta de Catalunya, ESPAÑA.
- Rusli, M. E. 2016. 'An improved indoor positioning algorithm based on RSSI-trilateration technique for Internet of Things (IOT)'. *Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2016 International Conference on* (págs. 72--77). Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE.
- Tineo, A. A. 2016. 'Beacons BLE (Bluetooth Low Energy) en el sector turistico'. PhD tesis, Catalunya, España: Universitat Oberta de Catalunya.

The Theta* Algorithm for Path Calculation

Diego Carlos Luna Márquez* Dante Mújica-Vargas**
Ana Monserrat Rojas Fernández***

* CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail: diego.luna18ca@cenidet.edu.mx.)

** CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail: dantemv@cenidet.edu.mx.)

*** CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail: monserojas@cenidet.edu.mx.)

Abstract: Robot displacement ability is provisioned by its autonomous navigation system. The aim is to move towards a goal point by avoiding obstacles, knowing previously its environment. To achieve this, the robot needs to locate, build, or know the navigation environment through a map, implement a path planning algorithm, and to be able to follow the path previously calculated by the algorithm. This document presents research work results obtained from the implementation and experimentation of the Theta* path planning algorithm. Testing was deployed in the Robotic Operating System (ROS) and Justina, an omnidirectional robot developed in the National Autonomous University of Mexico Bio-robotics Laboratory.

Keywords: Autonomous navigation, path planning, Robotic Operating System (ROS), service robot.

1. INTRODUCTION

Mobile robots commonly interact in environments with non-flat surfaces. This requires the robot includes ability to solve displacement or path problems. A common method to approach the challenge of trajectories planning and tracking in robotics and video games is the A* algorithm and its variants. However, the trajectories generated by A* algorithm are conditioned to the edges of a mesh and to generate rectilinear routes. Those restrictions cause the robot to make an extra effort to follow a path.

The aim of this paper is to report the implementation and testing of accuratest algorithm named Theta*, which is a variant of A* algorithm. Theta* searches in eight directions, without restrictions, the trajectories to the edges of the grid to find diagonal paths. Additionally, it is simple to implement and capable to build short realistic looking paths Nash et al. (2007).

Some concepts and methods for planning trajectories are introduced in Section 2, including Theta* algorithm.

2. PATH PLANNING ALGORITHMS

The main goal of any path planning algorithm is to generate a free-collision path, and subsequently, follow the calculated route. In the present paper, three path planning algorithms are compared: Dijkstra, A* and Theta*.

2.1 Dijkstra Algorithm

The Dijkstra algorithm, created by Edsger Dijkstra in 1959, finds the shortest path from the origin node to all

different nodes in the network. Given a vertex (s) in a weighted directed graph $G = (V, E)$ where all weights must be positive, Dijkstra finds the path with the lowest cost (shortest path) between (s) and another vertex in G . First step is to initialize the distances to zero, since they are unknown values at the beginning, $dist[s] = 0$, and $dist = [x]$. It is the shortest known path length from (s) to $x \in Q$. In each cycle, Dijkstra extracts the vertex $u \in Q$, with the minimum $dist[]$ in Q . Then, for each neighbor v of u establishes the relaxation operation:

$$dist[v] = \min(dist[v], dist[u] + w(u, v)) \quad (1)$$

When the shortest path is obtained from the origin vertex, the algorithm stops. Because all the nodes are visited in this algorithm, the calculation of a solution for large graphs becomes slow, which increases the computational cost value Dijkstra and Scholten (1980).

2.2 A* Algorithm

The A* algorithm, proposed by Peter E. Hart, Nils J. Nilsson and Bertram Raphael in 1968, is a most used planning algorithm Flechter et al. (2008). If there exists a solution, A* finds it and guarantees that it is optimal. Notably the computational cost is not as high as the Dijkstra algorithm. According to Nash (2012), it has the properties of simplicity, efficiency and generality. To focus search, the A* algorithm uses the following values:

$h(s) \rightarrow$ Is the estimated distance from the initial position to the final destination position. A heuristic function to calculate the estimated value is used.

$g(s) \rightarrow$ Is the path length from initial position to the current position.

The shortest path $f(s)$ is calculated as follows:

$$f(s) = g(s) + h(s) \quad (2)$$

2.3 Theta* Algorithm

Theta* algorithm is derived from A*, and calculate trajectories by mean of propagating the information along the edges of the grid, without restricting the trajectories to the nodes Nash et al. (2007). Additionally, desirable properties of route planning techniques such as, visibility graphs, and use of grids and visibility lines, are added. Theta* is described in Algorithm 1.

The key difference between Theta* and A*, is that Theta* allows the vertex parent to be any else vertex, unlike A* where the parent must be a visible neighbor, updating the g-value and the parent of a neighbor visible not expanded vertex s , considering the bifurcation in COMPUTECOST procedure showed in Algorithm 1.

Theta* also considers the route from the starting vertex $parent(s)[= g(parent(s))]$, and from the $parent(s)$ to s' in a straight line $[= c(parent(s), s')]$, which results in a length of $g(parent(s)) + c(parent(s), s')$ if s' has a line of sight with the $parent(s)$. Theta* has in account the route from the starting vertex $s[= g(s)]$ and from s to s' in straight line $[= c(s, s')]$, which results in $g(s) + c(s, s')$ length.

3. TESTING ENVIRONMENT

3.1 Robotic Operating System (ROS)

ROS (Robot Operating System) is an operating system oriented to build applications for robots. Hardware drivers and different embedded devices, libraries, package management, and more subsystems are provided by ROS ?. The operating system is mainly developed for running in Ubuntu Linux distribution. The following software versions have been used in this work:

- Kinetic Kame, to perform simulations using the Dijkstra and A* algorithm.
- Indigo Igloo, to implement the Theta* algorithm.

3.2 Navigation maps

For validation of the implemented algorithm, at simulation level, four maps were used. Figure 1 shows the real environments at CENIDET Computational Sciences Department, which were first simulated in Gazebo to later obtain the 2D map through the Gmapping package in ROS.

Note that ground floor and classroom 3101 images are not showed in the rest of this document due to space constraints, but they are considered in results section.

Algorithm 1 Theta*

```

1: procedure MAIN(void)
2:    $g(s_{star}) \leftarrow 0$ 
3:    $parent(s_{star}) \leftarrow s_{star}$ 
4:    $open \leftarrow 0$ 
5:    $open.Insert(s_{star}, g(s_{star}) + h(s_{star}))$ 
6:    $closed \leftarrow 0$ 
7:   while  $open \neq 0$  do
8:      $s \leftarrow open.Pop()$ 
9:     if  $s = s_{goal}$  then
10:      return "path found"
11:     end if
12:      $closed \leftarrow closed \cup \{s\}$ 
13:     [UpdateBounds(s)]
14:     for each  $s' \in succ(s)$  do
15:       if  $s' \notin closed$  then
16:         if  $s' \notin open$  then
17:            $g(s') \leftarrow \infty$ 
18:            $parent(s') \leftarrow NULL$ 
19:         end if
20:         UpdateVertex(s, s')
21:       end if
22:     end for
23:   end while
24:   return "no path found"
25: end procedure
26: procedure COMPUTECOST(s, s')
27:   if LineofSight(parent(s), s') then
28:     // Path 2 //
29:     if  $g(parent(s)) + c(parent(s), s') < g(s')$  then
30:        $parent(s') \leftarrow parent(s)$ 
31:        $g(s') \leftarrow g(parent(s)) + c(parent(s), s')$ 
32:     end if
33:   else
34:     // Path 1 //
35:     if  $g(s) + c(s, s') < g(s')$  then
36:        $parent(s') \leftarrow s$ 
37:        $g(s') \leftarrow g(s) + c(s, s')$ 
38:     end if
39:   end if
40: end procedure

```



(a)



(b)

Fig. 1. CENIDET Computational Sciences Department actual environments, (a) Upper floor, (b) Ground floor, and (c) Classroom 3103.

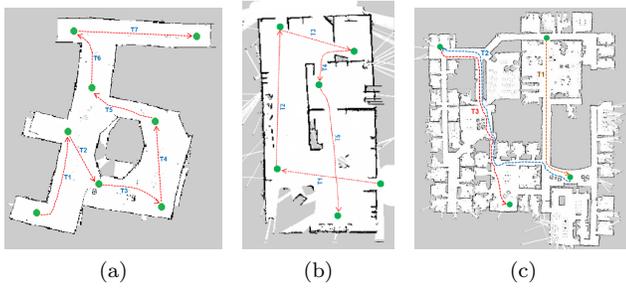


Fig. 2. Maps with designed trajectories: (a) Up floor; (b) arena_a; and, (c) willow_garage_map.



Fig. 3. Annex 4 of the UNAM Bio-robotics Laboratory, (a) 2D map, (b) Real environment.

Each map shows a trajectories series with the aim of crossing the entire map, so that the algorithm and the system had capacity to generate and follow the path. Figure 2 showed the map paths.

For the simulation with omnidirectional Justina robot, a single map was used. Figure 3 show the corresponding map.

3.3 Justina domestic service robot

Justina is a domestic service robot developed in the National Autonomous University of Mexico's Bio-robotics Laboratory. It consists of several subsystems: a task planner, a speech recognizer and synthesizer, a computer vision system that allows to recognize faces and objects, low level control modules for the actuators, and a navigation system Negrete et al (2018). Justina is based on the ViRBot architecture for the operation of mobile robots Savage et al. (2007). This robot and its predecessors have been participating in the Robocup @Home league since 2006 Wisspeintner et al. (2009) in tasks, such as cleaning a table, drinks servings and similar ones.

Justina has several sensors to detect the environment: two laser rangefinders, a RGB-D camera, a directional microphone, a series of omnidirectional microphones, and encoders in each motor. Justina's actuators consist of one omnidirectional mobile base, one 2-DOF head (with turning and tilting movements, and where the RGB-D camera and the directional microphone are mounted), two anthropomorphic manipulators of 7-DOF, and a torso of 1-DOF. The full structure is showed in Figure 4.

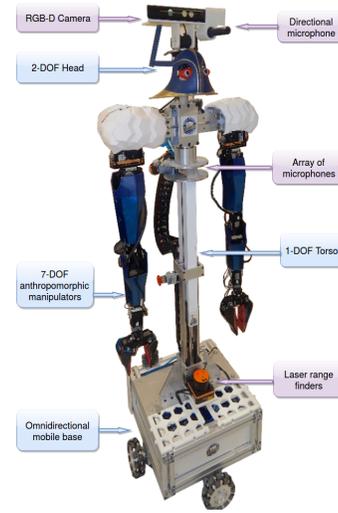


Fig. 4. Justina Robot components

4. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the performance of each algorithm, four metrics were chosen from the literature. The following expressions describe such ones:

- (1) The robot simulation reached the goal?
- (2) Execution time. It is the time it took the algorithm to generate the path from the starting point to the target point?
- (3) Euclidean distance (D_E): Distance in meters between two points P_1 and P_2 , in Cartesian coordinates (x_1, y_1) and (x_2, y_2) , and considering the resolution of the map cell (0.05m / pix):

$$D_E = \sqrt{(0.05(x_2 - x_1))^2 + (0.05(y_2 - y_1))^2} \quad (3)$$

- (4) Trajectory traveled distance (P_L): Robot total traveled distance from the starting point to the target point. For a path in the $x - y$ plane composed of n points, and assuming the starting point as $(x_1, f(x_1))$ and the goal as the point $(x_n, f(x_n))$, it can be calculated by:

$$P_L = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (f(x_{i+1}) - f(x_i))^2} \quad (4)$$

Each algorithm generated different trajectories, out of a total of 27, in order to be evaluated, with respect to time and distance, however, when the series of trajectories was designed, they were drawn taking into account the question: what path would a human take? Below is a comparison of the trajectories that humans draw vs. how the algorithm generated them.

Figure 5 shows the comparative trajectories generated by the Dijkstra, A* and Theta* algorithms in the map of the upper floor of the Department of Computational Sciences.

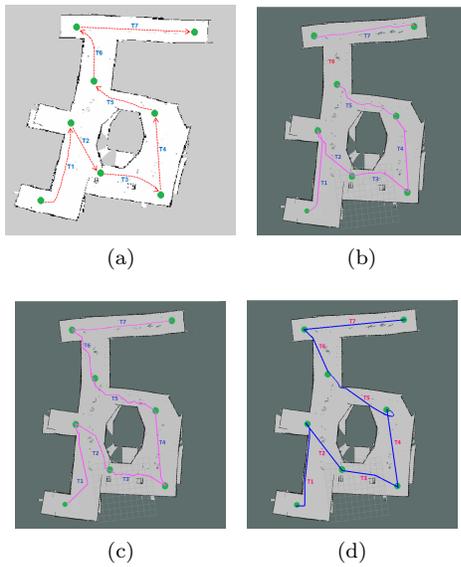


Fig. 5. Comparison of the top floor map DCC: (a) Series of trajectories drawn by a human; (b) Dijkstra algorithm series; (c) Algorithm series A*; and, (d) Theta* series.

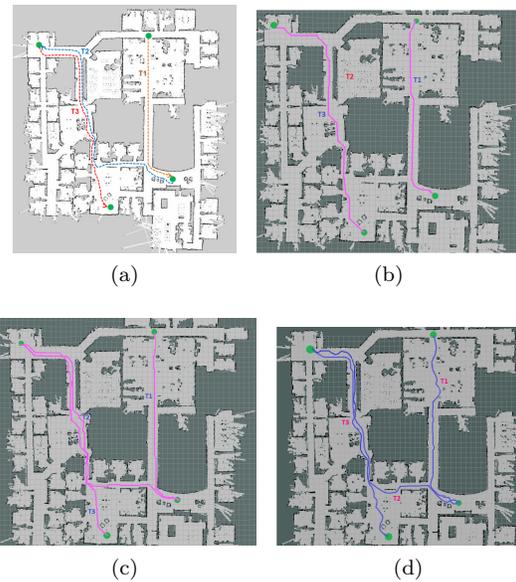


Fig. 7. Comparison *willow_garage* map: (a) Series of trajectories drawn by a human; (b) Dijkstra algorithm series; (c) Algorithm series A*; and, (d) Theta* series

Table 1. Paths generated and followed

| Algorithm | Generated paths | Times reach the goal |
|-----------|-----------------|----------------------|
| Dijkstra | 23 | 17 |
| A* | 26 | 23 |
| Theta* | 27 | 27 |

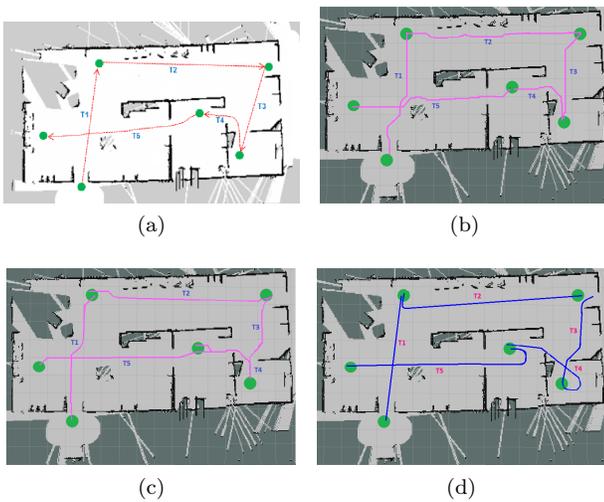


Fig. 6. Sand map comparison: (a) Series of trajectories drawn by a human; (b) Dijkstra algorithm series; (c) Algorithm series A*; and, (d) Theta* series.

Figure 6 shows the comparative trajectories generated by the Dijkstra, A* and Theta* algorithms on the arena map.

Figure 7 shows the comparative trajectories generated by the Dijkstra, A* and Theta* algorithms on the *willow_garage* map.

The Theta* algorithm, was the only algorithm capable of generating a path and reaching the goal in 100% of the cases, A* had the same acceptable behavior only in the Classroom map 3103. Table 4 shows the number of times that the algorithm generated a path and followed it until it reached the goal.

Table 4 shows the sum of the times in which each algorithm managed to generate the trajectories, and the total meters that the algorithm calculates. Analyzing the data, it is observed that Theta* has more meters generated, but this is because it was the only algorithm that generated the 27 trajectories that were established, in addition, the algorithm generated them in a shorter time, in comparison with Dijkstra and A*. The general behavior of the times can be seen in Figure 8.

Table 2. Time generated sequences

| Algorithm | Generation time (ms) | Total distance generated (m) |
|-----------|----------------------|------------------------------|
| Dijkstra | 161.918 | 210.3493 |
| A* | 148.37 | 188.15579 |
| Theta* | 101.01001 | 242.55424 |

There exists differences between the distances generated and followed during simulation. That behavior occurs because sometimes the robot get lost to adhere the calculated path. Table 4 resumes times the robot reach the goal and distance differences.

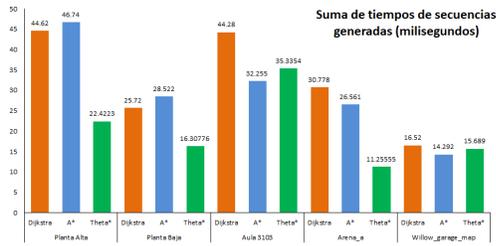


Fig. 8. Behavior graph of the algorithms in trajectories generation task.

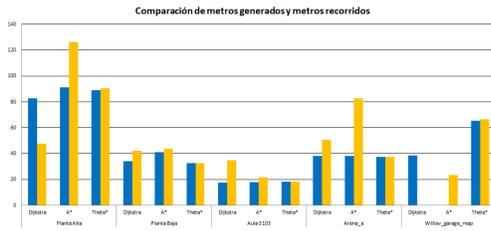


Fig. 9. Comparative graph of distances generated and traveled by the algorithms

Table 3. Real traveled distance

| Algorithm | Times reach the goal | Total distance traveled (m) |
|-----------|----------------------|-----------------------------|
| Dijkstra | 17 | 174.82439 |
| A* | 23 | 297.72541 |
| Theta* | 27 | 245.37712 |

As we could see, the Theta* algorithm was superior to the other algorithms, since it traversed the 27 trajectories.

In Figure 9, we can see the comparison of the meters generated and traveled by each of the algorithms, in the different maps, the blue bars are the meters generated and the yellow bars represent the meters traveled.

As for the implementation of the algorithm in a real robot (Robot of domestic service Justina), tests were carried out, with the purpose of the difference of the Theta* algorithm, in simulation and in a real platform.

The robot has a somewhat wide structure and the Theta* algorithm allowed the robot to generate 3 trajectories without sticking to the walls, preventing the robot from being damaged. The results of the executions in the robot are shown in Table 4.

Table 4. Real distance executions

| Path | Generation time (ms) | Total distance traveled (m) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Start (0,0) Goal (3,6) | 0.00937256 | 9.34975 |
| Start (3,6) Goal (-3,6) | 0.0056842 | 7.0891 |
| Start (-3.6) Goal (9.0) | 0.0092055 | 8.01483 |

5. CONCLUSIONS

This paper describe the comparison results between 3 path planning algorithms (Dijkstra, A*, and Theta*). Theta* observed a general better behavior with respect to the other four metrics tested (reached goal, execution time, euclidean distance, and accuracy of followed path) in five navigation maps with growing complexity from simple scenario (3101 Classroom) to ROS's *willow_garage* complex map. The successful ROS implementation test with Justina Robot (from UNAM Bio-robotics Laboratory) extend these results to the physical and practical operation of Theta* algorithm.

Future work could extend this results in research areas through comparing Theta* with another newer or different path and planning algorithms.

REFERENCES

- Nash, A., Daniel, K., Koenig, S., and Felner, A. Theta*: Any-Angle Path Planning on Grids. In AAAI (pp. 1177-1183). (2007, July).
- Dijkstra, E. W., and Scholten, C. S. Termination detection for diffusing computations. In Information Processing Letters, 11(1), 1-4.
- Fletcher, L., Teller, S., Olson, E., Moore, D., Kuwata, Y., How, J., and Nathan, A. The MIT-Cornell collision and why it happened. In Journal of Field Robotics, 25(10), 775-807.
- Nash, A. Any-Angle Path Planning (Doctoral dissertation, University of Southern California).
- Uras, T., & Koenig, S. An empirical comparison of any-angle path-planning algorithms. In Eighth Annual Symposium on Combinatorial Search.
- López Borreguero, D. Evaluación de técnicas SLAM disponibles en ROS. (Tesis de Maestría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Computación)
- Negrete, M., Savage, J., Contreras, L. A Motion-Planning System for a Domestic Service Robot In SPIIRAS Proceedings
- Savage, J., LLarena, A., Carrera, G., Cuellar, S., Esparza, D., Minami, Y., and Peñuelas, U. ViRbot: a system for the operation of mobile robots. In Robot Soccer World Cup (pp. 512-519). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wisspintner, T., Van Der Zant, T., Iocchi, L., and Schiffer, S. RoboCup@ Home: Scientific competition and benchmarking for domestic service robots. In Interaction Studies, 10(3), 392-426.

2-D Superpixel Oversegmentation of Images Evaluated by Different Color Spaces

David Domínguez López * Dante Mújica-Vargas **
Diego C. Luna-Márquez ***

* *CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail:
david.dominguez17ce@cenidet.edu.mx.)*

** *CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail:
dantemv@cenidet.edu.mx.)*

*** *CENIDET-TecNM, Cuernavaca, México (e-mail:
diego.luna18ca@cenidet.edu.mx.)*

Abstract: The image oversegmentation by using superpixels is an efficient way to simplify it through pixel regions perceptually similar; in other words, it reduces their complexity in order to develop a posterior global segmentation. This feature has allowed superpixels to be used in areas such as image processing and computer vision. SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) is one of the most efficient superpixel algorithms in the literature, it has a low runtime and produces superpixels with dynamical adjust to objects in size and shape, in addition to its low computational cost. In this paper an evaluation of the SLIC algorithm considering the CIE L*a*b* (original one used), HSV, YCbCr and the orthonormal IJK color spaces. The performance of the algorithm and the quality of the superpixel segmentation are evaluated using the metrics proposed in the literature.

Keywords: Oversegmentation, superpixel, SLIC, color spaces, image processing.

1. INTRODUCTION

The oversegmentation by means of super pixels is considered a subproblem of image segmentation in order to provide a simpler, more compact and efficient representation of an image without losing the detail between pixels. This allows to represent an image with only a couple of hundred segments instead of tens of thousands of pixels Boemer et al. (2018), Schick et al. (2014). Superpixels are homogeneous regions of pixels grouped by low-level characteristics. They were introduced by Ren and Malik (2003), as more natural and coherent entities of an image while at the same time reducing the number of primitives.

The image redundancy is downscale when the graphical nodes are built with superpixels, this causes that both complexity and calculation time decrease substantially. The reduction of complexity allows superpixels to be very useful in various applications of computer vision and image processing Tasli et al. (2015). For example for biomedical image segmentation Ensafi et al. (2016), medical image analysis Verma et al. (2013), to mention just a few.

In recent years, several superpixel algorithms have been introduced in the state-of-art. In relation to the approach used to generate superpixels, the following categorization can be done:

Based on watershed. Some super-pixel algorithms based on this approach control compactness, for example *Compact Watershed* controls compactness with a single parameter by using a distance metric that combines the distance based on the conventional aspect and the Euclidean distance from the pixel to the seed of the segment Neubert and Protzel (2014).

Based on clustering. These algorithms are based on clustering algorithms to generate superpixels. SLIC Achanta et al. (2010) is inspired by the *k-means* algorithm for grouping pixels. The number of superpixels and the compactness are controllable through the parameters k and m , respectively. To group pixels, it uses a distance metric that combines the spatial and color information of each pixel. This algorithm requires further processing to reinforce the connectivity between the superpixels.

Based on the energy optimization. These algorithms iteratively optimize a formulated energy. For example in Yao et al. (2015), the image is divided into a regular grid such as initial segmentation of superpixels, and the pixels are exchanged between neighboring superpixels with respect to energy. The number of superpixels and the compactness can be controlled. The algorithm employs a single iteration to converge on a better minimum of energy, this allows it to be fast.

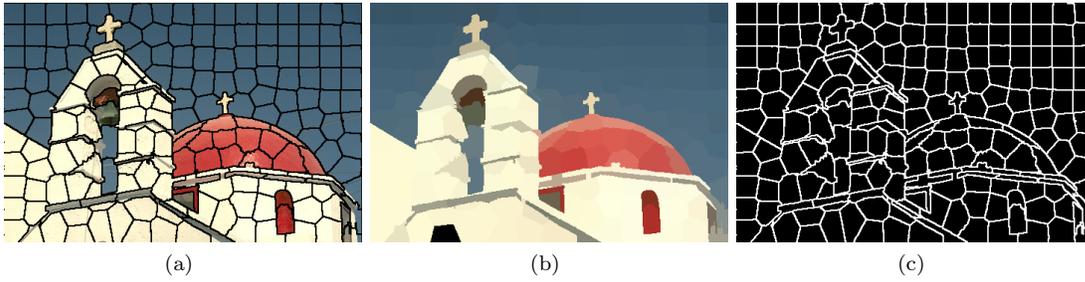


Fig. 1. Extraction of superpixels using the SLIC algorithm image 118035 taken from BSDS500. (a) Segmentation with 200 superpixels, (b) regions and (c) boundaries.

Based on graphs. Graph-based algorithms treat the image as an unmanaged graphic and split this graph based on the edge weights, which are often calculated as color differences or similarities. Algorithms differ in the partition algorithm, for example, *Proposals for Objects from Improved Seeds and Energies* (POISE) show an ascending fusion of pixels in super pixels.

Based on the boundary evolution. These algorithms are based on a region growth scheme grouping the perceptive and adjacent pixels to represent superpixels. A popular algorithm that uses this approach is ERGC (*Eikonal Region Growing Clustering*) Buysens et al. (2014).

2. SLIC SUPERPIXEL SEGMENTATION ALGORITHM

The SLIC algorithm (*Simple Linear Iterative Clustering*) was introduced in Achanta et al. (2010), basically, it is an adaptation of the k-means algorithm to generate superpixels. Notably, this algorithm achieve high segmentation speed by limiting the search space in regions proportional to the size of the super pixel in the grouping stage. This makes the number of calculations in the update of the regions phase decrease significantly allowing the complexity of the algorithm to be linear in the number of pixels N and independent of the number of superpixels K . Figure 1 depicts the segmentation of an image represented with superpixels using this algorithm.

The generation of superpixels by SLIC starts with the transformation of the RGB image to CIELAB color space, chosen since is perceptually uniform for small distances in color which allows to improve the clustering of the pixels in the later stage. SLIC groups pixels using the feature vector $C_k = [l_k, a_k, b_k, x_k, y_k]$, $k = 1, 2, \dots, K$, it consists in CIELAB channels and the spatial coordinates (x_k, y_k) pixel of the image. After, the image is divided into regular squares of size S of the blocks of adjacent superpixels of size $\sqrt{N/K}$. To decrease the possibility that the center of the group is an edge or a noise datum, the minimum gradient in a 3×3 neighborhood is calculated. The gradient is calculated using the characteristic vector $C_k = [l_k, a_k, b_k, x_k, y_k]$ as follows:

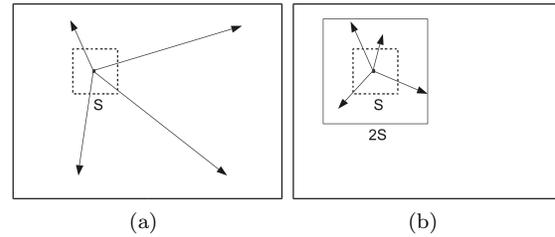


Fig. 2. Reduction of super pixel search regions. (a) Standard k -means search, (b) SLIC search into bounded region (Achanta et al., 2012).

$$G(x, y) = ||I(x + 1, y) - I(x - 1, y)||^2 + ||I(x, y + 1) - I(x, y - 1)||^2 \quad (1)$$

where $I(x, y)$ is the features vector, C_k is the pixel in the position (x, y) and $||\cdot||$ is the L_2 norm. To reduce the runtime, similar pixels are chose into the $2S \times 2S$ instead of whole image (see Figure 2).

Each pixel in the image is associated with the center of the closest group, whose search area is superimposed on this pixel. The similarity between the pixel and the center of the superpixel is calculated by combining the color distance and the spatial distance using the following expressions:

$$d_c = \sqrt{(l_j - l_i)^2 + (a_j - a_i)^2 + (b_j - b_i)^2}$$

$$d_s = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (2)$$

$$Ds = \sqrt{d_c^2 + \left(\frac{d_s}{S}\right)^2 + m^2}$$

where d_c is the distance between pixels considering the color space; d_s is spatial distance between pixels; S is the distance between centroids; m is an equilibrium parameter to evaluate the proportions of color and distance of space in the similarity measurement to control the compaction of superpixel blocks after clustering. Once all the pixels are associated with the center of the nearest group, a new center is calculated with the aforementioned characteristic vector, averaging all the pixels belonging to the group. Then this process is repeated iteratively until

convergence. The complete algorithm is summarized in the Algorithm 1.

Algorithm 1 SLIC

Input: Image I , superpixels number K

Output: Oversegmented image R

```

1: start  $C_k \leftarrow [l_k, a_k, b_k, x_k, y_k]^T$  by sampling pixels
   in regular size grids  $S$ .
2: move  $C_k$  to the lowest gradient position in a  $3 \times 3$ 
   neighborhood.
3: repeat
4:   for  $k = 1$  to  $K$  do
5:     for each pixel  $n_i$  in the region  $2S \times 2S$  around
        $C_k$  do
6:       if  $d(n_i, R_k) < d(n_i, R_{R(n_i)})$  then
7:          $R_k \leftarrow R_k \cup \{n_i\}$ 
8:          $R_{R(n_i)} \leftarrow R_{R(n_i)} - \{n_i\}$ 
9:       end if
10:    end for
11:  end for
12: until iterations number is reaching

```

3. COLOR SPACES

3.1 CIE $L^*a^*b^*$

The SLIC algorithm conventionally uses the color space CIE $L^*a^*b^*$ (also known as CIELAB), and builds superpixels based on a measure that ponders the distance in color and spatial relationship. The CIE $L^*a^*b^*$ color space defined the colors in three components: L^* (lightness), a^* (position between red/magenta and green) and b^* (position between yellow and blue). The values on axis a^* and b^* go from -128 to $+128$. The L channel is perpendicular to both a^* as well as b^* and increases from bottom to top, and takes values from 0 to 100. The transformation from RGB color space to $L^*a^*b^*$ It can be done through expression (3). Let $\varphi = [r, g, b]$ a color defined on the RGB space.

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116f\left(\frac{Y}{Y_{ref}}\right) - 16 \\
 a^* &= 500\left[f\left(\frac{X}{X_{ref}}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_{ref}}\right)\right] \\
 b^* &= 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_{ref}}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)\right]
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3575 & 0.1804 \\ 0.2126 & 0.7151 & 0.0721 \\ 0.0193 & 0.1191 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (4)$$

where $\delta = \frac{6}{29}$ and,

$$f(t) = \begin{cases} \sqrt[3]{t}, & t > \delta^3 \\ \frac{t}{3\delta^2} + \frac{4}{29}, & t \leq \delta^3 \end{cases} \quad (5)$$

values X_{ref} , Y_{ref} and Z_{ref} are obtained by substituting the tristimulus values for the reference target. The

CIELAB color space is a preferred color measurement system because it closely approximates the way the human eye perceives colors.

3.2 HSV

In the HSV system, the color is represented by the hue (H), saturation (S) and value (V) components. A three-dimensional representation of the HSV color space is a hexagon, where the central vertical axis represents the intensity. The hue (H) is the chromatic characteristic that describes a pure color and is defined as the angle of rotation between the red plane and the origin. Saturation (S) is the distance from any point in the color space system to the color surface, while the value (V) represents the intensity (or luminosity) channel attributes of the image. The equations for the RGB to HSV transformation are given as:

$$\begin{aligned}
 V &= \max(R, G, B); \\
 S &= V - \min(R, G, B) \\
 H &= \begin{cases} \frac{G - B}{S}; & R = V \\ 2 + \frac{B - R}{S}; & G = V \\ 4 + \frac{R - G}{S}; & B = V \end{cases} \quad (6)
 \end{aligned}$$

3.3 YCbCr

YCbCr is a signal RGB non-linear encoded, commonly used by European television studios and for image compression work. Since its representation makes it easy to get rid of certain redundant color information, it is used in image and video compression standards such as JPEG, MPEG1, MPEG2, and MPEG4. Kolkur et al. (2017). In this color system, the luminance information (Y) is calculated from non-linear RGB. It is obtained as a weighted sum of the RGB values. (Cb) is the difference between the blue component and the luma component and Cr is the difference between the red component and the luma component. The Y in YCbCr denotes the luminance component, and Cb and Cr represent the chrominance component.

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\
 Cb &= B - Y \\
 Cr &= R - Y
 \end{aligned} \quad (7)$$

Unlike RGB, the YCbCr color space is independent of luminance, which is why it offers better performance.

3.4 IJK

The IJK color space is obtained by applying a simple rotation to the RGB color space. The axis I extends along the vector y , therefore, represented the luminance of the RGB color space. The J axis is in the plane orthogonal to axis I , and is in the direction of red in the RGB color

space. The K axis is orthogonal to the I and J axes, and it is therefore in the plane orthogonal to the I axis in the blue-green direction. The conversion of the RGB color space to IJK is done with the following particular equations:

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (8)$$

$$J = \frac{2R - G - B}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

$$K = \frac{G - B}{\sqrt{6}} \quad (10)$$

Some works in the literature, such as Mújica-Vargas et al. (2013) use this color space because the luminance information is separated into a single component (I), besides, the three axes are orthogonal and the conversion is particularly simple.

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

The experimentation was performed using the Berkeley segmentation database (BSDS), specifically with the training data set, which consisted of 200 images with sizes of 481×321 or 321×481 pixels.

The quality of the super pixel segmentation obtained with the CIE $L^*a^*b^*$ color space (used in the original algorithm) is compared with 3 color spaces that are frequently used in the literature for image segmentation (such as HSV, YCbCr and IJK). It was considered different values of k (superpixels number) and the compactness factor was preserved $m = 40$ for all tests. Figure 3 shows the influence of the color space in the extraction of superpixels. For reasons of space, only one image can be considered to illustrate the subjective results. In order to evaluate objectively the quality of the superpixels, were considered the metrics Boundary Recall (BR), Undersegmentation Error (UE) and the Variation Explained (VE), as well as the Runtime.

Boundary Recall is used to evaluate the adherence to the boundaries with respect to ground truth Stutz et al. (2018). This index can be computed by:

$$Rec(G, S) = \frac{TP(G, S)}{TP(G, S) + FN(G, S)} \quad (11)$$

where $FN(G, S)$ and $TP(G, S)$ are the number of *False – Positives* and *True – Positives*, respectively; with respect to the boundaries given by a oversegmentation obtained S and the ground truth G .

Undersegmentation Error describes the deviation of a superpixel with respect to a specific ground truth segment Wang et al. (2017), that is, it measures how each super pixel is superimposed with a ground truth segment.

$$UE(g_i) = \frac{[\sum_{s_j | s_j \cap g_i \neq \emptyset} Area(g_i)] - Area(g_i)}{Area(g_i)} \quad (12)$$

where g_i is the segmentation *ground truth* and s_j the obtained superpixel.

Variation Explained measures the quality of a superpixel segmentation without using the *ground truth* segmentation Moore et al. (2008), it is defined as:

$$R^2 = \frac{\sum_i (\mu_i - \mu)^2}{\sum_i (x_i - \mu)^2} \quad (13)$$

where x_i is the value of the real pixel, μ is global mean is the global average of pixels and μ_i is the average value of the pixels assigned to the super pixel that contains x_i .

The averaged results obtained the SLIC algorithm evaluated for all images of the training folder, with different color spaces is summarized in Table 1. The three color spaces considered show better results in the aforementioned metrics and in the execution time. The HSV color space shows better adhesion to the edges of the image, IJK and YCbCr show similar results. Graphically, these results can be corroborated in Figure 4.

Table 1. SLIC EVALUATION WITH THE COLOR SPACES CONSIDERED.

| | Color spaces | | | |
|-----|-----------------|----------|----------|----------|
| | CIE $L^*a^*b^*$ | HSV | YCbCr | IJK |
| UE | 0.058351 | 0.052201 | 0.049612 | 0.049718 |
| Rec | 0.978256 | 0.985280 | 0.984049 | 0.983992 |
| EV | 0.915998 | 0.937584 | 0.93730 | 0.937208 |

5. CONCLUSION

The extraction of superpixels using the 3 considered color spaces manages to improve the quality of the superpixels, as well as the execution time in comparison with the CIE $L^*a^*b^*$ color space, conventionally used by the algorithm. The reduction of the runtime is due to the fact that the 3 color spaces used are easily converted compared to CIE $L^*a^*b^*$. IJK and YCbCr are obtained by applying a simple transformation to the RGB color space. The results showed the influence of the different color spaces in the pixel clustering stage. As mentioned in different works in the literature, the color spaces that were considered have the characteristic of separating the intensity of chromaticity, which allows the recognition of color is more robust to the inherent characteristics present in the images as non-uniform illumination.

REFERENCES

- Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., and Süsstrunk, S. (2010). Slic superpixels. Technical report.
- Boemer, F., Ratner, E., and Lendasse, A. (2018). Parameter-free image segmentation with slic. *Neurocomputing*, 277, 228–236.

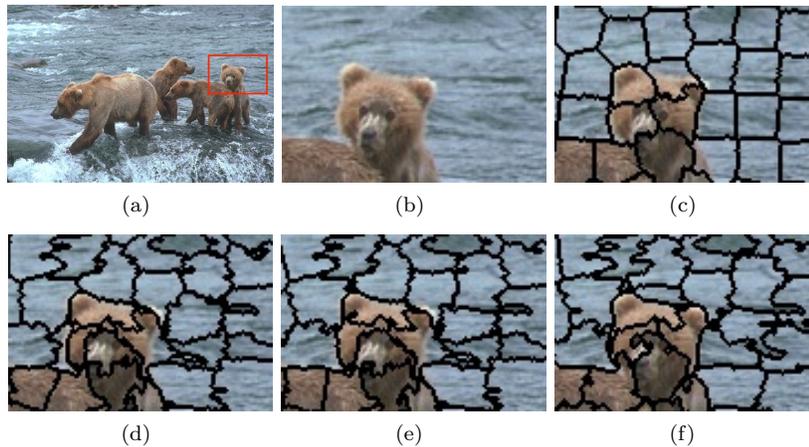


Fig. 3. Results of the SLIC super pixel segmentation (BSDS500 image 94079.jpg) with $k \approx 400$ and $m = 40$ using the considered color spaces: (a) original image, (b) zoom-in region, (c) SLIC+CIE $L^*a^*b^*$, (d) SLIC+YCbCr, (e) SLIC+IJK, (f) SLIC+HSV

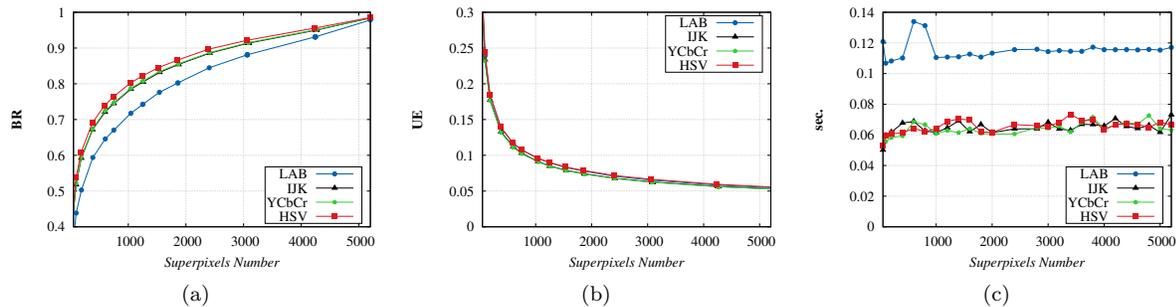


Fig. 4. Comparison of SLIC algorithm: (a) Boundary Recall, (b) Undersegmentation Error, (c) Runtime.

Buysens, P., Gardin, I., Ruan, S., and Elmoataz, A. (2014). Eikonal-based region growing for efficient clustering. *Image and Vision Computing*, 32(12), 1045–1054.

Ensafi, S., Lu, S., Kassim, A.A., and Tan, C.L. (2016). Accurate hep-2 cell classification based on sparse coding of superpixels. *Pattern Recognition Letters*, 82, 64–71.

Kolkur, S., Kalbande, D., Shimpi, P., Bapat, C., and Jatakia, J. (2017). Human skin detection using rgb, hsv and ycbcr color models. *arXiv preprint arXiv:1708.02694*.

Moore, A.P., Prince, S.J., Warrell, J., Mohammed, U., and Jones, G. (2008). Superpixel lattices. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, 1–8. IEEE.

Mújica-Vargas, D., Gallegos-Funes, F.J., and Rosales-Silva, A.J. (2013). A fuzzy clustering algorithm with spatial robust estimation constraint for noisy color image segmentation. *Pattern Recognition Letters*, 34(4), 400–413.

Neubert, P. and Protzel, P. (2014). Compact watershed and preemptive slic: On improving trade-offs of superpixel segmentation algorithms. In *Pattern Recognition (ICPR), 2014 22nd International Conference on*, 996–1001. IEEE.

Ren, X. and Malik, J. (2003). Learning a classification model for segmentation. In *null*, 10. IEEE.

Schick, A., Fischer, M., and Stiefelhagen, R. (2014). An evaluation of the compactness of superpixels. *Pattern Recognition Letters*, 43, 71–80.

Stutz, D., Hermans, A., and Leibe, B. (2018). Superpixels: an evaluation of the state-of-the-art. *Computer Vision and Image Understanding*, 166, 1–27.

Tasli, H.E., Cigla, C., and Alatan, A.A. (2015). Convexity constrained efficient superpixel and supervoxel extraction. *Signal Processing: Image Communication*, 33, 71–85.

Verma, N., Cowperthwaite, M.C., and Markey, M.K. (2013). Superpixels in brain mr image analysis. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*, 1077–1080. IEEE.

Wang, M., Liu, X., Gao, Y., Ma, X., and Soomro, N.Q. (2017). Superpixel segmentation: a benchmark. *Signal Processing: Image Communication*, 56, 28–39.

Yao, J., Boben, M., Fidler, S., and Urtasun, R. (2015). Real-time coarse-to-fine topologically preserving segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2947–2955.

A Comparative Assessment of Cryptography Algorithms for Data Analytics Applications in Smart Metering Systems

Juan C. Olivares-Rojas*. Enrique Reyes-Archundia*. José A. Gutiérrez-Gnecchi*. Johan W. González-Murueta. Jaime Cerda Jacobo**. Adriana C. Téllez-Anguiano*.

*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán 58120

México (Tel: +52 (443) 3-12-1570 ext. 330; e-mail: {jcolivares, ereyes, agnecchi, jwalter, adianat}@itmorelia.edu.mx).

**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo / Facultad de Ingeniería Eléctrica, Morelia, Michoacán 58100 México (e-mail: jcerda@umich.mx)

Abstract: With the proliferation of smart meters in smart electric networks, new applications and challenges to the energy sector are brought, mainly with respect to cybersecurity and data privacy. To protect them, a mechanism that helps protect data is necessary, with cryptography being one of the most used. This paper presents a comparison of algorithms that can be used in smart meters to safeguard the confidentiality, integrity, and availability of the data generated by smart meters and that, in turn, are efficient to process in this class of embedded devices.

Keywords: Cryptography, Smart Meter, Smart Metering Systems, IoT, Smart Grid

1. INTRODUCTION

Within the Smart Grid Program (PRODEREI) 2017-2031 of SENER (2017) and in which the Federal Electricity Commission (CFE), the National Center for Energy Control (CENACE) and the Energy Regulatory Commission (CRE) participate, it stipulates that the main objective is the use of digital information and control technology to improve the stability, safety, and efficiency of the National Transmission Network and the General Distribution Networks. □

In addition, PRODEREI (SENER, 2016) stipulates other premises among which the cybersecurity of all the systems stands out. In this sense, smart meters are considered as the first point of attack, so having security mechanisms is a necessity, given that the SG (Smart Grid) is a critical infrastructure of national security.

According to the World Bank, energy theft contributes to the loss of energy delivery by 25% in India, 16% in Brazil, 6% in China and the United States, as well as 5% in Australia (Borges et al., 2013). Energy theft in these countries is often achieved by theft (tapping) in the distribution lines. To detect these changes, electric companies such as BC Hydro have begun to install Smart Meters (SM) on customers (Blokdyk, 2017). However, recently smart meters have begun to be vulnerable to cyber intrusions (Borlase, 2015).

In 2010, the FBI's Cyber Intelligence Section reported that the consumption of smart meters in Puerto Rico was altered, introducing annual losses to electricity companies estimated at 400 million dollars (Sun et al., 2017). In 2014, the BBC News

reported that SM in Spain was "hacked" to reduce the billing of electricity consumption (Weranga, 2014). Since SMs have been compromised, the efforts of utilities such as BC Hydro have only increased the number of energy theft attacks through cybernetic methods (Toledo, 2013).

For the good use of Smart Metering Systems (SMS), it is required, among other things, that smart meters are not susceptible to be modified in terms of their energy consumption, that only people and devices with the necessary credentials can access all the information stored in the device, as well as the transmission of the meter data to other devices, is done reliably and safely (Krishna et al., 2016).

Cybersecurity has been addressed for some years now, but in the field of electrical networks and smart metering systems it is relatively recent, and there are still many opportunities for improvement.

In addition, SMS are generating a vast quantity of data which be must be analyzed for offering more adequate services in SG (Mathiyalagan, et al., 2017).

This work presents a comparison of diverse cryptography algorithms which can be implemented in embedded devices like SMs. The authors present some recommendation about which are the better implementations according to different scenarios, particularly in data analytic applications.

2. CYBERSECURITY IN SMART METERS AND SMART METERING SYSTEMS

2.1 Smart Meters and Smart Metering Systems

SMS are the cornerstone of SMS due to their data processing and communication capabilities that provide new applications to the energy sector.

The SMS are responsible for reporting the energy consumption of customers as well as deriving in other functions such as power cuts and reconnection, alarm reporting and disconnections between other functionalities.

The Advanced Measurement Infrastructure (AMI) is today the most used infrastructure for SMS. The AMI architecture connects smart home appliances with the smart meter creating a Home Area Network (HAN). The SM is responsible for measuring the data consumed by these devices and reporting them to the electric company.

Today's SMS are bidirectional both in their communication interfaces and in energy management. The latter implies that, in addition to measuring the consumption of electrical energy, it is also possible to measure the production of electrical energy carried out in renewable generation systems (photovoltaic, wind, among others) (Ye, 2015).

The consumption reported in the SMS is reported to intermediate devices called concentrators or collectors (in some implementations of AMI they are called gateways since they allow to provide additional services such as security and privacy of the information). These concentrating devices together with the other SMS form a communication network of the medium geographical extension called Neighborhood Area Network (NAN).

The concentrators report the information of all the SMS in the HAN through the electric company in communication networks of a large geographical area such as WAN and Field Area Network (FAN).

All the information from the data concentrators reaches the end of the communications end of the electricity company, in which there is an implementation of a data center responsible, among other things, for reporting the consumption information for the billing of the consumed electrical energy. All this is done through a Measurement Data Management System (MDMS) (Al-Shaer, 2016).

In general, a SMS differs from a traditional measurement system by the use of a data communication system and a data storage system that allows automating the billing process of electricity consumption. The general architecture of AMI is shown in Figure 1.

Among the main threats of cybersecurity in AMI are: the interruption of the measurement (disconnection of the meter, deletion of the event log), investment of the meter (for less consumption data record), the deletion of records, the alteration of stored data, the interruption of communications to prevent data from being reported, the alteration of consumption data

"on the fly" when they are reported, as well as the injection of false information (for example, alteration of dynamic energy prices) and the retransmission of packets (duplicate packets) (Knapp, 2013)

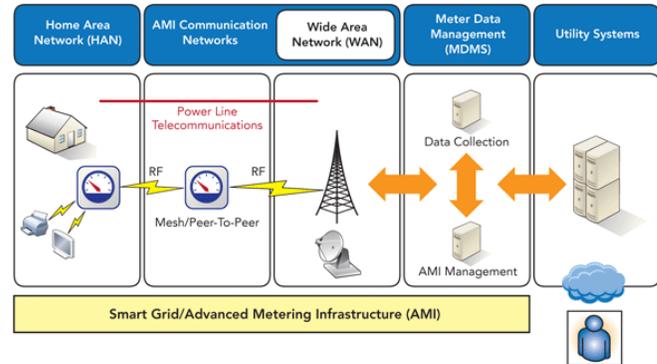


Fig. 1. AMI Architecture.

SMS are embedded systems that are currently connected to the Internet and for this reason are called the Internet of Things (IoT) devices, for that reason they are also vulnerable to other types of threats such as viruses, system details operative, communication channels, both wireless and wired, among other popular incidents of IoT devices (Song, 2018).

2.1 Cryptography

The main security mechanism implemented to solve this problem lie in the use of cryptographic techniques. Cryptography allows data to be encrypted, stored, and transmitted securely. Only people with appropriate access can decipher this information.

Cryptography bases its functioning on mathematical functions and algorithms that require high computational power, making it a challenge in IoT devices and in SMS it is not the exception. For this, many works have focused on algorithms and lightweight cryptographic functions that can work properly in SG, particularly in SMS that despite being light are robust so that they are not easily decipherable (Wang et al., 2013), (Liu et al., 2017), and (Samudrala, 2017).

Hash functions are cryptographic functions that, given an input, produce a single output. This output has a predetermined size that is determined by the hash function and is not reversible; i.e. through the exit, you cannot get the entry. The hash functions serve to validate the integrity and consistency of the data, which is why they are today the most used mechanisms today to validate data integrity due to its simplicity of use and easy adaptation to IoT and SMS devices.

Like classical cryptography, many works have focused on combining hash-function schemes that allow being quick when

generating and validating information with sizes of keys large enough to guarantee the robustness of the data (Abbasinezhad-Mood et al., 2018), and (Mohammadali et al., 2018).

The main problem of cryptography is the exchange of the keys that allow decrypted the messages. The cryptography generally by its way of handling the keys has been divided into symmetric and asymmetric (Borges, 2017).

In symmetric cryptography with a single key, the message is encrypted and decrypted. The problem lies in the sharing of this key because it must preferably be done through a secure channel. To avoid this, asymmetric cryptography emerged to avoid this type of problem. Hence, two keys are generally used: a public key and a private key. When the sender wishes to send a message, it is necessary to know the public key of the recipient. These public keys can be shared without any problem. Private keys, however, need to be rigorously saved. Knowing the public key of the recipient, the sender with its public and private key encrypts the message sent to the recipient. The receiver to decipher the message occupies the public key of the issuer to verify that it was sent by this person and together with its public and private key can decrypt the message.

Due to its great advantages, asymmetric key cryptography has been widely used in security schemes such as digital signatures. To do this, you must have Certification Authorities (CA) that allows you to keep the identity certificates of each of the parties. With this arises the problem of the administration of certificates and public keys. Various mechanisms have been devised to solve it, being the most popular Public Key Infrastructure (PKI).

The problem with PKI and other public key exchange mechanisms is that as participants grow, their functioning becomes more complex, and in general, it is a centralized mechanism. For these reasons, it has become a problem for IoT and SMS devices, so that currently many research works have focused on solving this part. Other works have focused on more efficient and secure mechanisms in digital signatures (Seferian et al., 2018).

Other techniques used are digital signature schemes, Preventing and Intrusive Detection Systems (IPS and IDS) (Faisal et al., 2015). Recently, blockchain techniques (Blockchains) have been used because it is the combination of multiple cybersecurity techniques (Eyal, 2017).

3. METHODOLOGY AND RESULTS

For our study, a Single Board Computer (SBC) Raspberry Pi with the Smart Pi power monitor have considered as the best hardware solution to perform a SM (nD-enseserve, 2019). The authors consider that the Next Generation of SMs will have more capabilities for data storage and processing.

To perform the practical activities, it has been used a Raspberry Pi 3 Model B board with Raspbian operating system.

Two cryptographies suites implementations have been chosen for tests: GNU Privacy Guard (GPG, 2019) and Open Secure Socket Layer (OpenSSL, 2019), do these, are one of the most implemented cryptographic open source suites in Embedded Operating Systems such as Linux. □

In order to carry out the evaluation, a Cryptographic Use Coefficient (CUC) was determined to take into consideration the main aspects for an embedded SMS: Time of Encryption/Decryption (TED) and Memory Used for Encryption/Decryption (MUED).

$$CUC = (TED*0.5) + (MUED*0.5) \quad (1)$$

These parameters were considering due to are the most relevant characteristics in the algorithms for cybersecurity in SMS. The weights of each parameter were equal (50% per parameter) as shown in equation 1.

The dataset for testing was a set of a 20-energy transaction in the SM with a total size of 1KB. The data is a CSV text file.

All the tests were executed 1000 times and the results reported are the averages.

3.1 Time of Encryption/Decryption

In GPG suite the algorithms tested were Blowfish (Mudepalli et al., 2017), Camelia254 (Liu et al., 2016), CAST5 (Lee et al., 2014), IDEA (Yuan et al., 2014), and Twofish (Zhang et al., 2016). The selection of these algorithms is due to strength for decryption without know the key. All the algorithms are symmetric. □

In OpenSSL suite, the algorithms tested were AES-256 (Kim, 2012) and RSA-4096 (Huang et al., 2015). AES is a symmetric algorithm and RSA is asymmetric encryption algorithm.

For time measurement, the time command in Linux was used. The executed real time was considering the results. □

Table I shows the average time for encryption/decryption the transaction file using GPG suite. The times are expressed in seconds.

TABLE I. AVERAGE TIME IN GPG CRYPTOGRAPHY ALGORITHMS

| Blowfish | Camelia254 | Cast5 | IDEA | Twofish |
|----------|------------|-------|------|---------|
| 5.34 | 3.55 | 4.44 | 3.52 | 3.27 |

Table II shows the average time for encryption/decryption of the transaction file using OpenSSL suite. The times are expressed in seconds.

TABLE II. AVERAGE TIME IN OPENSLL CRYPTOGRAPHY ALGORITHMS

| AES-256 | RSA-4096 Key Generator | RSA-4096 Encryption/Decryption |
|---------|---------------------------|-----------------------------------|
| 17.28 | 6.38 | 1.13 |

3.2 Memory Used for Encryption/Decryption

For the measurement of memory for the cryptography algorithms, the authors used the top command and checked the percentage of memory used.

Table III shows the average memory use percentage in GPG cryptography algorithms.

TABLE III. AVERAGE MEMORY USE % IN GPG CRYPTOGRAPHY ALGORITHMS

| Blowfish | Camelia254 | Cast5 | IDEA | Twofish |
|----------|------------|-------|------|---------|
| 5.63 | 7.27 | 9.3 | 11.1 | 13.93 |

Table IV shows the average memory use percentage in OpenSSL Cryptography.

TABLE IV. AVERAGE MEMORY USE % IN OPENSLL CRYPTOGRAPHY ALGORITHMS

| AES-256 | RSA-4096 Key Generator | RSA-4096 Encryption/Decryption |
|---------|---------------------------|-----------------------------------|
| 29.46 | 97.19 | 12.64 |

4. CONCLUSIONS

A comparison of Cryptography Algorithms for Data Analytics Application in Smart Meters has been presented.

In the literature review, AES-256 is the best algorithm of the algorithms choose in this comparative, although is the most complex algorithm in time processing. □

We can observe that the phase of generation of public keys is the one that requires a greater amount of time in the RSA algorithm, however, this phase may be necessary only during the first encryption and then reused, so that if we discard this time in the comparison the times are closer. Even so, the sum of the times used in the phases of generation of the random key, encryption of the file and encryption of the key are better than in the AES algorithm. □

The time for key generation in RSA is the most consumption of memory than other algorithms. There is not a significant difference in memory usage between algorithms. □

The strength of cryptographic algorithms is very hard and there are diverse cryptographic suites and APIs for data encryption/decryption.

The cryptographic algorithms for SMS are not in real time (the AMI average time for sending data is 15 minutes). If the applications need more efficient real-time algorithms, it will be necessary a hardware implementation of cryptography algorithms or using a Real-Time Operating System with high priorities for data encryption/decryption. □

Data Analytics applications are in two types: stored data and streaming data. For traditional data analytic (stored data) the selected cryptography algorithms work in a good manner but for data streaming analysis (real time) another class of cryptography must be used. □

REFERENCES

- D. Abbasinezhad-Mood and M. Nikooghdam (2018), "An Ultra-Lightweight and Secure Scheme for Communications of Smart Meters and Neighborhood Gateways by Utilization of an ARM Cortex-M Microcontroller," in *IEEE Transactions on Smart Grid*. doi: 10.1109/TSG.2017.2705763 □
- E. Al-Shaer (2016), "Security and Resiliency Analytics for Smart Grids: Static and Dynamic Approaches", 2016, 1st ed., Springer, ISBN-13: 978-3319328706.
- G. Blokdik (2017). "Smart meter: A Comprehensive Primer Paperback", 2017, The Art of Service, ISBN-13: 978-1979464703.
- F. Borges de Oliveira (2017). "On Privacy-Preserving Protocols for Smart Metering Systems: Security and Privacy in Smart Grids", 1st ed., 2017, Springer, ISBN-13: 978-3319407173
- S. Borlase (2015), "Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions", 2nd Edition, CRC Press, ISBN-13: 978-1498799553.
- I. Eyal (2017), "Blockchain Technology: Transforming Libertarian Cryptocurrency Dreams to Finance and Banking Realities," in *Computer*, vol. 50, no. 9, pp. 38-49, 2017. doi: 10.1109/MC.2017.3571042
- M. A. Faisal, Z. Aung, J. R. Williams and A. Sanchez (2015), "Data-Stream-Based Intrusion Detection System for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid: A Feasibility Study," in *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 31-44, March 2015. doi: 10.1109/JSYST.2013.2294120
- The GNU Privacy Guard (2019), "PGP", 2019, [Online]. Available at: <https://gnupg.org/>
- X. Huang and W. Wang (2015), "A Novel and Efficient Design for an RSA Cryptosystem With a Very Large Key Size," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 62, no. 10, pp. 972-976, Oct. 2015. doi: 10.1109/TCSII.2015.2458033
- C. H. Kim (2012), "Improved Differential Fault Analysis on AES Key Schedule," in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 7, no. 1, pp. 41-50, Feb. 2012. doi: 10.1109/TIFS.2011.2161289
- E. D. Knapp (2013), et al. (2013), "Applied Cyber Security and the Smart Grid: Implementing Security Controls into the

- Modern Power Infrastructure”, 2013, 1st Edition, Syngress, ISBN-13: 978-1597499989.
- V. B. Krishna, K. Lee, G. A. Weaver, R. K. Iyer and W. H. Sanders (2016), "F-DETA: A Framework for Detecting Electricity Theft Attacks in Smart Grids," 2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN), Toulouse, 2016, pp. 407-418. doi: 10.1109/DSN.2016.44
- W. Lee, B. Goi, R. C. Phan and G. Poh (2014), "High speed implementation of symmetric block cipher on GPU," 2014 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Kuching, 2014, pp. 102-107. doi: 10.1109/ISPACS.2014.7024434
- Z. Liu, B. Sun, Q. Wang, K. Varici and D. Gu (2016), "Improved zero-correlation linear cryptanalysis of reduced-round Camellia under weak keys," in *IET Information Security*, vol. 10, no. 2, pp. 95-103, 3 2016. doi: 10.1049/iet-ifs.2014.0614
- T. Liu, J. Tian, Y. Gui, Y. Liu and P. Liu (2017), "SEDEA: State Estimation-Based Dynamic Encryption and Authentication in Smart Grid," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 15682-15693, 2017. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2713440
- P. Mathiyalagan, A. Shanmugapriya and A. V. Geethu, "Smart meter data analytics using R and Hadoop," 2017 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), Lincoln, NE, 2017, pp. 623-629. doi: 10.1109/EIT.2017.8053438
- A. Mohammadali, M. Sayad Haghghi, M. H. Tadayon and A. Mohammadi-Nodooshan (2018), "A Novel Identity-Based Key Establishment Method for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 2834-2842, July 2018. doi: 10.1109/TSG.2016.2620939
- S. Mudepalli, V. S. Rao and R. K. Kumar (2017), "An efficient data retrieval approach using blowfish encryption on cloud ciphertext retrieval in cloud computing," 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, 2017, pp. 267-271. doi: 10.1109/ICCONS.2017.8250724
- nD-eneserve (2019), "SmartPi – Turn your Raspberry Pi into a SmartMeter", 2019, [Online]. Available at: <https://www.kickstarter.com/projects/1240982104/smartpi-turn-your-raspberry-pi-into-a-smartmeter?lang=es>
- OpenSSL (2019), "Cryptography and SSL/TSLToolkit", 2019. [Online]. Available at: <https://www.openssl.org/>
- A. N. Samudrala and R. S. Blum (2017), "Asymptotic analysis of a new low complexity encryption approach for the Internet of Things, smart cities and smart grid," 2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), Singapore, 2017, pp. 200-204. doi: 10.1109/ICSGSC.2017.8038576
- Secretaría de Energía (2017), "Programa de Redes Eléctricas Inteligentes 2017, 2017, [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250609/2017_Programa_de_Redес_Elctricas_Inteligentes.pdf
- Secretaría de Energía (2016), "Programa de Redes Eléctricas Inteligentes", 2016, [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/90007/Programa_de_Redес_Elctricas_Inteligentes_09_05_16.pdf
- V. Seferian, R. Kanj, A. Chehab and A. Kayssi (2018), "Identity Based Key Distribution Framework for Link Layer Security of AMI Networks," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 3166-3179, July 2018. doi: 10.1109/TSG.2016.2628090
- H. Song (2018), "Security and Privacy in Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles, and Applications", 2018, 1st Edition, IEEE Press-Wiley, ISBN-13: 978-1119226048.
- H. Sun, et al. (2017), "Smarter Energy: From smart metering to the smart grid", 2017, IET, ISBN-13: 978-1785611049.
- F. Toledo (2013), "Smart Metering Handbook", 2013, Penn Well, ISBN-13: 978-1593702984.
- W. Wang and Z. Lu (2013). "Survey Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges" in *Comput. Netw.* 57, 5 (April 2013), pp. 1344-1371. doi: 10.1016/j.comnet.2012.12.017
- K.S.K Weranga (2014), "Smart Metering Design and Applications", 2014th Edition, Springer, ISBN-13: 978-9814451819.
- F. Ye (2015), "Smart Grid Communication Infrastructures: Big Data, Cloud Computing, and Security", 1st Edition, IEEE Press-Wiley, ISBN-13: 978-1119240150.
- F. Yuan, Y. Sun, J. Jiang, S. Zhao and S. Xu (2014), "A multivariate public key cryptographic scheme," in *China Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 120-124, Dec. 2014. doi: 10.1109/CC.2014.7019846
- F. Zhang et al. (2016), "A Framework for the Analysis and Evaluation of Algebraic Fault Attacks on Lightweight Block Ciphers," in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 11, no. 5, pp. 1039-1054, May 2016. doi: 10.1109/TIFS.2016.2516905

Abordando Eficientemente el Problema del Camino más Corto mediante Redes Neuronales de Tercera Generación

Manuel Mejía-Lavalle*. José J. Paredes-Cano**
Humberto Sossa***

*Tecnológico Nacional de México / CENIDET, Cuernavaca, MOR 62490 México
(Tel: 777 362 7770; e-mail: mlavalle@cenidet.edu.mx)

**Seguros Inbursa S.A., Grupo Financiero Inbursa, Cuernavaca, MOR 62030 México
(e-mail: jesus_paredes_123@hotmail.com)

*** Instituto Politécnico Nacional – CIC / Tecnológico de Monterrey, Campus Guadalajara México
(e-mail: hsossa@cic.ipn.mx)

Resumen: Encontrar una solución eficiente para el problema del camino más corto tiene aplicaciones en áreas tan relevantes como la robótica, las telecomunicaciones, la investigación de operaciones, la teoría de juegos, las redes de computadoras, internet, diseño industrial, fenómenos de transporte, diseño de circuitos electrónicos y otros, por lo que es un tema de mucho interés en optimización combinatoria. En el presente trabajo se propone y describe una Red Neuronal Artificial de Tercera Generación capaz de abordar eficientemente el problema del camino más corto entre dos nodos. Una vez que la Red Neuronal propuesta encuentra el nodo meta a costo mínimo, se realiza una extracción o Explicitación de Conocimiento de esta Red para recuperar la trayectoria final. Debido al diseño en paralelo de la Red Neuronal aquí presentada, este enfoque de solución puede resultar competitivo, según se observó en la etapa de experimentación a partir de los buenos resultados obtenidos, aún en casos que tenían cientos y miles de nodos.

Keywords: Redes neuronales artificiales, Diseño paralelo, Red neuronal de tercera generación o pulsante, Problema del camino más corto, Explicitación de conocimiento, Optimización combinatoria.

1. INTRODUCCION

El problema NP de encontrar el camino o la ruta más corta entre dos nodos ha sido ampliamente estudiado en el área de optimización combinatoria [1] debido a la importancia que tiene relacionado con dominios tan actuales y relevantes como: la robótica, las telecomunicaciones, la inteligencia artificial y aprendizaje automático, la investigación de operaciones, la teoría de juegos, las redes de computadoras, internet, diseño industrial, telemática, fenómenos de transporte, diseño de circuitos electrónicos altamente integrados VLSI, e incluso se ha aplicado a situaciones de riesgo y de toma de decisiones [1]. Dado un conjunto de múltiples nodos conectados con un determinado costo, el problema de la ruta más corta consiste en encontrar una trayectoria que una a un nodo de inicio con un nodo meta de tal manera que la suma de los costos de ese camino sea la mínima posible. Una manera sencilla de describir el problema es hacer una analogía con un grupo de ciudades: cada ciudad es un nodo y la distancia entre dos ciudades es el costo.

Sin embargo, este problema encuentra aplicaciones del mundo real en múltiples y diversos dominios. En teoría de grafos existen definiciones formales para este problema [2].

Computacionalmente el grafo de rutas se representa normalmente mediante una matriz de adyacencia de tamaño $n \times n$, donde n es la cantidad de nodos del problema: si el elemento i, j de la matriz de adyacencia vale cero indica que del nodo i al nodo j no existe un camino; por otro lado, si el elemento matricial tiene un valor positivo, éste indicará el costo en que se incurre por transitar del nodo i al nodo j . Aunque en apariencia el problema pareciera sencillo, en realidad se trata de un problema de alta complejidad que se hace evidente cuando tratamos de encontrar soluciones óptimas para redes con cientos o miles de nodos conectados. Esto se debe a que la cantidad de rutas posibles crece de manera exponencial en relación al número de nodos, por lo que es inviable analizar todas las combinaciones posibles en un tiempo razonable, aún usando las computadoras más veloces.

Existen diversos algoritmos que buscan resolver el problema sin tener que recorrer todas las rutas posibles. Pero, aún usando un algoritmo eficiente que no analiza todas las rutas posibles, para un problema con 9,000 nodos se necesitarían alrededor de 81 millones de operaciones para encontrar una solución óptima o cercana a la óptima.

Entre los algoritmos eficientes más conocidos está el de Dijkstra, Bellman-Ford, Floyd-Warshall, Johnson, Gabow, Thorup, Pettie-Ramachandran o Viterbi [1]. Incluso del área de la Inteligencia Artificial han surgido propuestas como el

Branch & Bound o el algoritmo A^* [2]. Buscando la eficiencia, no todos los algoritmos garantizan encontrar la solución óptima (la ruta de menor costo), sino que ofrecen soluciones cercanas a la óptima. Adicionalmente, todos estos algoritmos han sido concebidos para ser resueltos esencialmente de una manera secuencial [3].

En el presente trabajo se propone y presenta la aplicación del enfoque conexionista de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) [4], en particular el de las RNA de tipo Pulsante o de Tercera Generación adaptada para resolver el problema del camino más corto. Lo anterior debido a que las RNA tienen un diseño intrínsecamente paralelo, lo que las hace susceptibles de ser más eficientes que los métodos secuenciales tradicionales que no cuentan con este enfoque conexionista. Adicionalmente, las RNA de tipo Pulsante se dice que son de tercera generación porque son más cercanas en concepto a las redes neuronales biológicas, lo que promete un mayor acercamiento a los procesos cognitivos de los humanos [5]. Una vez que la Red Neuronal Pulsante encuentra el nodo meta a un costo mínimo, se realiza una extracción o Explicitación de Conocimiento [6], a partir de la información oculta en la Red, para recuperar la trayectoria final.

De acuerdo a la experimentación realizada utilizando casos con cientos y miles de nodos, los resultados son alentadores tanto en eficiencia como en la calidad de la solución. Con los casos experimentados se obtuvieron tiempos de respuesta en el orden de los segundos y todos los casos fueron resueltos con la solución óptima de mínimo costo global.

2. SOLUCIÓN NEURONAL PROPUESTA

En esta sección se presenta la Red Neuronal de Tercera Generación o Pulsante adaptada para resolver problemas que buscan la ruta de menor costo entre dos nodos. Para ello primeramente se introducen las Redes Neuronales Pulsantes, para luego describir la Red Neuronal propuesta y los resultados obtenidos.

2.1 Redes Neuronales de Tercera Generación

Dentro de las Redes Neuronales Artificiales (RNA), la tercera generación corresponde a las denominadas Pulsantes (RNP) y son las que en este trabajo proponemos y aplicamos al problema de encontrar el camino más corto entre dos nodos. La principal diferencia de las RNP con respecto a las dos generaciones anteriores es que son un paradigma cuyas neuronas son activadas no sólo por valores numéricos, sino además por pulsos o señales externas que dependen del tiempo [5]. La RNP es implementada en un modelo de una neurona por cada elemento de procesamiento y su arquitectura tiene tres módulos: a) el módulo de dendritas, mediante el cual entra la información circundante a la RNP; b) el módulo de encadenamiento, que une la información de entrada con la de salida y c) el generador de pulsos, que tiene un umbral dinámico que se basa en el proceso interno de la misma RNP. Las RNP tienen la particularidad de que la actividad de cada

neurona afecta en cierto grado a las neuronas vecinas, obteniéndose un efecto de auto-onda [5]. La Figura 1 muestra un ejemplo de auto-onda: a partir de una imagen de un cuadrado blanco, se muestran en secuencia nueve salidas de la RNP.

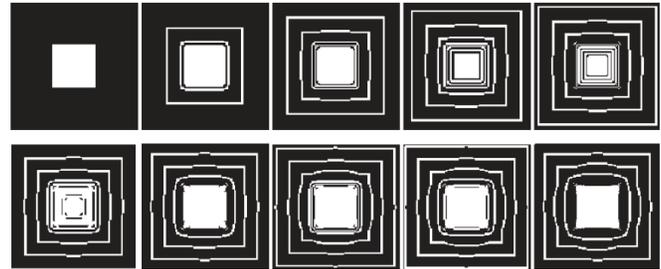


Fig 1. Salidas de una Red Pulsante para nueve épocas [5].

Dentro de las RNP existen diversas variantes, como la denominada *Pulse-Coupled Neural Network*, la *Intersecting Cortical Model* o la *Spiking Cortical Model* [5]. La RNP que aquí se propone es una variante diseñada especialmente para el problema del camino más corto.

2.2 Red Neuronal Propuesta

La descripción del paradigma propuesto se presenta en dos partes: primero se aborda el proceso para, a partir de un nodo inicial, ir explorando los nodos que conduzcan al nodo meta de manera óptima; posteriormente se presenta la forma en que se recupera el conjunto de nodos que determinan el camino más corto, mediante la extracción o Explicitación del Conocimiento [6] oculto en dicha Red.

Proceso para llegar al nodo meta

La Red Neuronal Pulsante que aquí se propone es una extensión de la presentada en [7] denominada por sus autores como *AWN* (*Auto-Wave Neural Network*). En la Figura 2 se muestra una neurona de este modelo.

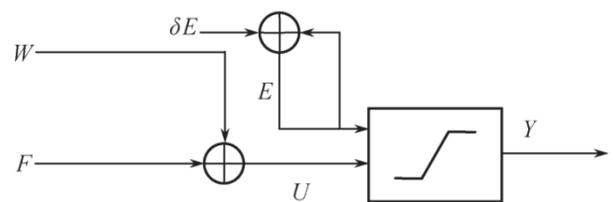


Fig 2. *Auto-Wave Neural Network*, según [7].

En la Figura 2 se puede observar que cada neurona recibe como entrada información de la matriz de adyacencia W y además recibe un valor F del costo adicional en caso de continuar por cierta ruta: sumando W y F se obtiene el valor U que es el costo total incurrido por algún camino hasta un momento dado determinado por el umbral dinámico E . En cada época el

parámetro E se incrementa por un valor constante δE : si el costo acumulado en U es igual o supera al umbral E , entonces la neurona se activa tomando la salida Y el valor de "1", de otra manera la salida de la neurona será cero. Dado un problema con n nodos, la red neuronal tendrá entonces tantas neuronas como $n \times n$. El efecto de auto-onda se obtiene precisamente al ir realizando incrementos en el tiempo del umbral E . Las siguientes ecuaciones resumen el comportamiento de la neurona tipo AWNN que proponemos:

$$F_{actual} = F_{anterior} + W_{anterior, actual} \quad (1)$$

$$U_{actual, actual} = F_{actual} + W_{actual, actual} \quad (2)$$

Si $U > E$ entonces $Y = 0$; de otra manera $Y = 1$

$$E = E + \delta E \quad (3)$$

Para hacer más eficiente el proceso nosotros definimos el valor inicial de E como el costo menor del nodo de inicio a sus siguientes nodos. De igual manera, si los costos son enteros positivos, recomendamos emplear una δE igual a 1 (o bien normalizar todos los costos de W para que sean enteros positivos). A continuación se ilustrará con un ejemplo pequeño la forma en que la Red Neuronal Pulsante funciona. Iniciamos con una matriz de adyacencia W con 5 nodos que definen un grafo de interconexión. La matriz de ejemplo W es:

| W | A | B | C | D | E |
|-----|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| B | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| C | 3 | 3 | 0 | 6 | 0 |
| D | 7 | 0 | 6 | 0 | 4 |
| E | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 |

Se desea encontrar el camino más corto del nodo A al nodo D. Analizando los costos de A a sus siguientes nodos, vemos que el menor costo es A-B y A-E con un valor de 2, por lo tanto con ese valor iniciamos el umbral E . En el inicio, la F_{actual} será igual al renglón de la matriz de adyacencia donde se encuentra el nodo de inicio A. Entonces:

$$F_{actual} = 0 \ 2 \ 3 \ 7 \ 2$$

A continuación se actualiza la matriz U como lo indica la ecuación 2, quedando U con la siguiente información:

| U | A | B | C | D | E |
|-----|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Seguidamente verificamos los elementos donde $U = E$ y se actualiza la matriz Y , con lo que resulta una primera salida de la RNP:

| Y | A | B | C | D | E |
|-----|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Como los caminos A-B y A-E ya fueron seleccionados, se les asigna un "costo alto" para que ya no vuelvan a ser usados (para el ejemplo usamos el valor 10 como "costo alto") y se incrementan los costos de los renglones de B y E de acuerdo a los costos de la matriz W . La matriz U entonces queda de la siguiente manera:

| U | A | B | C | D | E |
|-----|----|---|-----|-----|---|
| A | 10 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| B | 10 | 0 | 2+3 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 10 | 0 | 0 | 2+4 | 0 |

Luego se incrementa en 1 el umbral E y se repite el proceso. En este caso es el camino A-C el que cumple con tener un costo igual o menor al umbral E , por lo que la matriz Y se actualiza a:

| Y | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En consecuencia la matriz U se actualiza a:

| U | A | B | C | D | E |
|---|----|----|-----|-----|---|
| A | 10 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| B | 10 | 0 | 2+3 | 0 | 0 |
| C | 10 | 10 | 0 | 3+6 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 10 | 0 | 0 | 2+4 | 0 |

A continuación se incrementa el umbral y entonces $E=4$. En este momento ningún camino (no recorrido anteriormente) es igual o menor a 4, por lo que la salida Y no se modifica y por lo tanto la matriz U tampoco cambia. Hasta que $E=6$ ocurre que el camino E-D ($2+4$) en la matriz U satisface el umbral y se actualiza la salida:

| Y | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Puesto que en este paso se llegó al nodo meta (D), entonces el proceso termina. El costo del camino encontrado es igual al valor del umbral E , en este caso el costo es de 6. Se hace notar que cualquier otro camino que llegue a D tendría mayor costo, por lo que el camino encontrado es el óptimo. La Figura 3 muestra el grafo con los 5 nodos y los costos de uno a otro nodo; además, el camino óptimo A-E-D encontrado por la RNP se resalta con líneas más gruesas.

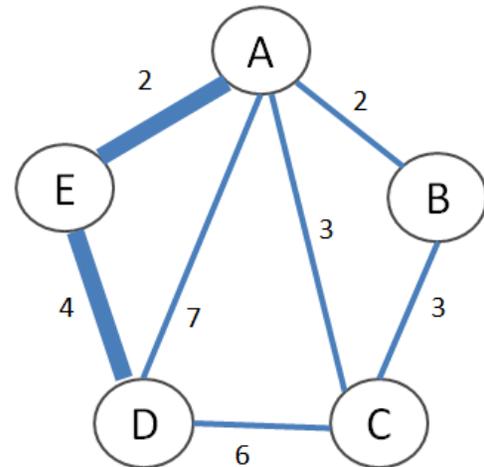


Fig 3. Grafo que muestra la solución final de la RNP.

Recuperación de la ruta más corta por Explicitación

La Explicitación de Conocimiento [6] en el contexto de las RNA consiste en extraer el conocimiento oculto en la misma Red Neuronal. Este sub-tema dentro de las RNA se debe a que, en el surgimiento de la tecnología, existía la crítica de que aunque los paradigmas neuronales daban buenos resultados, no era posible acceder al conocimiento que de manera automática el algoritmo había generado. Se decía entonces que las RNA eran algoritmos de caja negra. Sin embargo, con el tiempo, han surgido propuestas exitosas para precisamente transparentar el conocimiento oculto entre las neuronas, de tal manera que el usuario tenga acceso a, por ejemplo, las reglas de producción que se generan de manera automática como resultado de la actividad interna de la RNA. En ese sentido, nosotros logramos rescatar el camino óptimo o de menor costo, extrayendo el conocimiento que queda oculto en la capa de salida Y de la RNP propuesta.

La capa de salida Y es básicamente una matriz de tamaño $n \times n$ con valores de ceros y unos. La ruta se recupera de manera inversa, saltando del nodo final al nodo inicial. En la matriz de salida Y , el nodo final se encontrará en la columna i con el mismo número que el nodo meta. En esa columna se buscará el valor "1" y ahí donde aparezca se tomará el valor del renglón j . Con ese valor de renglón se entrará nuevamente a la matriz Y pero ahora buscando en la columna con valor j , el valor "1" y repitiendo el proceso hasta llegar al nodo inicial. Al final los valores j así recuperados definirán la ruta de costo mínimo.

3. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Los casos de prueba se generaron de manera aleatoria. La Figura 4 muestra los resultados obtenidos aplicando la RNP

propuesta de manera gráfica; observando esta Figura se puede apreciar que el comportamiento de la RNP es de complejidad aproximadamente lineal, es decir, el tiempo de procesamiento depende de manera casi lineal del número de nodos. Es importante mencionar que por ahora no se aprovechó el diseño paralelo de la RNP. Cuando tengamos completamente implementado el código en forma paralela, esperamos obtener tiempos de respuesta mucho menores. Por ejemplo, para el caso con 9,000 nodos, el tiempo T esperado de respuesta podría bajar en alrededor de $T/81,000,000$, lo cual es 30 millones de veces más eficiente que el algoritmo de Dijkstra. Se hace notar que en todos los casos con los que se experimentó, la RNP propuesta logró encontrar el camino óptimo.

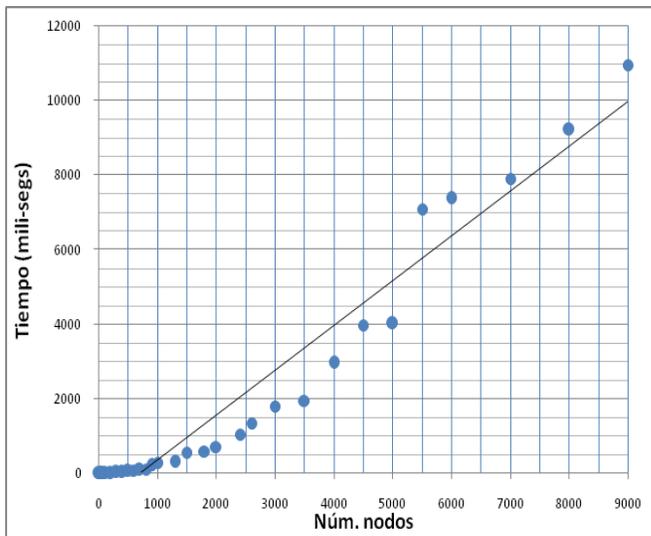


Fig 4. Tiempo de procesamiento (mili-segs) vs número de nodos.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se ha propuesto y descrito una RNP capaz de resolver de manera satisfactoria el problema del camino más corto. De acuerdo a los resultados obtenidos nuestra propuesta compite con otros métodos existentes en la literatura especializada, pues tiene una complejidad aproximadamente lineal. Sin embargo, creemos que al aprovechar la característica paralela del paradigma propuesto, los tiempos de respuesta disminuirán considerablemente. Por lo tanto, como trabajo futuro tenemos contemplado realizar la implementación paralelizada usando miles de núcleos de la Unidad de Procesamiento de Gráficos (GPU) para acelerar el proceso, según se detalla en [8]. Adicionalmente se experimentará con casos del mundo real como los mencionados en [9] ó [10].

REFERENCIAS

- [1] Moustapha, D., Mark, K. (2016) Advances in combinatorial optimization, World Scientific.
- [2] Thulasiraman, K., Arumugam, S., et.al. (2016) Handbook of graph theory, CRC Press.
- [3] Beck, A. (2017) First-Order Methods in Optimization, Vol 25 de MOS-SIAM Series on optimization.
- [4] Daniel, G. (2013) Principles of artificial neural networks, World Scientific.
- [5] Lindblad, T., Kinser, J. (1998) Image processing using pulse-coupled neural networks, Springer.
- [6] Chuanli, Z., Jinzheng, R. (2005) "Elicitation of decision maker preference by artificial neural networks", IEEE Int.Conf. on Neural networks and brain.
- [7] Ma, Y., Zhan, K., Wang, Z. (2011) Applications of pulse-coupled neural networks, Springer.
- [8] Kirk, D. (2004) GPU Gems, Addison-Wesley.
- [9] <https://cs.stackexchange.com/questions/1151/where-to-get-graphs-to-test-my-search-algorithms-against>, consultado en marzo 2019.
- [10] Brinkhoff, <https://www.cs.utah.edu/~lifeifei/SpatialDataset.htm>, consultado en marzo 2019.

Detección automática de ansiedad: Una revisión sistemática del trastorno de ansiedad generalizada

Cuevas Chávez P. Alejandra*. Martínez R. Alicia*
Sánchez G. A. Fabiola**

*Tecnológico Nacional de México/CENIDET, Int. Internado Palmira, Cuernavaca, Mor.

e-mail: patricia.cuevas18ca, amartinez{@cenidet.edu.mx}

**Universidad Autónoma del Estado de Morelos/UAEM, Avenida Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Mor.

e-mail: fabiola.sanchez@uaem.mx

Resumen: Los padecimientos por trastornos de ansiedad han aumentado cerca de un 50% a nivel mundial. Este tipo de trastornos afectan tanto la capacidad de trabajo como el bienestar y la salud de una persona y se presentan con distinta sintomatología. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión sistemática para determinar la literatura de la detección automática, la predicción y la posible terapia/tratamiento de la ansiedad generalizada a través de la tecnología. Se realizó una búsqueda exhaustiva de estudios publicados entre los años 2013-2019 en las bases de datos ACM Digital Library, IEEE, PlosOne y Springer.

Palabras Clave: Revisión sistemática, Ansiedad, Ansiedad Generalizada, Dispositivos Vestibles, Detección

1. Introducción

En la actualidad, los trastornos mentales comunes están en aumento, un ejemplo de esto es la ansiedad, la cual es la sexta causa de discapacidad laboral en el mundo (Rivera, 2017). De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud, entre 1990 y 2013, el número de personas que padecen ansiedad o depresión ha aumentado cerca de un 50% (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La ansiedad es una respuesta emocional provocada por el miedo. Además de ser un sistema complejo de respuesta conductual, fisiológica, afectiva y cognitiva a modo de amenaza. La ansiedad se activa al anticipar sucesos o circunstancias que se juzgan como muy aversivas porque se perciben como acontecimientos imprevisibles e incontrolables que potencialmente podrían amenazar los intereses vitales de un individuo (Clark & Aaron T., 2012).

Los desórdenes de ansiedad pueden tomar distintas formas, incluyendo el trastorno de ansiedad generalizada, el trastorno de ansiedad social, entre otros (Revista de la Facultad de Medicina, 2013).

La ansiedad generalizada es uno de los desórdenes de ansiedad más comunes, se define como una preocupación excesiva que se produce durante un periodo de 6 meses, en relación con diversos sucesos o actividades (como en la actividad laboral, escolar o social). Cuando una persona la está padeciendo puede resultarle difícil controlar su preocupación, causándole un malestar clínicamente significativo o deterioro en su vida social, laboral u otras áreas. Los principales síntomas de la ansiedad generalizada son: inquietud o sensación de estar atrapado o con los nervios de punta, fatiga excesiva, dificultad para concentrarse o quedarse con la mente en blanco, irritabilidad, tensión muscular y problemas de sueño (dificultad

para dormirse o para continuar durmiendo, o sueño inquieto (Asociación Americana de Psiquiatría, 2013). A menudo, las personas que sufren de este trastorno manifiestan temores de una próxima enfermedad o de un accidente, que sufrirán en breve ellos mismos o algunos de sus parientes (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Desde el punto de vista tecnológico existen varias propuestas para hacer frente al problema de detección automática de la ansiedad. Dentro de estas opciones se han utilizado diversos dispositivos tecnológicos como: sensores, relojes inteligentes, o dispositivos vestibles. De esta forma, las soluciones tecnológicas propuestas en la literatura pueden mejorar la calidad de vida y el bienestar de las personas que sufren de este trastorno ayudando a detectar los síntomas de un ataque de ansiedad antes de que éste ocurra.

Dado este contexto, el objetivo de este artículo es ofrecer un panorama acerca de cómo la tecnología y las aplicaciones computacionales pueden ser aplicadas para detectar la ansiedad generalizada de manera automática, predecirla u ofrecer un tratamiento/terapia relajante a través de aplicaciones móviles.

El objetivo específico de este estudio es llevar a cabo una revisión sistemática que identifique y clasifique los enfoques computacionales que abordan el problema de la detección automática de la ansiedad generalizada, su predicción y su probable tratamiento/terapia relajante. Es importante mencionar que los resultados presentados en este artículo son preliminares y aún se continua trabajando en esta revisión sistemática.

El artículo está estructurado de la siguiente forma: la Sección 2 describe la metodología de búsqueda de nuestra revisión sistemática; la Sección 3 presenta los resultados obtenidos en nuestra revisión, y la sección 4 presenta las conclusiones de la investigación.

2. Metodología de búsqueda

En esta sección se describe la metodología de una revisión sistemática basada en las pautas para realizar revisiones sistemáticas (Kitchenham, 2007). Varios trabajos de investigación utilizan revisiones de la literatura con el fin de proporcionar una base sólida para conocer el estado del arte con respecto a un tema en particular.

Los pasos para realizar una revisión sistemática son detallados a continuación.

2.1 Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios tomados en cuenta para la inclusión de los artículos obtenidos en la revisión sistemática fueron por el idioma, año de publicación, área y tipo de publicación.

En esta revisión sólo incluimos publicaciones en el idioma inglés entre los años 2013-2019 del área de computación ó de ciencias de la información, incluyendo artículos de revista y artículos de conferencia.

Por otro lado, los criterios tomados en cuenta para la exclusión de los artículos fueron por el tema abordado, la tecnología utilizada y la manera de abordar la investigación.

En esta revisión nosotros excluimos los artículos que no abordaban el tema de la detección de ansiedad generalizada, su predicción ó aplicación a través de la tecnología computacional. Además de descartarse aquellos que hacían referencia a tratamientos convencionales y alternativos pertenecientes al área de psicología y/o psiquiatría.

2.2 Pregunta de investigación

La revisión sistemática se centra en dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

“¿Es posible detectar automáticamente la ansiedad generalizada, predecirla ó incluso ofrecer una terapia/tratamiento relajante a través de herramientas computacionales?”

Se analizaron las principales características de cada propuesta encontrada en la literatura para responder a la pregunta de investigación, clasificándolas de acuerdo a la tecnología utilizada, el área, el tipo de estudio realizado, el algoritmo utilizado (si aplicara el caso), el número de personas participantes del estudio y su respectiva edad (si aplicara el caso).

2.3 Alcances del estudio

Este estudio se centra específicamente en la detección del trastorno de ansiedad generalizada. Además, se utilizó la plantilla propuesta del estado del tema, que lleva por nombre PICO (C) (Santos et al., 2007); llamado así por sus siglas en inglés; considerando los siguientes puntos:

1. *Población*: Artículos que hablan del diseño y la implementación de aplicaciones tecnológicas que proponen la detección de ansiedad ó el tratamiento de

terapia a través de realidad virtual, realidad aumentada ó, incluso, videojuegos para aminorar el trastorno de ansiedad.

2. *Intervención*: Son las técnicas o métodos implementados para tratar o detectar automáticamente la ansiedad en casos cuando se presenten las crisis de ansiedad, ó en el peor caso, el especificado ataque de pánico.
3. *Comparación*: Es la comparación de técnicas o métodos implementados para tratar o detectar automáticamente la ansiedad en casos cuando se presenten las crisis de ansiedad, ó en el peor caso, el especificador ataque de pánico.
4. *Resultado*: Es la evaluación de las fortalezas y debilidades de cada propuesta analizada.
5. *Contexto*: Son los métodos y técnicas que utilizan mecanismos computacionales para detectar la ansiedad generalizada automáticamente a través de sensores vestibles.

2.4 Fuentes de información y estrategias de búsqueda

Las fuentes de información utilizadas en esta revisión sistemáticas fueron las siguientes bases de datos electrónicas: ACM Digital Library¹, IEEE², PlosOne³ y SpringerLink⁴. La información obtenida de estas bases de datos sirvieron para dar respuesta a la pregunta de investigación definidas inicialmente.

La revisión sistemática inició con la identificación de una lista de palabras clave en el idioma inglés, así como probables sinónimos que pudieran servir para abarcar más artículos de investigación (ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Palabras clave utilizadas en la investigación

| Grupo | Palabras Clave |
|-----------------------|--|
| Ansiedad | Anxiety |
| Trastorno específico | Generalized anxiety disorder |
| Detección de ansiedad | Recognition, detection, monitoring, processing, predicting, prevent |
| Tecnología | Wearable devices, sensors, devices, mobile application, computer application |

La cadena de búsqueda genérica se construyó por cada grupo, separando los conceptos elegidos mediante operadores lógicos *OR* y *AND*. La cadena resultante es presentada en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Cadena de búsqueda

(anxiety) AND (generalized anxiety disorder) OR (recognition, detection, monitoring, processing, predicting, prevent) OR (wearable devices, sensors, devices, mobile application, computer application)

¹ACM Digital Library: Association for Computing Machinery, <https://dl.acm.org/dl.cfm>

²IEEE Xplore Digital Library: Institute of Electrical and Electronics Engineers, <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

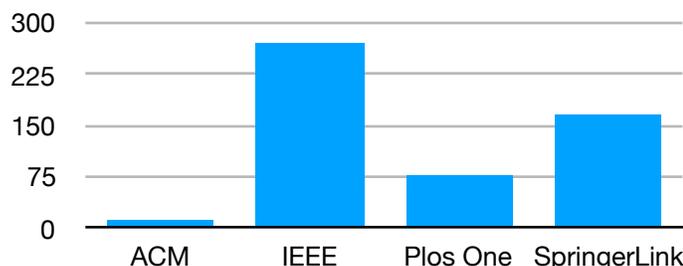
³PlosOne: Public Library of Science One, <https://journals.plos.org/plosone/>

⁴SpringerLink: Springer Nature, <https://link.springer.com>

La ubicación de la búsqueda sistemática se realizó dentro de los documentos en títulos, resúmenes y palabras clave. Además, se consideró sólo el rango de años entre el 2013 y el 2019.

Se obtuvo un resultado de 528 artículos al llevar a cabo la búsqueda en las bibliotecas digitales anteriormente mencionadas. En la **Figura 1** se muestran los resultados de los artículos de investigación obtenidos por cada biblioteca digital consultada.

Figura 1. Resultados obtenidos



La búsqueda sistemática fue realizada entre octubre de 2018 y febrero de 2019, por lo que, estudios posteriores a este periodo pueden no haber sido considerados en esta revisión sistemática. A partir de los 528 artículos obtenidos y después de aplicar los respectivos criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 6 resultados relevantes (ver **Tabla 3**), de los cuales aparecen en revistas y conferencias del área de computación ó de ciencias de la información. Se excluyeron 522 artículos por no responder a la pregunta de investigación, además de aquellos artículos repetidos (1 artículo).

2.5 Evaluación de la calidad

La evaluación de la calidad del estudio tiene como propósito obtener artículos que aborden el problema de detectar automáticamente la ansiedad generalizada, de predecirla ó incluso de ofrecer un tratamiento/terapia relajante a través de herramientas de computación.

3. Resultados

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática fueron 6 artículos, excluyendo 522 artículos. De los cuales, 19 artículos abordaban trastornos de ansiedad, pero no abordaban la ansiedad generalizada. 6 artículos abordaban el trastorno de ansiedad social. 6 artículos abordaban especificadores relacionados a la ansiedad (ataques de pánico, conducta obsesiva-compulsiva y estrés post-traumático), pero no a la ansiedad generalizada. Finalmente, 2 artículos abordaban tratamientos alternativos al trastorno de ansiedad generalizada relacionados a la acupuntura (ver **Tabla 4**).

Tabla 4. Artículos excluidos

| Tipo de ansiedad | ACM | IEEE | PlosOne | Springer |
|------------------------|-----|------|---------|----------|
| Ansiedad | 1 | - | 14 | 4 |
| Ansiedad Social | - | 1 | 3 | 2 |
| Especificadores | - | - | 6 | - |
| Alternativos | - | 2 | - | - |

Los artículos seleccionados fueron analizados de acuerdo a las características previamente planteadas en la sección donde se establece la pregunta de investigación: tecnología utilizada, el área, el tipo de estudio realizado, el algoritmo utilizado (si aplicara el caso), el número de personas participantes del estudio y su respectiva edad (si aplicara el caso) (ver **Tabla 5**).

Tabla 3. Artículos seleccionados

| Núm. | Año | Título | Autor(es) | BD | Ref. |
|------|------|---|---|---------|------------------------|
| 1 | 2018 | A review of machine learning prediction methods for anxiety disorders | Pintelas G. Emmanuel, Kotsilieris Theodore, Livieris Ioannis E., Pintelas Panagiotis | ACM | Pintelas et al. 2018 |
| 2 | 2017 | An innovative gaming approach to prevent anxiety disorders & promote youth resilience | Costarides V., Kouris I., Anastasiou A., Koutsouris D. | IEEE | Costarides et al. 2017 |
| 3 | 2016 | ABOVE WATER: Extending the Play Space for Health | Wehbe Rina R., Watson, Diane K., Tondello Gustavo F., Nacke Lennart E. | ACM | Wehbe et al. 2016a |
| 4 | 2016 | ABOVE WATER: An Educational Game for Anxiety | Wehbe Rina R., Watson, Diane K., Tondello Gustavo F., Ganaba Marim, Stocco Melissa, Lee Alvin, Nacke Lennart E. | ACM | Wehbe et al. 2016b |
| 5 | 2016 | Predicting Generalized Anxiety Disorder Among Women Using Random Forest Approach | Husain Wahida, Ker Xin Lee, Rashid Nur' Aini Abdul, Jothi Neesha | IEEE | Husain et al. 2016 |
| 6 | 2016 | Quantifying Risk for Anxiety Disorders in Preschool Children: A Machine Learning Approach | Carpenter Kimberly L. H., Sprechmann Pablo, Calderbank Robert, Sapiro Guillermo, Egger Helen L. | PlosOne | Carpenter et al. 2016 |

| Núm. | Ref. | Área | Tecnología utilizada | Algoritmo utilizado | Tipo de estudio | Número de participantes | Edad |
|------|------------------------|------------|--|------------------------------|--|-------------------------|----------|
| 1 | Pintelas et al. 2018 | Predicción | Aprendizaje automático | Aprendizaje automático | Revisión sistemática | - | - |
| 4 | Costarides et al. 2017 | Prevención | Híbrida: videojuego y dispositivos vestibles | Evaluación de la resiliencia | Juego mundial online | - | - |
| 2 | Wehbe et al. 2016a | Juego | Híbrida: juego físico y aplicación móvil | - | Juego de mesa combinado con aplicación móvil | - | - |
| 3 | Wehbe et al. 2016b | Juego | Híbrida: juego físico y aplicación móvil | - | Juego de mesa combinado con aplicación móvil | - | - |
| 5 | Husain et al. 2016 | Predicción | Minería de datos | Enfoque de bosque al azar | Investigación | - | - |
| 6 | Carpenter et al. 2016 | Detección | Aprendizaje automático | Ábol de decisión alterna | Detección de riesgos | 4,506 | 2-5 años |

4. Conclusiones y trabajos futuros

En esta revisión se identificaron los estudios potenciales sobre la detección automática, la predicción y los posibles tratamientos ó terapias a través de la tecnología para la ansiedad generalizada. Aunque encontramos artículos que abordaban el tema de la detección ó predicción de la ansiedad, decidimos enfocarnos solamente en artículos que abordaran el tema de la ansiedad generalizada.

La mayoría de los estudios revisados informaron de técnicas para poder detectar ó predecir de manera automática los trastornos de ansiedad de manera satisfactoria. No obstante, los artículos que abordaban la manera de cómo detectarla ó predecirla fueron escasos, pero, los resultados obtenidos por los estudios seleccionados son alentadores. Escasea la información sobre las herramientas tecnológicas o los sensores utilizados para poder detectar ó predecir la ansiedad generalizada de manera automática. Sin embargo, para futuros trabajos se incluirán otras bases de datos para tener una revisión sistemática más amplia.

A pesar de que los resultados obtenidos son alentadores, algunos estudios presentan ciertas limitaciones que restringen el alcance de sus resultados. Una de las limitaciones más importantes está relacionada con la obtención de resultados en sí, ya que, aunque muestran su aplicación final, omiten el alcance que tuvo la investigación.

En cuanto a la pregunta de investigación, analizando los resultados obtenidos se puede afirmar que sí es posible detectar la ansiedad generalizada de manera automática utilizando diferentes técnicas y/o algoritmos.

Como trabajo futuro se continuará y ampliará la búsqueda sistemática incluyendo patentes y bases de datos.

Finalmente, se debe considerar que a pesar de los resultados obtenidos de las investigaciones que hacen uso de la tecnología, se debe considerar la parte psicológica. Es decir, corroborar con escalas psicológicas aplicadas por expertos los resultados obtenidos de las investigaciones. Al tratarse de un trastorno

mental, es importante tener en cuenta que no se puede ofrecer un diagnóstico sin antes consultar con un experto en el área.

5. Referencias

- Asociación Americana de Psiquiatría. (2014). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5*. Traducción a cargo de Burg Translations, Inc. Washington, DC.
- Carpenter, K.; Sprechmann, P.; Calderbank, R.; Sapiro, G. y Egger, H. (2016). Quantifying risk for Anxiety Disorders in Preschool Children: A Machine Learning Approach. *Base de datos de Harvard*, vol. 1
- Clark, D. A. y Beck, A. T. (2012). *Terapia Cognitiva para Trastornos de Ansiedad*. Traducción a cargo de Jasone Aldekoa. España, Desclee de Brouwer, S.A.
- Costarides, V.; Anastasiou, A. Y Koutsouris, D. (2017). An innovative gaming approach to prevent anxiety disorders & promote youth resilience. *30th International Symposium on Computer-Bases Medical Systems*, pp. 191-192
- Husain, W; Ker Xin L.; Rashid N. Y Jothi N. (2016). Predicting generalized anxiety disorder among women using random forest approach. *3rd Conference on computer and information sciences (ICCOINS)*, pp.37-42
- Kitchenham, B. (2007). Guidelines for performing systematic reviews in software engineering.
- Organización Mundial de la Salud. (13 de abril de 2016). “La inversión en el tratamiento de la depresión y la ansiedad tiene un rendimiento del 400%” en Organización Mundial de la Salud. [En línea]. Washington DC, disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/detail/13-04-2016-investing-in-treatment-for-depression-and-anxiety-leads-to-fourfold-return> [Accesado el día 5 de marzo de 2019]
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud CIE-10*. Traducción a cargo del Centro Venezolano de Clasificación de Enfermedades.
- Pintelas, E; Livieris, I; Kotsilieris, T. y Pintelas, P. (2018). *Proceedings of the 8th international conference on software development and technologies for enhancing accessibility and fighting info-exclusion*, pp. 8-15

- Revista de la Facultad de Medicina. (Agosto 2013). “El trastorno de ansiedad generalizada” en *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 56, n.4., pp.53-55.
- Rivera, L.G. (10 de octubre de 2017). “Hablemos de la ansiedad en el Día Mundial de la Salud Mental” en *Revista TecReview*. [En línea]. México, disponible en: <https://tecreview.tec.mx/hablemos-de-ansiedad-en-el-dia-mundial-de-la-salud-mental/> [Accesado el día 5 de marzo de 2019]
- Santos, C; Pimenta, C y Nobre, M. (2007). The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, vol. 15, no. 3. pp. 508-511
- Wehbe, R.; Watson, D.; Tondello G. y Nacke, L. (2016a). Above Water: Extending the play space for health. *Proceedings of the 2016 ACM International conference on interactive surfaces and spaces*, pp. 497-499
- Wehbe, R.; Watson, D.; Tondello, G.; Ganaba, M.; Stocco, M.; Lee A. y Nacke, L. (2016b). Above Water: an educational game for anxiety. *Proceedings of the 2016 annual symposium on computer-human interaction in play companion extended abstracts*, pp. 79-84

Uso de Color en la Detección de Puntos Destacados

S. Gonzalez*; J. Ruiz*

*Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cuernavaca, Morelos, Mex.
(e-mail: ser08c@cenidet.edu.mx).

Resumen: las imágenes suelen adquirirse en color, lo cual proporciona información extra disponible en comparación con las imágenes en escala de grises, sin embargo, los detectores populares suelen trabajar con escala de grises, descartando la información de color cuando la hay. En este trabajo se analizan diferentes maneras de aprovechar la información de color en los detectores de puntos destacados más populares, sin embargo, los experimentos demuestran que: aunque el uso de la información de color generalmente aumenta la sensibilidad de los algoritmos, algunas de las nuevas detecciones no son deseables, pues aparecen sobre los bordes, que son regiones de relativa baja curvatura y por tanto poco distinguibles.

Keywords: Puntos destacados, puntos distinguidos, imágenes en color.

1. INTRODUCCIÓN

Las imágenes en color se diferencian de las que están en escala de grises en que tienen más de un número para representar el color de un *pixel*, por ejemplo, las imágenes RGB tienen 3 canales, uno para cada color primario aditivo (rojo, verde y azul). En general, el color de un *pixel* se puede representar con un vector, de una dimensión para las imágenes en escala de grises, y de más de una dimensión para las imágenes en color.

Las imágenes pueden producirse con la proyección del mundo real en una cámara, es decir, de puntos en el espacio tridimensional real a puntos en el espacio bidimensional de la imagen. Algunos de esos puntos bidimensionales poseen propiedades que los hacen “distinguidos” de los demás, de manera que es relativamente fácil encontrar en dos imágenes de la misma escena los puntos que corresponden a la proyección del mismo punto tridimensional, por ejemplo: las esquinas. A estos puntos los llamamos “puntos destacados”, y los algoritmos para detectarlos deben poseer propiedades de repetibilidad e invarianza ante condiciones cambiantes de proyección, como son la iluminación y la perspectiva.

Los detectores de puntos destacados generalmente no usan la información de color, trabajan únicamente con imágenes en escala de grises. Esto aumenta su rapidez, pero sacrifica información. Debido a su gran capacidad, las computadoras actuales pueden aprovechar esa información sin sacrificar la rapidez de manera significativa.

Además de la detección, también existen algoritmos de descripción, los cuales permiten comparar por similitud los puntos destacados, y al igual que los detectores, generalmente están diseñados para trabajar con imágenes en escala de grises. Un ejemplo de descriptor usando información de color es

CSIFT (Abdel et al. 2006), el cual es una variante de SIFT (Lowe 2004). También se puede utilizar la información de color para descartar puntos producidos por sombras (Gevers et al. 2006), por ejemplo, utilizando el espacio de color HSV y descartando el canal “V”, ya que éste equivale al nivel de gris.

1. METODOLOGÍA

Hay varias maneras de utilizar la información de color, o de varios canales en general, por ejemplo:

- Trabajar con el promedio de los canales. Esto es equivalente a trabajar con imágenes en escala de grises.
- Realizar algunas operaciones por separado en cada canal, y luego combinarlos, por ejemplo, calculando la norma o magnitud del vector formado por un valor en cada canal.
- Trabajar por separado en los canales, y sólo combinar la respuesta hasta el último momento, por ejemplo, cuando ya se tiene una respuesta para cada canal, y se necesita una sola.

Se exploraron las opciones anteriores, para lo cual se utilizaron dos imágenes de prueba para cada algoritmo analizado. Los resultados se analizaron visualmente, se contaron los puntos destacados detectados, y se calculó su repetibilidad (Schimid et al. 2000) (Ecuación 1) ante variaciones de perspectiva.

$$Rep = \frac{|Kp_{Base} \cap Kp_{Nueva}|}{\min(|Kp_{Base}|, |Kp_{Nueva}|)} \quad (1)$$

Donde el operador “ $|\cdot|$ ” extrae la cantidad de elementos de un conjunto. La imagen base es la imagen original, y las nuevas son 3 imágenes a las cuales se les aplica una transformación proyectiva para simular el efecto de una cámara observando un objeto plano visto de lado.

Se eligieron 4 detectores básicos de puntos destacados, muy utilizados en la literatura, se implementaron y modificaron para usar información de color. Sus detecciones tienen un nivel de respuesta, y generalmente sólo se utilizan las detecciones con un mayor nivel, sin embargo, en este trabajo se utilizan todas.

Las imágenes utilizadas se muestran en la Figura 1, y las transformaciones de una de ellas en la Figura 2.

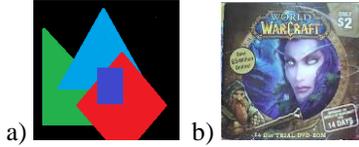


Figura 1. Imágenes usadas en las pruebas. Sus dimensiones son: a) 197x191 píxeles, b) 400x387 píxeles.



Figura 2. Imágenes generadas para la medición de la repetibilidad para la Figura 1.b. Corresponden a una perspectiva de 20, 40 y 60 grados.

2. DETECTORES DE PUNTOS DESTACADOS

Los detectores analizados tienen dos etapas, la primera es la función de detección, la cual califica cada coordenada de *pixel* con un nivel de respuesta, la segunda es la misma para todos y consiste en hallar los máximos locales, en los cuales se considera detectado un punto destacado. A continuación, se analizan las funciones de detección usadas en este trabajo:

- Basados en la matriz de autocorrelación. Usado en el detector de Harris (Harris et al. 1988).
- Basado en la matriz hessiana. Usado en el detector de SURF (Speed Up Robust Features) (Bay et al. 2008).
- Basados en Diferencias de Gaussianas. Usado en el detector de SIFT (Scale Invariant Feature Transform).
- Basados en diferencias de píxeles. Usado en el detector FAST (Features From Accelerated Segment Test) (Rosten et al. 2006).

2.1 Basados en la matriz de autocorrelación

La matriz de autocorrelación (Ecuación 2) mide qué tanto cambia una ventana (una pequeña zona en la imagen) cuando se desplaza en una imagen.

$$\mathbf{M} = \mathbf{w} * \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde “ \mathbf{w} ” es una máscara generalmente gaussiana que suaviza los elementos de la matriz, “ I_x ” e “ I_y ” son los gradientes de la imagen con respecto a los ejes “X” y “Y” respectivamente, “ \mathbf{M} ” es la matriz de autocorrelación, una por cada coordenada de *pixel*, y el símbolo “*” denota una convolución.

Harris propuso una fórmula para estimar cuándo una ventana sufre cambios significativos cuando se desplaza (Ecuación 3).

$$R(u, v) = \text{Det}(\mathbf{M}(u, v)) - k(\text{Tr}(\mathbf{M}(u, v)))^2 \quad (3)$$

Donde “R” es el nivel de respuesta de cada coordenada de *pixel*, y “Det” y “Tr” son las operaciones para calcular el determinante y la traza respectivamente.

Las modificaciones a este algoritmo para utilizar la información de color son:

Color1: Calcular el gradiente para cada canal (“ I_x ” e “ I_y ”), luego reemplazar el vector de gradientes por su norma, y proseguir con el cálculo de la matriz de auto correlación, como se observa en la ecuación 4.

Color2: Calcular la matriz de autocorrelación y el nivel de respuesta (la “R”) para cada canal, luego tomar el máximo, como se ilustra en la Ecuación 5. El motivo por el que no se usa la norma, es porque el nivel de respuesta “R” puede ser negativo, significando que “no es esquina”, y la norma siempre entregaría un valor positivo.

$$\mathbf{M}' = \mathbf{w} * \begin{bmatrix} \|I_x\|^2 & \|I_x\| \|I_y\| \\ \|I_x\| \|I_y\| & \|I_y\|^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R' = \max(R_r, R_g, R_b) \quad (5)$$

2.2 Basados en la matriz hessiana

La matriz hessiana (Ecuación 6) se usa para detectar blobs (regiones oscuras en fondo claro o viceversa), los cuales, como tienen una coordenada en la que están localizados, también se utilizan como puntos destacados.

$$\mathbf{H} = \mathbf{w} * \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{xy} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad (6)$$

La matriz hessiana se compone de segundas derivadas, que se aproximan con gradientes de segundo orden. El nivel de respuesta se obtiene con el determinante de la matriz hessiana.

De forma análoga al caso con la matriz de autocorrelación, la información de color se utiliza de dos formas: calculando un gradiente para cada canal y luego calculando la norma del vector formado por los tres canales (método “Color1”); y tomando el máximo nivel de respuesta (método “Color2”).

2.3 Basados en la Diferencias de Gaussianas

La Diferencia de Gaussianas (DoG) consiste en restar dos imágenes, las cuales previamente han pasado por un filtro gaussiano, pero con diferente desviación estándar para cada una. Es una aproximación eficiente al operador “laplaciano de un gaussiano” para la detección de blobs. En este caso sólo se empleó un método para el manejo del color: se aplicaron los filtros gaussianos a las imágenes en color, se restó, y al vector resultante correspondiente a la resta de cada *pixel* se le sacó la norma, esto porque es equivalente a trabajar cada canal independientemente. Es importante notar que en las imágenes en escala de grises los blobs se encuentran en los máximos y mínimos, pero como las normas no dan valores negativos, en la imagen en color sólo se buscan los máximos.

2.4 Basados en la diferencias de pixeles

Algunos algoritmos directamente comparan o restan pixeles, como representante a ese tipo de algoritmos se analizará al algoritmo FAST, el cual verifica los pixeles en una circunferencia a su alrededor, como muestra la Figura 3. Para que un *pixel* sea candidato a destacado, debe haber una secuencia continua de N pixeles que sean más brillantes o más oscuros en una circunferencia que lo rodea, con un umbral “T”. La variante más usada es FAST9, la cual detecta cuando 9 de 16 pixeles consecutivos son todos más brillantes o todos más oscuros que el *pixel* central.

De forma similar al caso de la Diferencia de Gaussianas, si se reemplaza la diferencia entre dos pixeles con más de un canal de color, se obtiene un vector, el cual no se convierte trivialmente a un escalar, y si se usa la operación de norma (magnitud), el resultado no puede dar negativo.

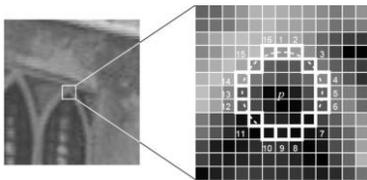


Figura 3. Circunferencia de 16 pixeles que se comparan en FAST para determinar si “p” es una esquina (Rosten et al. 2006).

Es por eso que el algoritmo FAST fue modificado para que encuentre 9 o más pixeles consecutivos “diferentes” (en vez de “más brillantes” o “más oscuros”) del centro. Para que dos *pixeles* sean diferentes, la norma debe exceder un cierto umbral, como muestra la Ecuación 8. Este es el método “Color1”.

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} \text{similar:} & \text{norm}(\mathbf{I}_{p \rightarrow x} - \mathbf{I}_p) < T \\ \text{diferente:} & \text{norm}(\mathbf{I}_{p \rightarrow x} - \mathbf{I}_p) \geq T \end{cases} \quad (8)$$

El método “Color2”, consiste en aplicar el algoritmo FAST a cada canal, y sumar las respuestas.

3. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Se implementaron los detectores. Para la matriz de autocorrelación, los gradientes de primer orden se realizaron con una ventana de 5x5 con el algoritmo de Sobel, y se suavizaron con un filtro gaussiano con una desviación estándar de 2.5 en una ventana de 7x7, además, se usó: $k=0.04$. Los gradientes de segundo orden de la matriz hessiana también se realizaron en una ventana de 5x5 con Sobel, y se suavizaron con una ventana de 7x7 y una desviación estándar de 2.5. Las ventanas de DoG fueron de 7x7 y de 9x9, con desviaciones estándar de 1 y 3 respectivamente. Por último, el algoritmo de FAST se aplicó con un umbral de 10 (siendo el máximo valor de intensidad de 255) para la escala de grises, y 17.3 para el caso con color (es la norma de un vector de 10 por lado). Aunque las detecciones tienen un nivel de respuesta, y en la práctica se suelen usar sólo las de mayor nivel, en este trabajo se utilizaron todas.

En las siguientes figuras (de la 4 a la 7) se analizan los mapas de respuesta usando la Figura 1.a, la cual se utiliza porque sus puntos destacados (esquinas y similares) son visualmente distinguibles a simple vista. En todas ellas se nota que al usar la escala de grises disminuye la respuesta y precisión en la detección de algunas esquinas, específicamente: las que se forman entre colores con nivel de gris similar.

La Figura 4 muestra los mapas de respuesta y los máximos locales para la matriz de autocorrelación. En el mapa de respuesta, los colores oscuros corresponden a niveles bajos, y los claros a niveles altos. Se observa que al usar los métodos Color1 y Color2 los resultados son similares, obteniéndose los niveles más altos con el método Color2 (se nota en el fondo más oscuro).

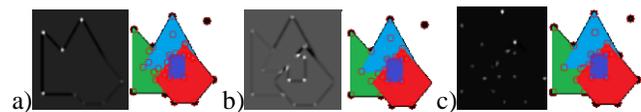


Figura 4. Mapas de respuesta y máximos locales para la matriz de autocorrelación: a) escala de grises; b) usando la norma del vector de gradientes (Color1); c) usando el máximo de las respuestas de los canales (Color2).

En la Figura 5 se puede apreciar que con la matriz hessiana se obtienen muchos máximos locales en los bordes, los cuales en la práctica se descartarían por tener poco “soporte”, es decir, porque la diferencia entre el máximo local y el máximo valor que lo rodea es muy pequeña.

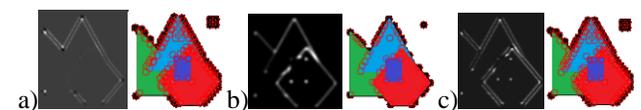


Figura 5. Mapas de respuesta y máximos locales para la matriz hessiana: a) escala de grises; b) norma del vector de gradientes (Color1); c) máximo de respuestas (Color2).

En la Figura 6 se observa mucha similitud al usar escala de grises o color con DoG, salvo en el nivel de respuesta. En la Figura 7 se observa que una esquina no se detecta en escala de grises y sí en color, lo cual se supone que es debido al umbral "T" elegido para FAST. También se nota una gran cantidad de detecciones en los bordes, esto se supone debido a la modificación del algoritmo, pero se espera que, en la práctica, al tener un bajo "soporte" debido a que los máximos locales en los bordes están rodeados por altos niveles de respuesta, las detecciones en los bordes sean descartadas.

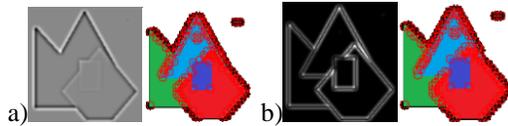


Figura 6. Mapas de respuesta y máximos locales para DoG: a) escala de grises; b) norma de diferencia de píxeles (Color1).

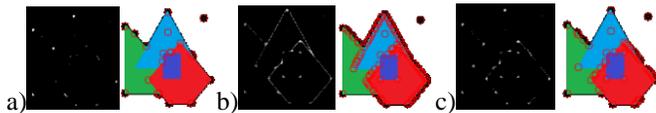


Figura 7. Mapas de respuesta y máximos locales para FAST: a) escala de grises; b) norma de diferencia de píxeles (Color1); c) máximo de las respuestas FAST (Color2).

Los resultados de las pruebas de repetibilidad se muestran en las tablas de la 1 a la 4. Se observa que en general la cantidad de detecciones y la repetibilidad son similares, con notables excepciones en "Color1" con la matriz Hessiana y con FAST.

Tabla 1. Cantidad de detecciones para la imagen "a" de la Figura 1.

| Detector | Gris | Color1 | Color2 |
|-----------------|------|--------|--------|
| Autocorrelación | 29 | 21 | 23 |
| Hessiana | 129 | 48 | 135 |
| DoG | 148 | 143 | - |
| FAST | 22 | 96 | 46 |

Tabla 2. Cantidad de detecciones para la imagen "b" de la Figura 1.

| Detector | Gris | Color1 | Color2 |
|-----------------|------|--------|--------|
| Autocorrelación | 847 | 939 | 862 |
| Hessiana | 2480 | 612 | 2539 |
| DoG | 3756 | 3105 | - |
| FAST | 2811 | 3193 | 3298 |

Tabla 3. Repetibilidad para la imagen "a" de la Figura 1.

| Detector | Gris | Color1 | Color2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Autocorrelación | 0.70977 | 0.777778 | 0.855072 |
| Hessiana | 0.661499 | 0.690549 | 0.691358 |
| DoG | 0.738126 | 0.792541 | - |
| FAST | 0.821372 | 0.785477 | 0.761488 |

Tabla 4. Repetibilidad para la imagen "b" de la Figura 1.

| Detector | Gris | Color1 | Color2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Autocorrelación | 0.658301 | 0.641671 | 0.666278 |
| Hessiana | 0.73499 | 0.640167 | 0.747193 |
| DoG | 0.85328 | 0.864908 | - |
| FAST | 0.845924 | 0.856853 | 0.868985 |

4. CONCLUSIONES

Al usar la información de color, los detectores de puntos destacados aumentan el nivel de respuesta en sus funciones de detección de puntos destacados, lo cual se traduce en algunas detecciones en color que no se detectan en escala de grises por tener un nivel de gris similar. Se espera que este mayor nivel de respuesta se traduzca en una mejor calificación de los puntos destacados detectados, cualidad que no se aprovecha en estas pruebas, ya que se analizan, contabilizan y muestran todas las detecciones.

Se observa que ambos métodos analizados para utilizar el color presentan resultados similares, aunque el método "Color1" requiere menos cálculos, y "Color2" es más parecido a realizar la detección para cada canal y unir los resultados, sólo se ahorra realizar la localización de los máximos locales para cada canal.

Se destaca que con la matriz de autocorrelación hay mejoras al usar cualquier opción de color, con la matriz Hessiana "Color1" mejora la calidad de las detecciones, y la detección de muchos puntos en los bordes con "Color1" de FAST indican que la modificación fue incorrecta.

5. REFERENCIAS

- Abdel-Hakim, A. E., & Farag, A. A. (2006). CSIFT: A SIFT descriptor with color invariant characteristics. In 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06) (Vol. 2, pp. 1978-1983). IEEE.
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-up robust features (SURF). Computer vision and image understanding, 110(3), 346-359.
- Gevers, T., Van De Weijer, J., & Stockman, H. (2006). Color Image Processing: Emerging Applications. CRC Press. Cap. 1.
- Harris, C., & Stephens, M. (1988, August). A combined corner and edge detector. In Alvey vision conference (Vol. 15, No. 50, pp. 10-5244).
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International journal of computer vision, 60(2), 91-110.
- Rosten, E., & Drummond, T. (2006). Machine learning for high-speed corner detection. Computer Vision-ECCV 2006, 430-443.
- Schmid, C., Mohr, R., & Bauckhage, C. (2000). Evaluation of interest point detectors. International Journal of computer vision, 37(2), 151-172.

Método de generación de resúmenes personalizados de textos en español

¹Uriel Ramírez, ²Yasmín Hernández, ³Alicia Martínez

¹ Tecnológico Nacional de México, CENIDET, Interior Internado Palmira, 62490 Cuernavaca, México (e-mail: uriel.ramirez18ce@cenidet.edu.mx)

² Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Tecnologías de la Información, Reforma 113, 62490 Cuernavaca, México (e-mail: yasmin.hernandez@ineel.mx)

³ Tecnológico Nacional de México, CENIDET, Interior Internado Palmira, 62490 Cuernavaca, México (e-mail: amartinez@cenidet.edu.mx)

Resumen. La información en formatos electrónicos ha crecido considerablemente en las últimas décadas, por lo que se ha hecho necesario contar con métodos para procesar y entender dicha información, lo que ha derivado en un gran avance en las tecnologías para el procesamiento del lenguaje natural. La generación automática de resúmenes es una de las aplicaciones con mayor impacto, debido a la gran cantidad de información disponible y a la necesidad de entenderla en un menor tiempo. Adicionalmente, si el resumen considera las necesidades particulares de los usuarios, el impacto crece. En este artículo se propone un método para la generación automática de resúmenes personalizados en español. El modelo considera las necesidades particulares de los lectores, con base en la teoría de estilos de aprendizaje. El método utiliza una representación semántica completa del texto por medio de estructuras de grafos conceptuales.

Palabras clave: resumen automático, documentos múltiples, procesamiento de lenguaje natural.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances en las tecnologías de la información han generado el crecimiento exponencial de textos electrónicos. Estudios previos indican que el exceso de información puede causar ineficiencia en el trabajo, además de ansiedad y estrés (Klingberg, 2009). Por lo tanto, en muchos dominios y aplicaciones existe la necesidad de desarrollar herramientas que resuman la información con diferentes propósitos.

La generación automática de resúmenes de texto consiste en tomar un texto y condensarlo de manera sensible a las necesidades del lector (Steinberger y J. Ježek, 2009). Por lo tanto, un resumen útil para un lector será aquel que tenga en cuenta las características particulares de los lectores, tales como: conocimiento, intereses, edad, estilo de aprendizaje, entre otras características. Las investigaciones en el área de generación de resúmenes automáticos de texto comenzaron hace más de cinco décadas con el trabajo de Edmundson (1969).

A partir de entonces, se han propuesto varias teorías en lingüística e inteligencia artificial. Tales

como, técnicas superficiales (Ulrich *et al.*, 2009) (Wan y McKeown, 2004), técnicas basadas en grafos (Brin y Page, 2012, Mittal *et al.*, 2014), técnicas de reducción algebraica (Vicente y Lloret, 2015), estadísticas (Aries, Zegour y Hidouci, 2015), entre otras. Sin embargo, estas investigaciones todavía están en desarrollo.

Por otro lado, la teoría de los estilos de aprendizaje establece que cada individuo tiene una forma particular de aprender, que incluye estrategias y preferencias. Esta teoría enfatiza que los individuos perciben y procesan la información de diferentes maneras. Actualmente, se han propuesto varios modelos de estilos de aprendizaje, por ejemplo, el trabajo de Graf y Kinshuk (2009), y el de Ferder y Silverman (1988).

En este trabajo de investigación, se propone un modelo para la generación de resúmenes personalizados en español. La personalización de los resúmenes se lleva a cabo con base en un modelo de estudiante, que incluye el estilo de aprendizaje de los usuarios, entre otras características. En trabajos previos se modela el afecto y los estilos de aprendizaje de los estudiantes para proporcionarles una instrucción más adecuada

(Hernández *et al.*, 2016) (Hernández, Arroyo-Figueroa y Sucar, 2015).

Para evaluar los resultados se utiliza la herramienta ROUGE (Lin, 2004), que involucra el uso de resúmenes modelo o de referencia (escritos por personas). ROUGE es un sistema de evaluación de resúmenes que se basa en la co-ocurrencia de *n*-gramas entre resúmenes candidatos (los que se quiere evaluar) y resúmenes modelo. Rouge mide los máximos, los mínimos y el valor medio (reportado en este artículo) de la intersección de los *n*-gramas en los resúmenes candidatos y de referencia.

2. ANTECEDENTES Y TRABAJO RELACIONADOS

2.1 Resumen automático de texto

La generación de resúmenes automáticos de textos es el proceso de extracción o recopilación de información importante del texto original y se muestra como resumen (Gaikwad y Mahender, 2016). Los resúmenes según su finalidad pueden clasificarse en: genéricos, específicos del dominio y basados en consultas. Por otra parte, los resúmenes según su salida pueden ser abstractivos o extractivos (Kumar *et al.*, 2016).

La generación automática de resúmenes puede limitarse a un único documento o a un conjunto de documentos. El resumen de propósito genérico resume todos los documentos independientemente de los temas o dominios (Kumar *et al.*, 2016). Si bien el resumen específico del dominio se centra en un dominio de interés. Por ejemplo, política, finanzas, informática o noticias del tiempo. El resumen basado en consultas trata con la información que se solicita a los usuarios. En general, las consultas son oraciones en lenguaje natural o palabras clave relacionadas con un tema en particular (Vilca, 2017).

El estado del arte propone diversos métodos para el resumen automático de texto, tales como aprendizaje estadístico (Hyoungil Jeong, 2015), aprendizaje automático (Wong, Wu y Li, 2008; Fattah, 2014), conectividad del texto (Pal, Maiti y Saha, 2013; Atkinson y Munoz, 2013), grafos conceptuales (Miranda-Jiménez *et al.*, 2014) (Martínez-romo, Araujo y Fernández, 2016), reducción algebraica (Lee *et al.*, 2009), agrupación y modelos probabilísticos (Mei Chen, 2012; Nagesh y Murty, 2012) y métodos adaptados al lector (Kumar, Pingali y Varma, 2008; Díaz y Gervás, 2007).

2.2 Modelos de estilos de aprendizaje

Las teorías del aprendizaje describen cómo las personas aprenden conceptos y habilidades. Se han propuesto diversas teorías de aprendizaje, todas ellas enuncian puntos de vista diferentes y, a veces, opuestos. La teoría de los estilos de aprendizaje establece que los individuos tienen una forma particular de aprender que incluye estrategias y preferencias. Esta teoría destaca que los individuos perciben y procesan la información de diferentes maneras. En consecuencia, la teoría de los estilos de aprendizaje establece que el aprendizaje de los individuos tiene más que ver con un proceso que se centra en el estilo de aprendizaje que con la inteligencia de los individuos (M. V. González, 2011).

En la investigación sobre estilos de aprendizaje, Neil Fleming y Colleen Mills, crean el modelo VARK (Medina Velandia y Plazas-Gómez, 2018), el cual propone cuatro modalidades sensoriales: *Visual, Auditiva, Textual* y *Kinestésica*. De estos cuatro estilos para procesar la información, hay algunos seres humanos que los utilizan todos, pero la gran mayoría tiene un estilo más desarrollado. De esta manera, al recibir información orientada a su estilo de aprendizaje pueden mejorar su rendimiento y aprender más fácilmente.

En este sentido, el cuestionario VARK se ha utilizado como una herramienta de medición para identificar los diferentes tipos de estilos de aprendizaje en los estudiantes (Medina Velandia y Plazas-Gómez, 2018). El instrumento consta de 16 ítems de opción múltiple sobre las preferencias de las personas en capturar, procesar y entregar la información. Las respuestas se agregan y se obtiene la puntuación total para cada estilo.

3. MODELO PARA EL RESUMEN PERSONALIZADO

Actualmente, hay diferentes métodos para generar resúmenes, estos dependen del propósito del lector. La generación automática de resúmenes puede no tomar en cuenta al lector al que están destinados, sin embargo, esto puede resultar en una mala comprensión o en la pérdida del interés de los lectores. Por otro lado, los resúmenes pueden adaptarse a las peculiaridades del lector, tales como: conocimientos previos, áreas de interés, necesidades de información, estilos de aprendizaje, entre otras características, con el objeto de apoyar una mejor comprensión y también para cumplir con la información requerida. Sin embargo, la mayor parte del trabajo que se ha hecho gira en torno al

resumen genérico, ya que son más fáciles de realizar.

Nuestro trabajo previo está enfocado en el desarrollo de ambientes inteligentes de capacitación para la industria eléctrica, donde la instrucción se presenta de acuerdo con las necesidades particulares de los estudiantes (Hernández et al., 2016; Hernández, Arroyo-Figueroa and Sucar, 2015). En este sentido, se tiene un modelo del estudiante que representa el conocimiento previo, el estado afectivo, la personalidad y los estilos de aprendizaje de los estudiantes. En estos ambientes de capacitación, los estudiantes deben leer muchos manuales, documentos reglamentarios y documentos técnicos. Se ha notado que, en algunas situaciones específicas de capacitación, los estudiantes no quieren leer. Prefieren realizar las prácticas en forma de prueba y error. Por esta razón, pensamos que, si los estudiantes tienen un resumen personalizado, podrían comprender algunos aspectos que podrían ayudarles a seguir sus ejercicios y las lecciones.

En este artículo presenta una propuesta de generación de un modelo de resumen personalizado en el entorno de aprendizaje inteligente. El modelo generará resúmenes abstractivos, de documentos múltiples en español. La Fig. 1 muestra la arquitectura del ambiente de aprendizaje inteligente con el modelo para el resumen personalizado. En un nivel alto, el ambiente de aprendizaje inteligente consiste en un modelo del estudiante, un módulo tutor, un módulo experto y el conocimiento del dominio. Para generar los resúmenes personalizados, se integra el modelo de resumen de texto. El proceso de personalización se basa en el modelo del estudiante.

El modelo del estudiante se construye con base en la interacción del estudiante y su desempeño en las lecciones, prácticas y exámenes. El modelo del estudiante contiene la siguiente información: conocimientos previos, estado afectivo, personalidad, estilos de aprendizaje, edad y escolaridad. En un enfoque inicial, se genera un resumen adaptativo de acuerdo con su estilo de aprendizaje. Nuestra propuesta de estilos de aprendizaje se basa en el Modelo VARK (Medina Velandia and Plazas-Gómez, 2018).

El modelo de resumen también integra el desarrollo de recursos lingüísticos sobre el conocimiento sobre temas específicos.

La propuesta se aplicará en el dominio de escuelas de nivel medio superior (secundaria), ya que datos estadísticos del INEGI en el 2016, muestran que las personas de una edad entre 12-17 años son las que más visitan internet. Se utilizará la técnica basadas en grafos conceptuales (Miranda, Gelbukh y Sidorov, 2014) para representar oraciones, entidades y sus relaciones.

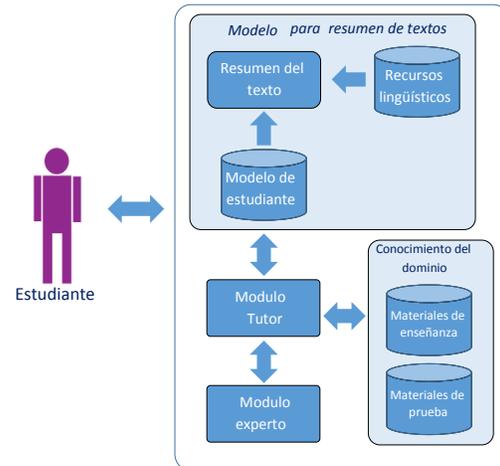


Fig. 1. Arquitectura del ambiente de aprendizaje inteligente con el modelo de resumen personalizado.

El método propuesto incluye cuatro etapas: i) Etapa de preprocesamiento, ii) Etapa de transformación, iii) Etapa de síntesis, y iv) Etapa de selección de oraciones. La Fig. 2 muestra el método para la generación de resúmenes.

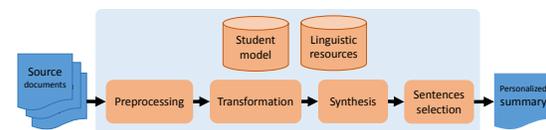


Fig. 2. Proceso de resumen.

i) Etapa de preprocesamiento: esta etapa de preprocesamiento tiene como objetivo analizar los documentos, e incluye tareas tales como: segmentación del texto, extracción de tokens, eliminación de palabras vacías, identificación de la raíz léxica de las palabras y análisis morfo-sintáctico.

La segmentación del texto consiste en fragmentar el texto en párrafos y oraciones. En la extracción de tokens, cada oración se descompone en palabras, números, signos de puntuación. Además, también es necesario un mecanismo de desambiguación para discernir entre diferentes significados. Por lo tanto, es necesario traducir el léxico del documento en conceptos de la base de conocimientos del

dominio. El algoritmo de desambiguación debe tener en cuenta el dominio del texto a resumir. El algoritmo de desambiguación analizará las oraciones de entrada; y, como resultado, se obtendrá una lista de conceptos o significados de la base de conocimiento.

ii) Las etapas de preprocesamiento y transformación se basan en el modelo propuesto por Miranda, Gelbukh y Sidorov (2014). Sin embargo, este modelo utiliza recursos lingüísticos en inglés, mientras que el modelo utilizará recursos lingüísticos en español y un modelo de usuario (modelo del estudiante). En esta etapa, la representación en forma de gráfico se construirá para cada oración del documento, capturando la estructura semántica y las relaciones entre términos.

iii) La etapa de síntesis se basa en un conjunto de operaciones en grafos conceptuales: generalización, unión o asociación, ponderación y poda (Miranda, Gelbukh y Sidorov, 2014). La operación de generalización combina dos grafos conceptuales según sus elementos comunes. Por ejemplo, los siguientes grafos pueden leerse como *G1: Peter compra un cocodrilo* y *G2: Mary compra un pájaro*. Se comparan los grafos conceptuales y, posteriormente, se determinan los conceptos comunes mínimos para unirlos. La jerarquía de *cocodrilo* y *ave*, “Animal” es el concepto mínimo común entre ambos conceptos; y “Persona” es el concepto menos común para *Pedro* y *María*. Así que *G3* es el grafo resultante después de combinar los dos gráficos. *G3* puede leerse como *Dos personas compran dos animales*. La unión es la operación que une dos conceptos relacionados de dos grafos conceptuales. Esta operación soporta y mejora los resultados del proceso de ponderación. La ponderación es la operación que filtra los nodos más importantes del gráfico. Para determinar la importancia de los nodos, se utiliza el algoritmo HITS (Kleinberg, 1999). HITS es un algoritmo iterativo que toma en cuenta el grado de entrada y el grado de salida del nodo para determinar su importancia. La poda es la operación que se aplica para reducir los gráficos. Esta operación tiene en cuenta los resultados de la ponderación y los patrones verbales para eliminar los nodos irrelevantes y la tasa de compresión o el umbral para establecer cuántos nodos deben incluirse en el resumen resultante.

iv) Etapa de selección de oraciones. Esta etapa tiene como objetivo seleccionar las oraciones que formarán parte del resumen. Nuestra hipótesis es que al considerar el modelo del estudiante será

posible crear un resumen personalizado. El resumen se construirá a partir del estilo de aprendizaje del estudiante. Posteriormente, las oraciones se seleccionan de acuerdo al orden de los documentos en que aparecen primero, y luego en el orden en que aparecen dentro del documento, para evitar inconsistencias. Como resultado, se resume la colección de documentos.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El crecimiento exponencial de los documentos digitales ha motivado el desarrollo de tecnologías como el procesamiento del lenguaje natural. Un campo de esta área es la generación automática de resúmenes, que es el proceso de extraer o recopilar información importante del texto original y mostrarlo como resumen. La mayoría de las investigaciones están interesadas en generar un resumen estándar donde no se consideran las necesidades particulares de los lectores.

En este artículo se propone un modelo de resumen personalizado según un modelo de estudiante. Esto debido a que el modelo pretende integrarse a un entorno de aprendizaje inteligente. Por el momento, la propuesta es personalizar resúmenes con base en la teoría de los estilos de aprendizaje. Sin embargo, queremos examinar otras formas de personalizar el resumen; Como, nivel de escolaridad, edad, entre otras características.

REFERENCIAS

- Aries, A., Zegour, D. E. and Hidouci, K. W. (2015) ‘AllSummarizer system at MultiLing 2015 : Multilingual single and multi-document summarization’, Proceedings of MultiLing 2015, 2015(September), pp. 237–244. Available at: <http://www.aclweb.org/anthology/W15-4634>.
- Atkinson, J. and Munoz, R. (2013) ‘Rhetorics-based multi-document summarization’, Expert Systems with Applications. Elsevier Ltd, 40(11), pp. 4346–4352. doi: 10.1016/j.eswa.2013.01.017.
- Brin, S. and Page, L. (2012) ‘Reprint of: The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine’, Computer Networks. Elsevier B.V., 56(18), pp. 3825–3833. doi: 10.1016/j.comnet.2012.10.007.
- C.-Y. Lin, “Rouge: A package for automatic evaluation of summaries,” Proc. Work. text Summ. branches out, no. 1, pp. 25–26, 2004.
- Díaz, A. and Gervás, P. (2007) ‘User-model based personalized summarization’, Information Processing and Management, 43(6), pp. 1715–1734. doi: 10.1016/j.ipm.2007.01.009.
- Edmundson, H. P. (1969) ‘New Methods in Automatic

Extracting’.

Fattah, M. A. (2014) ‘A hybrid machine learning model for multi-document summarization’, *Applied Intelligence*, 40(4), pp. 592–600. doi: 10.1007/s10489-013-0490-0.

Felder, R. and Silverman, L. (1988) ‘Learning and teaching styles in engineering education’, *Engineering education*, 78(June), pp. 674–681. doi: 10.1109/FIE.2008.4720326.

M. V. González. (2011) ‘Estilos de aprendizaje: su influencia para aprender a aprender’, *Revista Estilos de aprendizaje*, n. 7, Vol. 7.

Gaikwad, D. K. and Mahender, C. N. (2016) ‘A Review Paper on Text Summarization’, *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun.*, 5(3), pp. 154–160.

Graf, S. and Kinshuk (2009) ‘Advanced Adaptivity in Learning Management Systems by Considering Learning Styles’, *IEEE/WIC/ACM Int. Jt. Conf. Web Intell. Intell. Agent Technol.*, 3, pp. 235–238.

Hernández, Y. et al. (2016) ‘Designing empathetic animated agents for a b-learning training environment within the electrical domain’, *Spec. Issue Intell. Affect. Learn. Environ. New Trends Challenges Educ. Technol.*, 19(2).

Hernández, Y., Arroyo-Figueroa, G. and Sucar, L. E. (2015) ‘A Model of Affect and Learning for Intelligent Tutors’, *Univers. Comput. Sci.*, 21(7), pp. 912–934.

Klingberg, T. (2009) ‘Information Overload and the limits of working memory’, in. Stockholm, Sweden. Available at: http://www.rudycr.com/ebooks/information/OUP_The.Overflowing.Brain.Information.Overload.and.the.Limits.of.Working.Memory.Nov.2008.pdf.

Kumar, C., Pingali, P. and Varma, V. (2008) ‘Generating Personalized Summaries Using Publicly Available Web Documents’, *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, pp. 103–106.

Kumar, Y. J. et al. (2016) ‘A review on automatic text summarization approaches’, *J. Comput. Sci.*, 12(4), pp. 178–190.

Kleinberg, J. (1999). Authoritative sources in a hyperlinked environment. *Journal of the ACM*, 46(5), 604–632.

Lee, J. H. et al. (2009) ‘Automatic generic document summarization based on non-negative matrix factorization’, *Information Processing and Management. Elsevier Ltd*, 45(1), pp. 20–34. doi: 10.1016/j.ipm.2008.06.002.

Martínez-romo, J., Araujo, L. and Fernández, A. D. (2016) ‘SemGraph : Extracting Keyphrases Following a Novel Semantic Graph-Based Approach’, *J. Assoc. Inf.*

Sci. Technol., 67(1), pp. 71–82.

Medina Velandia, L. N. and Plazas-Gómez, L. A. (2018) ‘Agentes inteligente y modelo VARK, proponen estrategias de aprendizaje según la manera en que asimila un individuo’, *Revista Educación en Ingeniería*, 13(26), pp. 11–19. Available at: <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/ed/article/view/878/355>.

Mei, J. P. and Chen, L. (2012) ‘SumCR: A new subtopic-based extractive approach for text summarization’, *Knowledge and Information Systems*, 31(3), pp. 527–545. doi: 10.1007/s10115-011-0437-x.

Miranda-Jiménez, S. et al. (2014) ‘Conceptual Graphs as Framework for Summarizing Short Texts’, *International Journal of Conceptual Structures and Smart Applications*, 2(2), pp. 55–75. doi: 10.4018/IJCSSA.2014070104.

Miranda, S., Gelbukh, A. and Sidorov, G. (2014) ‘Generación de resúmenes por medio de síntesis de grafos conceptuales’, *Revista signos*, 47(86), pp. 463–485. doi: 10.4067/S0718-09342014000300006.

Mittal, N. et al. (2014) ‘Semantic Enhanced Text Summarization’, 01(01), pp. 26–29.

Nagesh, K. and Murty, M. N. (2012) ‘Obtaining single document summaries using latent dirichlet allocation’, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7666 LNCS(PART 4), pp. 66–74. doi: 10.1007/978-3-642-34478-7_9.

Pal, A. R., Maiti, P. K. and Saha, D. (2013) ‘An approach to automatic text summarization using simplified lsk algorithm and wordnet’, *International Journal of Control Theory and Computer Modeling (IJCTCM)*, 3(4), pp. 15–23. doi: 10.5121/ijctcm.2013.3502.

Hyoungil Jeong (2015) ‘Efficient keyword extraction and text summarization for reading articles on smartphone’ Department of Computer Science and Engineering, Sogang University, Seoul, Republic of Korea, 34, pp. 779–794.

Steinberger and J. Ježek, . (2009) ‘Evaluation measures for text summarization’, *Comput. Informatics*, 28(2), pp. 251–275.

Ulrich, J. et al. (2009) ‘Regression-Based Summarization of Email Conversations’, *Intelligence*, pp. 334–337.

Vicente, M. and Lloret, E. (2015) ‘The University of Alicante at MultiLing 2015: approach, results and further insights’, (September), pp. 250–259.

Vilca, G. C. V. (2017) Generación automática de resúmenes abstractivos mono documento utilizando análisis semántico y del discurso. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Wan, S. and McKeown, K. (2004) 'Generating overview summaries of ongoing email thread discussions', Proceedings of the 20th international conference on Computational Linguistics - COLING '04, p. 549-es. doi: 10.3115/1220355.1220434.

Wong, K-F., Wu, M. and Li, W. (2008) 'Extractive Summarization Using Supervised and Semi-supervised Learning', Proceedings of the 22nd International Conference on Computational Linguistics-Volume 1. Association for Computational Linguistics, 2008., (August), pp. 985-992.

Modelado de Sistemas no Lineales con Acoplamiento de Incertidumbre mediante Redes Neuronales Dinámicas

L. B. Govea Moreno * J. Reyes Reyes **

* *Tecnológico Nacional de México/CENIDET, Cuernavaca, Morelos, 62490, MEX (e-mail: lis@cenidet.edu.mx).*

** *(e-mail: juanreyesreyes@cenidet.edu.mx)*

Abstract: En este trabajo se propone el modelado de sistemas no lineales inciertos con red neuronal dinámica mediante el acoplamiento de la incertidumbre. Con una base fundamentada en el conocimiento del dominio y rango de la incertidumbre, se formula un teorema proponiendo una red neuronal dinámica para la aproximación de esta, y se incluye una matriz de acoplamiento que una vez seleccionada brinda información sobre la incertidumbre del modelo con lo que se garantiza que la red neuronal proporcione una mejor estimación.

Keywords: Modeling, nonlinear systems, uncertain, dynamic neural network, coupling.

1. INTRODUCCIÓN

Las imprecisiones en los modelos, los parámetros o variables, son inevitables en cualquier aplicación práctica, pueden causar efectos adversos en los sistemas de control, degradando su comportamiento y provocando la inestabilidad del sistema. Tener conocimiento total del modelo es complejo, por lo que siempre existe cierto grado de incertidumbre; la misma surge por errores en el modelado, Márquez (2016), Reyes (2002), Rojas (1994) y Rubio (2007), tanto en los parámetros como en las funciones no lineales que aparecen en las ecuaciones diferenciales. La evolución del control se ha visto motivada por varios aspectos: la necesidad de tratar con sistemas complejos, la necesidad de cumplir con la demanda de nuevos modelos de control y la necesidad de obtener esos modelos con el menor conocimiento de la planta y el medio; es decir; la necesidad de controlar bajo incertidumbre.

Las redes neuronales (RN) con su propiedad de aproximación y capacidad de aprendizaje, han demostrado ser una gran herramienta para identificar y controlar los sistemas dinámicos complejos no lineales con parámetros o estructuras inciertas, Poznyak (2008) y Sato (2010). El aprovechamiento de las redes neuronales artificiales (RNA) para aproximar funciones no lineales, permite sustituir las incertidumbres del sistema, por modelos especiales adaptables. El uso de las Redes Neuronales Dinámicas (RND) demuestra que poseen mejor desempeño en la identificación y la aproximación de funciones. A su vez, varias arquitecturas de RN's se han propuesto para el control de sistemas no lineales inciertos, las cuales han sido eficientes para hacer frente a una amplia clase de sistemas no lineales que no cuentan con un modelo claramente definido.

Desde el punto de vista de la investigación existe una gran variedad de trabajos donde se analizan los sistemas no lineales con incertidumbre a partir de RNA's, destacándose los distintos tipos de arquitectura y los algoritmos de aprendizaje utilizados; por ejemplo; en , G. Sun (2012) y T. Zhang (2013) se proponen esquemas de control adaptable para dichos sistemas. Además, en Liu (2008) se sugiere un diseño de control de H_∞ con retroalimentación robusta de salida basado en RN's para el control de una clase de sistemas no lineales con incertidumbres, y en Chen (2009) se propone una estructura dinámica de RN difusa para un sistema no lineal incierto. Por otra parte, en Márquez (2016), se presenta el diseño de una metodología de identificación en línea mediante RND's para un sistema dinámico no lineal afín con la entrada cuya incertidumbre es parcial en el término de retroalimentación. En varias referencias, se pudo notar, que las RND's las utilizan como controlador, donde el término incierto es asumido pero no estimado por la misma, sólo en algunas de ellas, se propone una estructura para la incertidumbre.

Por lo anterior, se puede observar que existe una oportunidad al estimar la parte de la incertidumbre para extraer mayor información de dichos sistemas. Específicamente en este trabajo se realiza una propuesta de modelado para sistemas no lineales inciertos afines con la entrada para el acoplamiento de la incertidumbre y basándose en el conocimiento de su dominio y rango, donde se diseña una red neuronal dinámica (RND) para la estimación de la incertidumbre y cuenta con un algoritmo de aprendizaje dependiente de la información proporcionada por una matriz de acoplamiento que se definirá posteriormente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Aproximación neuronal dinámica de un sistema no lineal afín con la entrada con incertidumbre en la retroalimentación

En Márquez (2016), se realizó una metodología para obtener un modelo neuronal dinámico que aproxima a sistemas no lineales afines con la entrada que presentan incertidumbre. Considerando el sistema no lineal:

$$\sum_{SNL} : \begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)u \\ y = x \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x) = f_0(x) + \Delta_f(x) \quad (2)$$

$$\|\Delta_f(x)\| \leq \delta_f(x) \quad (3)$$

El modelo de incertidumbre estará dado por la suma de una parte conocida $f_0(x)$ más una parte desconocida $\Delta_f(x)$, según (2); además, se debe cumplir que la incertidumbre $\Delta_f(x)$ está acotada, y sólo se conoce que su norma euclídeana es menor o igual que un valor $\delta_f(x)$; es decir; $\|\Delta_f(x)\|$ tiene como cota superior a $\delta_f(x)$, (3).

La RND para estimar la incertidumbre, propone el término neuronal $W\varphi(\hat{x}) + \psi$ para realizar la aproximación de la incertidumbre. El término $L(x - \hat{x})$ se incluye para que la dinámica del error se modifique seleccionando L , y \hat{W} es el algoritmo de aprendizaje de la red.

$$\sum_{RND} : \begin{cases} \dot{\hat{x}} = f_0(x) + W\varphi(\hat{x}) + \psi + g(x)u + L(x - \hat{x}) \\ \hat{W} = e\varphi^T(\hat{x}) \\ \hat{y} = \hat{x} \end{cases} \quad (4)$$

3. RESULTADOS PRINCIPALES

Cuando se desea aproximar incertidumbre, y se está modelando con RN's, es común que quien realiza la aproximación o propone el modelo neuronal no cuenta con un conocimiento del modelo, así sea, de su estructura y dependencias, de modo que existirá incertidumbre total.

Si se considera un sistema con la estructura de (1), y se incluye el modelo de (2), se tiene la representación (5).

$$\sum_{SNL} : \begin{cases} \dot{x} = f_0(x) + \Delta_f(x) + g(x)u \\ y = x \end{cases} \quad (5)$$

Considerando lo anterior, a continuación se presentan 3 casos que muestran diferentes propuestas de cómo modelar la incertidumbre considerando varias situaciones.

3.1 Caso I

Existirá una $\Delta_f(x)$ conformada por $\Delta_{f1}(x)$, $\Delta_{f2}(x)$, ..., $\Delta_{fn}(x)$, como se muestra en (6), que dependen de forma implícita de los estados y no se conoce su dominio o las dependencias que tienen cada una de las entradas de la incertidumbre.

$$\Delta_f(x) = \begin{bmatrix} \Delta_{f1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \Delta_{f2}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ \Delta_{fn}(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Considerando lo expuesto, es válido estimar la incertidumbre del sistema como se muestra en la ecuación:

$$\Delta_f(x) \cong W\varphi(\hat{x}) \quad (7)$$

En este caso se realiza la estimación según una combinación lineal entre los pesos sinápticos de la red y la función de activación.

3.2 Caso II

Si se tiene conocimiento leve de cómo se modela la incertidumbre, alguna de sus dependencias, a qué dominio afecta la misma y que depende implícitamente de los estados, se propone (8).

$$\Delta_f(x) = \begin{bmatrix} \Delta_{f1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\Delta_f(x) = D\Delta_{f1}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Entonces, se sugiere la inclusión de una matriz de acoplamiento, D , que será un vector columna, $D \in \mathfrak{R}^{n \times m}$, con el fin de que la aproximación neuronal de la incertidumbre quede desacoplada del resto de las ecuaciones dinámicas pero a la vez se enriquezca de ellas.

$$D = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T \quad (9)$$

Al incluir dicha matriz, se modifica a la componente neuronal, $W\varphi(\hat{x})$, usada para la aproximación de $\Delta_f(x)$, de forma tal dicho término se transforme en un escalar con dependencias respecto a los estados, como en (10).

$$\begin{aligned} \Delta_f(x) &\cong DW\varphi(\hat{x}) \in \mathfrak{R}^n \\ W\varphi(\hat{x}) &\in \mathfrak{R} \\ \varphi &: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R} \end{aligned} \quad (10)$$

3.3 Caso III

En el siguiente caso, se evaluará el acoplamiento partiendo de que la incertidumbre depende de un determinado estado del sistema, como se muestra en la expresión.

$$\Delta_f(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta_{f2}(x_1) \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = D\Delta_{f2}(x_1) \quad (11)$$

De (11), la información obtenida es que la incertidumbre afecta a la tasa de cambio del segundo estado del modelo y depende sólo del primer estado del mismo, por tanto la matriz de acoplamiento propuesta es $D \in \mathfrak{R}^{n \times m}$, para

lograr el acoplamiento de la aproximación neuronal de la incertidumbre con el resto de las ecuaciones dinámicas.

$$D = [0 \quad 1 \quad \dots \quad 0]^T \quad (12)$$

La aproximación de la incertidumbre está dada por (13), y $\Delta_f(x)$ al depender de un solo estado, proporciona la ventaja de que la función de activación, $\varphi(\hat{x})$, también se podrá considerar que depende del mismo estado.

$$\begin{aligned} \Delta_f(x) &\cong DW\varphi(\hat{x}_1) \in \mathfrak{R}^n \\ W\varphi(\hat{x}_1) &\in \mathfrak{R} \\ \varphi : \mathfrak{R} &\rightarrow \mathfrak{R} \end{aligned} \quad (13)$$

Por todo lo anterior, para estimar la incertidumbre con una RND, se incluye la matriz de acoplamiento D con el propósito de agregar información acerca de:

- Se conoce el dominio.
- Se conoce a qué ecuación dinámica del modelo afecta.

Del análisis realizado, la RND propuesta para la aproximación tiene la siguiente estructura.

$$\sum_{RND_m} : \begin{cases} \dot{\hat{x}} = f_0(x) + DW\varphi(\hat{x}) + \psi + g(x)u + L(x - \hat{x}) \\ \dot{W} = D^T e \varphi^T(\hat{x}) \\ \hat{y} = \hat{x} \end{cases} \quad (14)$$

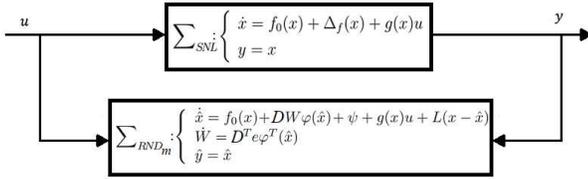


Fig. 1. Estructura propuesta de la red neuronal propuesta.

De la RN propuesta, se formula el Teorema 3.1.

Teorema 3.1. Considere un sistema de la forma (5), el cual es identificado por una red neuronal, (14), que incluye en su componente neuronal una matriz de acoplamiento, $D \in \mathfrak{R}^{n \times m}$, y a su vez la expresión (3), se satisface, si se selecciona al algoritmo de aprendizaje de la red neuronal \dot{W} como

$$\dot{W} = D^T e \varphi^T(\hat{x}) \quad (15)$$

Si el umbral, ψ , también se elige, entonces

$$\psi = \text{sign}(e) \delta_f(x) \quad (16)$$

Donde $\text{sign}(e)$ es la función signo del error de identificación y $\delta_f(x)$ es la cota superior de la incertidumbre; además, se asegura que la matriz de ganancias L sea simétrica y definida positiva; es decir;

$$L = L^T > 0 \quad (17)$$

Demostración: Realizando un análisis estilo Lyapunov, se selecciona

$$V(e, W) = \frac{1}{2} e^T e + \frac{1}{2} \text{tr}\{W W^T\} \quad (18)$$

Su derivada con respecto al tiempo es

$$\dot{V}(e, W) = e^T \dot{e} + \text{tr}\{W \dot{W}^T\} \quad (19)$$

Con un error de identificación

$$e = x - \hat{x} \quad (20)$$

Y su derivada

$$\dot{e} = \dot{x} - \dot{\hat{x}} \quad (21)$$

Sustituyendo (5) y (14), en (21), se tiene

$$\dot{e} = \Delta_f(x) - DW\varphi(\hat{x}) - \psi - Le \quad (22)$$

Sustituyendo (22) en (19)

$$\dot{V}(e, W) = e^T \Delta_f(x) - e^T DW\varphi(\hat{x}) - e^T \psi - e^T Le + \text{tr}\{W \dot{W}^T\} \quad (23)$$

Por propiedades de la traza

$$\begin{aligned} -e^T DW\varphi(\hat{x}) + \text{tr}\{W \dot{W}^T\} &= -\text{tr}\{W\varphi(\hat{x})e^T D\} + \text{tr}\{W \dot{W}^T\} \\ &= \text{tr}\{W [-\varphi(\hat{x})e^T D + \dot{W}^T]\} \end{aligned} \quad (24)$$

Haciendo manipulaciones algebraicas

$$\begin{aligned} \dot{V}(e, W) &= e^T \Delta_f(x) - e^T \psi - e^T Le \\ &\quad + \text{tr}\{W [-\varphi(\hat{x})e^T D + \dot{W}^T]\} \end{aligned} \quad (25)$$

Se selecciona como algoritmo de aprendizaje a

$$\dot{W}^T = \varphi(\hat{x})e^T D \quad (26)$$

Sustituyendo (26) en (25)

$$\dot{V}(e, W) = e^T \Delta_f(x) - e^T \psi - e^T Le \quad (27)$$

Aplicando propiedad de la norma a $e^T \Delta_f(x)$

$$\begin{aligned} e^T \Delta_f(x) &\leq \|e\|_1 \|\Delta_f(x)\| \\ e^T \Delta_f(x) &\leq e^T \text{sign}(e) \|\Delta_f(x)\| \end{aligned} \quad (28)$$

Sustituyendo la cota superior de (28) en (27) se obtiene

$$\dot{V}(e, W) \leq e^T [\text{sign}(e) \|\Delta_f(x)\| - \psi] - e^T Le \quad (29)$$

Como la incertidumbre del sistema (5) se supone acotada según (3) entonces

$$\dot{V}(e, W) \leq e^T [\text{sign}(e) \delta_f(x) - \psi] - e^T Le \quad (30)$$

Si se selecciona $\psi = \text{sign}(e) \delta_f(x)$ se tendrá

$$\dot{V}(e, W) \leq -e^T Le \quad (31)$$

Se debe asegurar que $L = L^T > 0$, con lo que se garantizará que $\dot{V}(e, W)$ sea definida negativa

$$\dot{V}(e, W) \leq 0 \quad (32)$$

Se garantiza un error de identificación estable y acotado

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| < 0. \quad (33)$$

4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

4.1 Simulación 1: Sistema masa-resorte-amortiguador

Ejemplo 1a:

Considerando al sistema no lineal masa-resorte-amortiguador con la siguiente representación en espacio de estado.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -\frac{k}{m}x_1 - \frac{ka^2}{m}x_1^3 - \frac{c}{m}x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{A_m}{m}\cos(\omega t) \end{bmatrix} \quad (34)$$

Donde, x_1 es el desplazamiento del carro, x_2 su velocidad y el término incierto es la fuerza de recuperación del resorte $-\frac{ka^2}{m}x_1^3$.

Esta simulación tiene como objetivos:

- (1) Analizar las consecuencias de incertidumbre estructural total en el sistema; es decir; cuando la incertidumbre es estimada por una neurona (Caso I).
- (2) Estimar la fuerza de recuperación del resorte.

Las simulaciones serán realizadas siguiendo los datos que se muestran en la tabla.

Table 1. Datos de simulación

| Datos | Valor | Descripción |
|----------|-----------------------|---|
| m | 0.5 kg | Masa |
| k | 1 N/m | Constante elástica |
| c | 0.3 Ns/m | Coefficiente de amortiguamiento |
| a | 0.8 | Parámetro que indica el tipo de resorte |
| A_m | 0.65 | Amplitud |
| ω | 1.2 rad/s | Frecuencia angular |
| μ_k | 0.15 | Coefficiente de fricción cinética |
| g | 9.81 m/s ² | Aceleración de la gravedad |

La estructura de la RND toma la forma que sigue.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= \begin{bmatrix} x_2 \\ -\frac{k}{m}x_1 - \frac{c}{m}x_2 \end{bmatrix} + W\varphi(\hat{x}) + \text{sign}(e)\mu_k mgx_1^3 \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{A_m}{m}\cos(\omega t) \end{bmatrix} + L(y - \hat{y}) \end{aligned} \quad (35)$$

$$\dot{W}_q = e\varphi^T(\hat{x})$$

La función de activación es:

$$\varphi(\hat{x}) = [\hat{x}_1^3 \ \hat{x}_2^3]^T \quad (36)$$

En (37) existe incertidumbre estructural total siendo el lado izquierdo desconocido completamente, por tanto, se utiliza todo el estado para aproximar como en el Caso I.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{ka^2}{m}x_1^3 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} w_{p11}\hat{x}_1^3 + w_{p12}\hat{x}_2^3 \\ w_{p21}\hat{x}_1^3 + w_{p22}\hat{x}_2^3 \end{bmatrix} \quad (37)$$

En la figura, se representan los pesos sinápticos, que podrían considerarse como pesos que antagonizan, son marginalmente estables y crecen invariablemente.

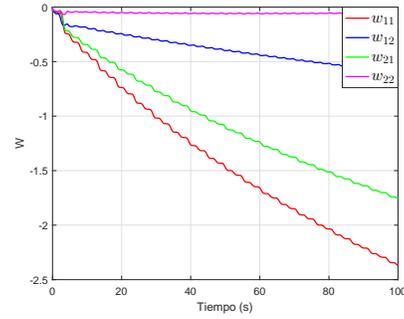


Fig. 2. Pesos sinápticos de la RND.

La aproximación obtenida por la RN es la mostrada en la Figura 3.

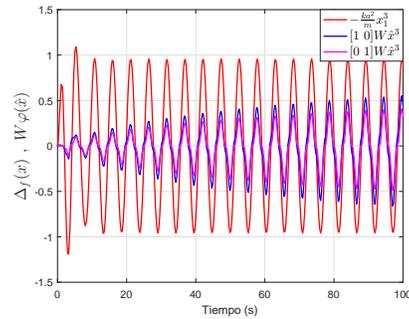


Fig. 3. Estimación de la incertidumbre.

Se concluye que por la existencia de una combinación lineal entre los pesos sinápticos y las funciones de activación, la primera componente de $W\varphi(\hat{x})$ tratará de obtener un 0 lo que implica gran costo computacional; mientras que su segunda componente intenta aproximarse al perfil propuesto pero no presenta buena convergencia con relación al perfil propuesto para la fuerza de recuperación del resorte.

Ejemplo 1b:

La simulación tiene como objetivos:

- (1) Realizar una comparación entre Ejemplo 1a y el 1b, analizando las consecuencias de incluir la matriz D para el caso del Ejemplo 1b.
- (2) Estimar el perfil de la fuerza de recuperación del resorte, considerando que la misma será estimada por el producto de una matriz D y la componente neuronal de la red.

La estructura de la RND utilizada es:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= \begin{bmatrix} x_2 \\ -\frac{k}{m}x_1 - \frac{c}{m}x_2 \end{bmatrix} + DW_q\varphi(\hat{x}_1) + \text{sign}(e)\mu_k mgx_1^3 \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{A_m}{m}\cos(\omega t) \end{bmatrix} + L(y - \hat{y}) \end{aligned} \quad (38)$$

$$\dot{W}_q = D^T e\varphi^T(\hat{x}_1)$$

La función de activación es:

$$\varphi(\hat{x}) = \hat{x}_1^3 \quad (39)$$

Se propone para estimar a $\Delta_f(x)$ lo siguiente:

$$\Delta_f(x) \cong DW_q \varphi(\hat{x}_1); W_q \in \mathfrak{R}, \varphi(\hat{x}_1) \in \mathfrak{R}$$

$$\Delta_f(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{ka^2}{m}x_1^3 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} W_q \hat{x}_1^3 \quad (40)$$

Se propone una $D \in \mathfrak{R}^{n \times m}$, que contribuye a la tasa de cambio o a la aproximación de la dinámica de x_1 .

En la siguiente figura, se muestra el peso sináptico, W_q , se nota que este tiene un comportamiento convergente.

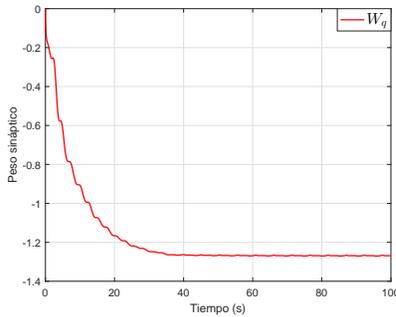


Fig. 4. Peso sináptico de la RND.

La aproximación obtenida por la RN es la mostrada en la Figura 5.

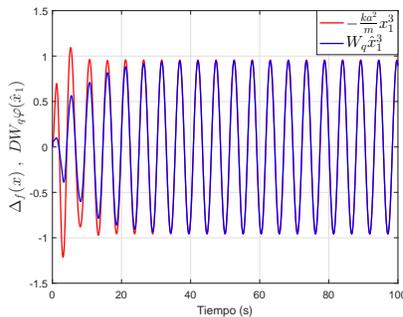


Fig. 5. Estimación de la incertidumbre.

En comparación con el ejemplo anterior, se logra buena estimación de la incertidumbre, terminada la etapa de entrenamiento de la red, convergiendo al perfil propuesto.

5. CONCLUSIONES

Se formuló un teorema para realizar la estimación de la incertidumbre del sistema y donde se presentan las condiciones necesarias para acotar el error de identificación y hacerlo estable, obteniéndose un nuevo algoritmo de aprendizaje, \hat{W} , y proponiendo una matriz

de acoplamiento, D , que aporta información a la incertidumbre sobre las dependencias que existan y ecuaciones dinámicas a las que podría afectar dentro de modelo. En simulación, se realizó la estimación del término incierto correspondiente a la fuerza de recuperación del resorte, en un sistema masa-resorte-amortiguador. Comparando lo obtenido, en el Ejemplo 1a con incertidumbre total del modelo, no es recomendable estimarla con estados de los que no depende porque la red utilizará los recursos que presente causando que no termine su aprendizaje y el gasto computacional será mayor. Por otra parte, en el Ejemplo 1b, se estimó teniendo incertidumbre parcial, mostrándose los efectos de tener conocimiento leve de esta con la inclusión de la matriz D , y concluyendo de la comparación de ambos ejemplos, que la estimación realizada por la RND proporcionó mejores resultados en el segundo ejemplo; es decir, al considerar la matriz de desacoplamiento en la estimación.

REFERENCES

- Chen, C.S. (2009). Dynamic structure adaptive neural fuzzy control for mimo uncertain nonlinear systems. *Information Sciences*, 179(15), 2676–2688.
- G. Sun, D. Wang, Z.P.H.W.N.W.W.L. (2012). Robust adaptive neural network control for strict-feedback nonlinear systems with uncertainties. *IEEE Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 13281333.
- Liu, M. (2008). Robust h_∞ control for uncertain delayed nonlinear systems based on standard neural network models. *Neurocomputing*, 71(16), 34693492.
- Márquez, C.O. (2016). *Neuro-Identificación de sistemas dinámicos no lineales afines con la entrada con incertidumbre en la retroalimentación*. Master's thesis, Departamento de Electrónica, CENIDET.
- Poznyak, A. (2008). *Advanced Mathematical Tools for Automatic Control Engineers. Volume 1: Deterministic Techniques*. Elsevier.
- Reyes, J. (2002). *Pasividad robusta de sistemas no lineales vía redes neuronales dinámicas*. Ph.D. thesis, Departamento de Control Automático, CINVESTAV-IPN.
- Rojas, J.A. (1994). *Análisis de estabilidad de sistemas lineales en variables de estado con incertidumbre paramétrica*. Ph.D. thesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL.
- Rubio, J. (2007). *Modelado y control para una clase de sistemas no lineales desconocidos en tiempo discreto*. Ph.D. thesis, Departamento de Control Automático, CINVESTAV-IPN.
- Sato, T. (2010). Sliding mode control with proportional integral compensation and application to an inverted pendulum system. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 6(2), 519–528.
- T. Zhang, X. Shi, Q.Z.Y.Y. (2013). Adaptive neural tracking control of pure-feedback nonlinear systems with unknown gain signs and unmodeled dynamics. *Neurocomputing*, 121, 290–297.

Diseño y Construcción de una Incubadora Automática de Huevos

A.R. Bautista-Pérez, I. Hernández-Pérez, K.M. Aguilar-Castro, I.Y. Pérez-Olán, L.E. Ángeles-Montero, J.C. Hernández-Méndez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA-UJAT), Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km. 1, Cunduacán, Tabasco, CP 86690, México (e-mail: ivan.hernandezp@ujat.mx)

Resumen: La incubación artificial se refiere a la utilización de máquinas que brindan un medio ambiente adecuado y controlado para la eclosión de los huevos de ave. En este trabajo se diseñó un prototipo de incubadora de huevos utilizando una metodología de diseño estructurado, en donde cada sección fue diseñada de acuerdo a los requerimientos y parámetros necesarios durante el proceso de incubación de huevos. La incubadora de huevos construida permite introducir 12 huevos de gallina, los cuales son incubados de forma automática mediante un sistema de control conformado por un sistema de volteo con servomotor, una resistencia eléctrica de 30 W a 24 V y dos ventiladores de 3 W a 12 V. Se realizaron varias pruebas de funcionalidad al equipo de incubación hasta lograr los niveles de humedad relativa y temperatura adecuados para la incubación 37.0-38.0°C y 55-65% respectivamente. Por otra parte, se realizó una prueba experimental, donde se mantuvieron las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de los intervalos reportados como adecuados. Asimismo, se utilizó una cámara termográfica con la cual se pudo verificar que los valores de temperatura en el cascarón de los huevos alcanzaron valores dentro del rango adecuado reportado para el proceso de incubación. Para la prueba experimental realizada se obtuvo una eficiencia de 83%. Los resultados obtenidos indican que el prototipo de incubación es funcional y permite llevar a cabo de manera óptima el proceso de incubación de huevos.

Palabras claves: Incubación artificial, Sistema de volteo automático, Micro-controlador Arduino.

1. INTRODUCCION

El sector avícola juega un papel muy importante en la alimentación de los mexicanos, debido a que 6 de cada 10 personas incluyen en su dieta productos avícolas como huevo y carne (UNA, 2017). Estos productos son la proteína animal más accesible y versátil para la elaboración de muchos productos, ya que, generalmente la carne proveniente del pollo es más económica que la carne de res o cerdo (SIAP, 2014). En años anteriores, las importaciones de carne de pollo superaron a las exportaciones que México realizó durante el primer semestre del año. Para poder satisfacer la demanda nacional, se compraron 396 mil toneladas de pollo a otros países y solamente se exportaron 0.71 mil toneladas (González, 2016). A pesar del aumento de las importaciones, en la primera mitad del 2016 se compraron 4.8% más toneladas que en el periodo de 2015 (378 mil toneladas), de acuerdo a los datos proporcionados por el Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA) en su análisis sobre el déficit en la balanza comercial de pollo basado en cifras oficiales (González, 2016).

El sector avícola requiere del nacimiento de una enorme cantidad de aves para tener éxito en la producción de productos avícolas en periodos de tiempo relativamente cortos. Debido a esto, es necesario utilizar sistemas de incubación artificial para producir de manera eficiente aves que servirán para el consumo de carne y la producción de huevo. Con la implementación de estos sistemas de incubación artificial se obtienen grandes ventajas sobre la producción de aves de forma natural al

controlar de manera eficaz los valores de temperatura, humedad, ventilación y movimiento de los huevos generando con ello el ambiente adecuado para la eclosión de los polluelos o de cualquier otra ave que sirva para el mismo fin de producción y consumo de huevo y carne de aves del sector avícola.

El proceso de incubación es un proceso complejo donde se requiere un control adecuado de la temperatura, humedad relativa, flujo de aire y cantidad de movimiento de los huevos. De acuerdo a la literatura, la duración promedio para la eclosión de los huevos de gallina es de 21 días, la temperatura necesaria para su incubación oscila entre 37.4 y 37.8 °C, la humedad relativa debe estar entre 60 y 75%, y se debe mover los huevos 90° cada hora (Bamelis *et al.*, 2005; Bruzual *et al.*, 2000; Eibol y Brake, 2003; Eibol y Brake, 2006; Nakage *et al.*, 2003; Tona *et al.*, 2005).

En el mercado existe una gran variedad de equipos de incubación, sin embargo, el presente trabajo se enfocó en el diseño de un equipo de baja capacidad y además, se diseñó un sistema automático de volteo ya que los equipos que cuentan con este sistema resultan ser más costosos que aquellos que incluyen un sistema de volteo manual.

Debido a lo anterior, este trabajo plantea el desarrollo de una incubadora automática de 12 huevos, de bajo costo y de materiales durables. Además se pretende que la incubadora desarrollada pueda ser utilizada por cualquier persona que tenga conocimientos básicos sobre la avicultura.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño y construcción del prototipo de incubación artificial se dividió en tres secciones principales: cámara de incubación, la cámara de precalentamiento de aire y sistema de volteo con bandejas. A continuación se describe estas secciones.

2.1 Cámara de incubación

Para proporcionar un espacio para la incubación de huevos donde pueda minimizarse las pérdidas de calor hacia el exterior, se diseñó una cámara con doble pared separadas por un espacio de 5 cm de aire, el cual funciona como aislante térmico para lograr mantener condiciones controladas de temperatura y humedad. En el interior de esta cámara se encuentra un recipiente contenedor de agua para poder proporcionar la humedad necesaria para el proceso de incubación de huevos. El tamaño de la cámara se seleccionó considerando como parámetro crítico el tamaño de la bandeja que contendría una cantidad de 12 huevos. Las dimensiones de la cámara se distribuyen de la siguiente manera; la parte exterior de la cámara de incubación tiene dimensiones de 42x42x30 cm de largo, ancho y alto, respectivamente, mientras que la parte interior de la cámara tiene dimensiones de 36x36x30 cm en el mismo orden de dimensiones.

La cámara de incubación se construyó utilizando placa de acrílico de 6 mm de espesor unido con ángulos de acrílico de ½" (0.175 cm) mediante cloruro de metileno. En una de las paredes laterales, la cámara cuenta con un orificio de 0.44 cm de diámetro que permite la salida del aire y el CO₂ producido durante el proceso de incubación. La Fig. 1 muestra una fotografía de la cámara de incubación.

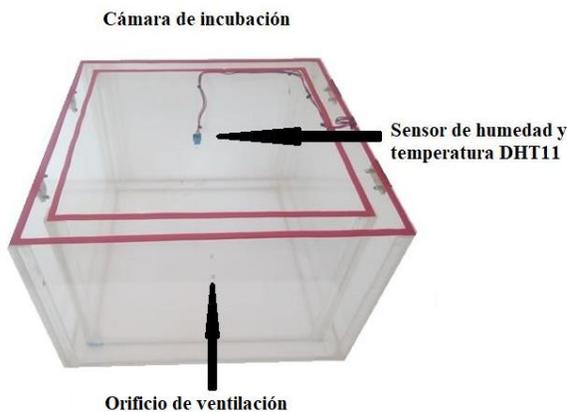


Fig. 1. Cámara de Incubación

2.2 Cámara de precalentamiento de aire

El objetivo de la cámara de precalentamiento es proporcionar una corriente de aire a una temperatura constante para la incubación de los huevos, así como, remover el CO₂ producido por los huevos en la cámara de incubación. La cámara de precalentamiento de aire está diseñada de forma similar a la cámara de incubación con una doble pared para reducir la pérdida de energía hacia los alrededores. La parte exterior de la cámara de precalentamiento cuenta con una dimensión de 42x42x9 cm de largo, ancho y alto respectivamente construida en triplay contrachapado de pino con un espesor de ½" (0.175 cm). La capa interior tiene dimensiones de 36x36x7.5 cm en el mismo orden de dimensiones y fue construida en acrílico de 6 mm de espesor. El calor requerido para el proceso de incubación es suministrado por una resistencia eléctrica de 30 W a 24 V con una longitud de 722 cm, distribuida uniformemente sobre en una placa de lámina galvanizada de 37x36 cm de largo y ancho que se encuentra en la parte inferior de la cámara de precalentamiento de aire. Entonces, el aire caliente se hace pasar de la cámara de calentamiento hacia la cámara de incubación a través de los 323 orificios distribuidos uniformemente en la placa de calentamiento mediante la acción de dos ventiladores de 3 W a 12V. Además, la cámara de precalentamiento cuenta con un orificio de 0.44 cm de diámetro ubicado en la pared superior sobre uno de los ventiladores, el cual permite la renovación de aire. La Fig. 2 presenta una fotografía de la cámara de precalentamiento de aire.

2.3 Sistema de volteo con bandejas

El objetivo del sistema de volteo con bandejas es albergar los huevos durante el proceso de incubación y proporcionarles movimiento y evitar la adherencia de embrión al cascarón. Para poder albergar correctamente los huevos en la cámara de incubación, se diseñó un sistema de volteo para proporcionar movimiento a tres bandejas contenedoras mediante un mecanismo biela-manivela conectado a un servomotor de 24 kgf/cm². Cada bandeja tiene un área de 24.5x6 cm de largo y ancho, y cuenta con cuatro orificios de 4 cm de diámetro para colocar los huevos. Las bandejas están colocadas sobre una base con dimensiones de 25 cm de largo, 32 cm de ancho y una altura de 5 cm. Asimismo, el servomotor está colocado sobre una base con un área de 7.5x3.5 cm² y una altura de 18.5 cm. En la Fig. 3 se presenta una fotografía del sistema de volteo construido. Las piezas del sistema de volteo se construyeron utilizando placa de acrílico de 6 mm y estas fueron unidas con cloruro de metileno y tornillos de ¼" x ½" (0.635cm x 1.27cm).

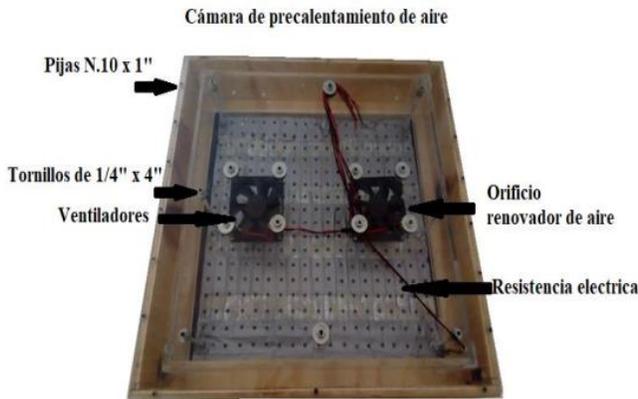


Fig. 2. Cámara de precalentamiento de aire

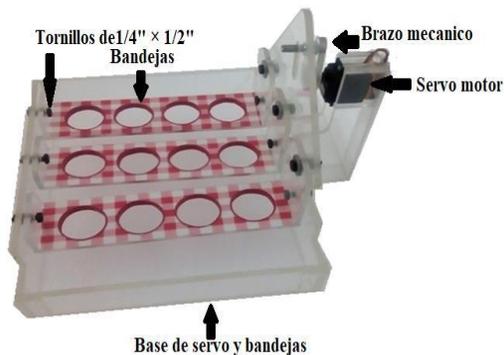


Fig. 3. Sistema de volteo con bandejas

2.3 Instrumentación del prototipo de incubación artificial

Para el control de las variables para la incubación de huevos, se utilizó la tarjeta Arduino Mega 2560 basada en el micro controlador Atmega2560 que cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida, una conexión USB, un conector de alimentación con una tensión de entrada recomendada de 7-12 V y un botón de reset. Para determinar la temperatura y la humedad relativa en la cámara de incubación se utilizó un sensor DHT11, éste puede determinar la humedad relativa en un rango de 20% al 80% con una precisión del 5%. Para poder mantener la temperatura adecuada a la cámara de incubación se utilizó la resistencia eléctrica IEC-TFCC-020 con una resistividad de 2.66 Ω/m de la marca omega. Para poder obtener la temperatura necesaria (entre 37.0 y 38.0 °C) dentro de la cámara de incubación fue necesario utilizar una longitud de 722 cm para consumir una potencia de 30 W a 24 V la cual suministra el calor requerido para el proceso de incubación de los huevos. El procedimiento de cálculo para determinar la potencia necesaria para mantener una temperatura constante en la cámara de incubación se puede

encontrar en Hernández-Méndez (2019). Para el sistema de ventilación se utilizaron dos ventiladores modelo Radox 510-740 de 3W a 12V. Para poder controlar el encendido de la resistencia y los ventiladores se construyó un circuito eléctrico de potencia con la ayuda de un transistor TIP122.

Para controlar de forma adecuada cada hora el movimiento de la bandeja de huevos, fue necesario utilizar el módulo RTC DS1307 el cual es capaz de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora de manera automática con una alimentación de 5V. Tomando como referencia la medición de tiempo de dicho circuito, se programó al servomotor de 24 kgf/cm² modelo Tower pro MG995 conectado a las bandejas para que su posición inicial fuese 90° y posteriormente pasara de 90° a 180° y de 180° a 0° y de 0° a su posición inicial ya que dicho servomotor solo cuenta con un rango de movimiento de 0° a 180°. En la Fig.4 se observa como se encuentra ensamblado el sistema de potencia de la incubadora

Se desarrolló un código de programación en la plataforma Arduino. Esta plataforma es un sistema de programación de los lenguajes C/C++, con plataformas electrónicas que utilizan micro-controladores para formar sistemas especializados en la automatización. El código desarrollado permite manipular el movimiento de los huevos, la temperatura dentro de la cámara de incubación, el encendido y apagado de los ventiladores.

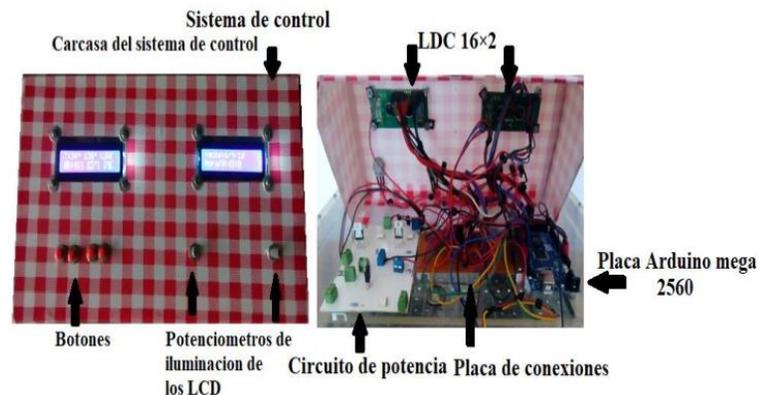


Fig. 4. Sistema de control

En la Fig. 5 se presenta un esquema del prototipo completo de incubación de huevos. En la imagen se puede observar la estructura completa de la incubadora de huevos, iniciando con el sistema de control en el cual están instalados dos LCD de 3". El primero se encuentra del lado izquierdo y en él se muestra la temperatura y la humedad, en el segundo LCD del lado derecho se muestra la fecha y hora del día.

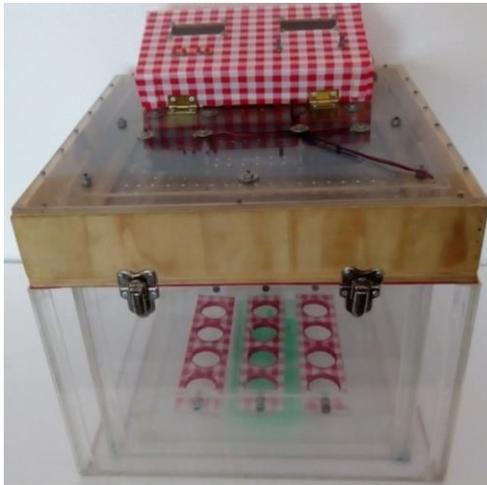


Fig. 5. Incubadora automática de huevos con doble pared

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

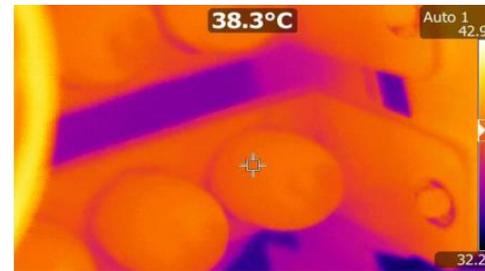
Para probar el funcionamiento del sistema de incubación, se introdujeron 12 huevos de gallina en el sistema. Esta prueba se inició el día 12 de diciembre de 2018, y se registraron los valores de temperatura y humedad de la cámara de incubación cada hora en un intervalo de 12 horas durante 21 días.

De acuerdo con los registros, los valores de temperatura del aire dentro de la cámara de incubación se mantuvieron entre 37.0 y 38.0°C durante toda la prueba experimental. De la misma manera, se logró que la humedad relativa del aire dentro de la cámara de incubación se mantuviera dentro del intervalo reportado como óptimo en la literatura 55-65%.

Por otro lado, varios estudios han mostrado que una temperatura constante de entre 37.5 y 38.0°C en el cascarón de los huevos durante la incubación resulta en una tasa alta de nacimientos (Lourens *et al.*, 2007; Joseph *et al.*, 2006; Lekrisompong *et al.*, 2007). Para verificar el funcionamiento correcto del sistema de incubación se observó la temperatura de los huevos dentro de la cámara de incubación el día 20 de octubre de 2018 con una cámara termográfica de infrarrojos Ti 400 Fluke con un rango de medición desde -20°C hasta +1200°C con una incertidumbre del 2%. De acuerdo con Özcan *et al.* (2010), la emisividad térmica promedio del cascarón de huevo de gallina es 0.9. Por lo tanto, este valor se especificó en la cámara infrarroja con el fin de obtener un valor de temperatura más precisa. Como se aprecia en la Fig. 6 los huevos de la primera fila tienen una temperatura superficial de 37.7°C. La misma figura indica que la superficie del cascarón de la tercera fila de huevos tiene una temperatura de 38.3°C. Estos valores son muy cercanos a los valores adecuados y mencionados anteriormente para la superficie del cascarón de un huevo.



a) Primer fila de huevos



b) Tercera fila de huevos

Fig. 6. Imágenes infrarrojas de los huevos dentro de la cámara de incubación

El 2 de enero de 2019 a partir de las 6:00 horas, comenzaron a eclosionar los huevos, lo cual se pudo detectar de manera visual gracias a la pared de acrílico sin aislamiento térmico. Esto se identificó porque el cascarón de algunos huevos presentaban grietas considerablemente grandes. En el transcurso del día se presentaron diez nacimientos (Fig. 7). La Fig. 8 presenta el aspecto de los polluelos a los diez días de edad.



Fig.7. Eclosión de los polluelos en el sistema de incubación



Fig. 8. Polluelos de diez días de edad.

Por lo anterior, con base a los resultados de la prueba se demuestra que el sistema de incubación artificial fue diseñado de manera adecuada ya que se logró el nacimiento de diez de los doce huevos introducidos en el sistema. Por lo que, la eficiencia de incubación de la prueba experimental fue de 83%.

6. CONCLUSIONES

En este proyecto se diseñó y construyó una incubadora automática de huevos de aves utilizando una metodología de diseño estructurado, en donde cada sección fue diseñada de acuerdo a los factores que intervienen en el proceso de incubación.

La incubadora fue construida e instrumentada considerando el diseño propuesto, el cual permite incubar 12 huevos de manera automática. Este equipo cuenta con un sistema de control que proporcionó un ambiente con una temperatura entre 37.0 y 38.0°C y una humedad relativa entre 55 y 61%, que de acuerdo con la literatura son los valores óptimos para la incubación de huevos de gallina. Además, el mismo sistema de control se diseñó para proporcionar cada hora un movimiento de 90° a los huevos.

Durante las pruebas experimentales, se utilizó una cámara infrarroja con la cual se pudo determinar que la superficie del cascarón de los huevos mantuvieron una temperatura uniforme entre 37.7 y 38.3°C. Se logró el nacimiento de diez polluelos de los doce huevos introducidos en el sistema automático de incubación, con lo que se obtuvo una eficiencia de incubación del 83%. Por lo tanto, se puede concluir que el funcionamiento del prototipo de incubación de huevos es funcional y permite obtener resultados adecuado, debido a que con en este sistema se logró un porcentaje alto de nacimiento de polluelos con lo cual se satisface el objetivo del proyecto

REFERENCIAS

- Bamelis F., Kemps B., Mertens K., De Ketelaere B., Decuyper E., De Baerdemaeker J. An automatic monitoring of the hatching process based on the noise of the hatching chicks. *Poultry Science* 84 (2005)1101–1107.
- Elibol O. Brake J. Effect of frequency of turning from three to eleven days of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science* 82 (2003) 357–359.
- Elibol O, Brake J. Effect of flock age, cessation of egg turning, and turning frequency through the second week of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science* 85 (2006) 1498–1501.
- González S. México compró 558 veces más pollo del que exportó este año, *Periódico La Jornada*. Julio de 2016 <https://www.jornada.com.mx/2016/07/18/economia/025n1eco>
- Hernández-Méndez J.C. Diseño y construcción de una incubadora automática de huevos. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2019).
- Joseph N. S, Lourens A, Moran Jr E. T. The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. *Poultry Science* 85 (2006) 932–939.
- Lekrisompong N, Romero-Sanchez H, Plumstead PW, Brannan KE, Brake J. Broiler incubation. 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poultry Science* 2007; 86:2685-2691.
- Lourens A., van den Brand H., Meijerhof. R, Kemp. B. Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability, and post hatch development. *Poultry Science* 85 (2006) 770–776.
- Nakage E.S., Cardozo J.P., Pereira G.T., Queiroz S.A., Boleli I.C. Effect of temperature on incubation period, embryonic mortality, hatch rate, egg water loss and partridge chick weight (*rhyngotus rufescens*). *Brazilian Journal of Poultry Science* 5 (2003) 131-135.
- Oscan S.E., Andriessens S., Berckmans D. Computational study of the heat transfer of an avian egg in a tray. *Poultry Science* 89 (2010) 776-784.
- Tona K., Onagbesan O., Bruggeman V., Mertens K., Decuyper E. Effects of turning duration during incubation on embryo growth, utilization of albumen, and stress regulation. *Poultry Science* 84 (2005) 315–320.
- UNA, Unión Nacional de Avicultores, Situación de la avicultura mexicana 2017 <http://www.una.org.mx/index.php/panorama/situacion-de-la-avicultura-mexicana>

Diseño Conceptual de Máquina de Ensayos Cíclicos para Prótesis Transtibiales Tipo P4 Bajo ISO 10328 con Actividad K3.

Cid I. Alan; Peraza N. Francisco; Valencia E. Efren; M. Siqueiros Hernández; B González Vizcarra

*Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de Ingeniería y Tecnología Unidad Valle de las Palmas. Blvd. Universitario #1000. Tijuana, Baja. CP. 21500
México (Tel: 664-676-82-22; e-mail: acid@uabc.edu.mx; a1243356@uabc.edu.mx; efren.valencia@uabc.edu.mx; miriam.siqueiros@uabc.edu.mx; bgonzalez79@uabc.edu.mx).

Resumen: Actualmente las máquinas que realizan ensayos de fatiga se encuentran a costos muy altos en el mercado, es por ello que en el siguiente trabajo se presenta un prototipo de máquina para realizar dichas pruebas enfocada para prótesis transtibiales de cargas tipo P4 y actividad K3, dicho prototipo deberá someter a fatiga a la prótesis durante 13.88 días, manteniendo una fuerza cíclica con ángulos de 20° y 15° en punta y talón respectivamente como lo especifica la norma ISO-10328-96, con el desarrollo de este prototipo se pretende reducir el costo de adquisición ante una máquina de fatiga y que aplique las condiciones antes mencionadas.

Palabras clave: Prototipo, Fatiga, Ciclos, Prótesis, Transtibial.

1. INTRODUCCIÓN

Una prótesis transtibial es aquella que reemplaza a las extremidades inferiores del cuerpo humano por debajo de la rodilla. Para poner a prueba la resistencia a los esfuerzos cíclicos generados durante la marcha humana sobre estas piezas, los desarrolladores llevan a cabo pruebas de fatiga haciendo uso de equipos especializados capaces de simular los esfuerzos previamente mencionados. Estos equipos están diseñados para cumplir satisfactoriamente con normativas especializadas.

Las máquinas que realizan las pruebas de fatiga presentan un costo elevado y por lo general son para uso exclusivo de empresas dedicadas a este sector. La poca disponibilidad y altos costos de estos equipos limitan el trabajo de los desarrolladores de prótesis transtibiales. Para ello se propone el diseño conceptual de un prototipo de una máquina de ensayos de fatiga exclusivamente para prótesis transtibiales en punta y talón para tipo de carga P4 (para pacientes de un peso promedio de 85 kilogramos), y actividad K3 (para personas que desempeñen actividades físicas con un bajo impacto mecánico).

2. ANTECEDENTES HISTORICOS

En adición a los estudios clínicos de prótesis para el miembro inferior y pie, una revisión de la literatura ha revelado varios estudios acerca de pruebas de fatiga mecánica de prótesis de pie y dispositivos de órtesis tal como lo mencionó Ziolo 2001, en donde su estudio menciona lo siguiente: la primera máquina de fatiga fue desarrollada por Daher (1975). Consiste en un mecanismo

que simula la cinemática de la rodilla y pie, proveyendo ambos las fases de balanceo y postura de la marcha. La máquina tenía un plano móvil el cual hacía contacto con el pie mientras completaba los ciclos con el golpe de punta y talón, ocurriendo a 20° y 35° respectivamente. Los niveles de carga estaban controlados por levas temporizadas que cíclicamente presurizaban el aire contenido en los cilindros neumáticos.

Los principales avances de este sistema permitieron que fuese controlado por la fuerza para reproducir un patrón de carga general y tuvo la capacidad de realizar la prueba en dos prótesis al mismo tiempo, sin embargo, los niveles de carga axial superaron los niveles máximos normales experimentados por una prótesis de pie durante su uso (aproximadamente 1350N) por una persona de 68 kg, de ese modo se extendió artificialmente la vida de las prótesis probadas. (ZIOLO and SC, 2001)

3. NIVELES DE ACTIVIDAD K DEL SISTEMA MOBIS[®] OTTO BOCK.

El nivel de actividad es un valor que representa un estimado de actividad que un componente protésico está diseñado para soportar. Cada empresa fabricante utiliza un valor diferente, pero por lo general, las ortopedias se apegan al sistema MOBIS[®] de Otto Bock (Mobility system), el cual presenta cuatro niveles K1, K2, K3 y K4. (OTTO BOCK HEALTHCARE, 2004)

Para este prototipo se optó por usar el nivel de carga K3 por sus limitaciones de movilidad en los pacientes ya que estos podrán caminar a diferentes niveles de velocidad, sorteando diferentes tipos de obstáculos y superficies, incluso irregulares y desnivelados, de forma ilimitada o con muy poca limitación. Estas características son las que más se asemejan a las actividades cotidianas de una persona promedio.

4. INTERPRETACIÓN DE LA NORMA ISO 10328-96 CON LA MARCHA HUMANA

Para comprender y aplicar los parámetros indicados en la norma ISO 10328-96 es de gran importancia analizar las principales fases de la marcha humana. Este proceso comienza cuando un pie hace contacto con el suelo y termina con el siguiente contacto del mismo pie a esto se le llama paso completo. El ciclo de la marcha humana tiene una duración de un segundo y tiene dos fases principales, la fase de apoyo que tiene una duración de 600ms y la fase de balanceo que tiene una duración de 400ms.

En la fase de apoyo se resaltan 5 sub-fases:

- Contacto con el talón.
- Apoyo plantar: contacto de la planta anterior con el suelo.
- Apoyo medio: apoyo del cuerpo apoyado verticalmente con el punto medio de la planta del pie.
- Elevación de talón.
- Despegue del pie.

La fase de balanceo se divide en 3 sub-fases:

- Aceleración: cuando el pie tiene una rápida aceleración después de despegar los dedos del suelo.
- Balanceo: cuando la pierna se balancea como un péndulo y rebasa hacia adelante a la pierna de apoyo.
- Desaceleración: cuando la pierna desacelera al final del movimiento.

Durante la fase de apoyo se resaltan dos sub-fases clave para el análisis, la fase de contacto con el talón y la fase de elevación del talón, dado que durante estas fases, el área de contacto del pie con la superficie es menor en comparación con las demás sub-fases, como se muestra en la Fig.1. por esta razón en estas se concentrará una mayor cantidad de esfuerzo.(GAGE, 1993)

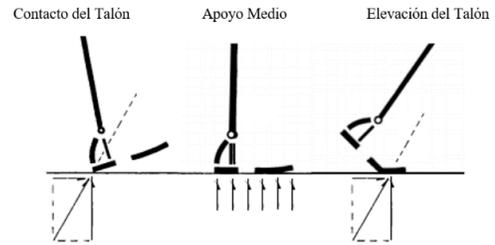


Fig.1. Distribución de las cargas durante la fase de apoyo.

En la Fig.2. se muestran los límites de carga aplicados en una prueba cíclica, donde se pueden observar tres intervalos de interés, los cuales corresponden a las siguientes fases:

b-c: contacto talón, donde se aplica la primera fuerza.

d-e: apoyo plantar y medio.

f-g: elevación del talón, donde solo la punta tiene contacto.

Con estos datos podemos comprobar gráficamente los puntos de interés, los cuales se tomarán como referencia para el diseño del prototipo de la máquina de fatiga, ya que representan los puntos críticos de los esfuerzos a simular.

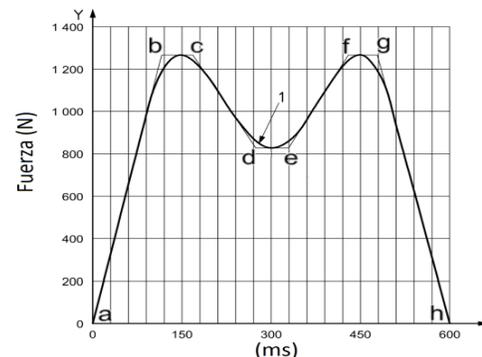


Fig.2. ilustración de los puntos de referencia para el establecimiento de intervalos de los perfiles de carga de las pruebas cíclicas. (ISO-22675, 2007)

4.1. Análisis de los fenómenos de fatiga e histéresis durante las pruebas cíclicas

En los ensayos de fatiga se emplea un sistema de análisis de fatiga y diseño, al cual se le conoce como vida a fatiga o curva S-N como se muestra en la Fig.3. durante estos ensayos los materiales están sujetos a tensiones y deformaciones variables hasta el fallo de estos a altos números de ciclos antes de sufrir un cambio estructural permanente, esto produce grietas, o la fractura completa tras un número determinado de ciclos; a esto se le denomina como el fenómeno de fatiga, donde el 90% de las piezas que se rompen en servicio fallan bajo estas circunstancias. (VENTURA, 2018)

Cuando los materiales se encuentran sometidos a fatiga, parte del trabajo mecánico se pierde durante cada ciclo, esta pérdida de energía será resultado de la fricción interna que existe entre las moléculas del material y es por esto que parte de la energía es convertida en calor, a esto se le llama histéresis elástica, y se puede describir como la diferencia entre la energía de deformación necesaria para generar un esfuerzo determinado en un material y la energía elástica en dicho esfuerzo como se muestra en la Fig.4. (M.F. NADER, P.A. NIETO, 2006)

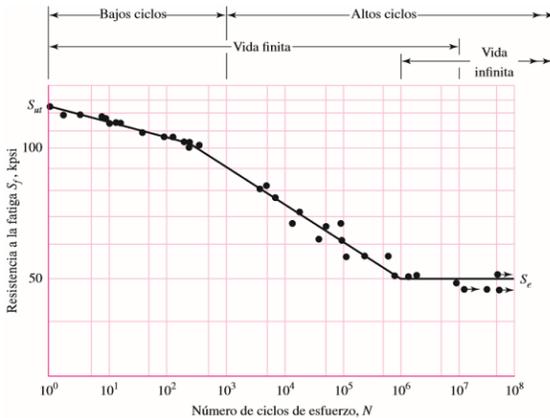


Fig.3. Diagrama S-N que se graficó a partir de los resultados de ensayos a la fatiga axial completamente invertidos. (G.-J.KEITH, 2011)

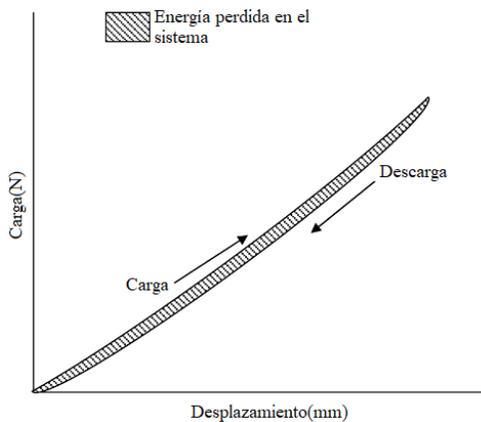


Fig.4. La curva de histéresis para la compresión del material. (NOLAN, 2008)

4.2 Parámetros de las pruebas punta-talón según norma ISO-10328-96

Las cargas de pruebas cíclicas en las secciones de tobillo y punta se aplicarán en dos condiciones de carga de prueba diferentes que simularán la carga del talón en la dirección determinada por la posición del ángulo (α) y la carga en la punta del pie en la dirección determinada por el ángulo (β); la posición de giro al que debe ser colocado con respecto a su eje longitudinal f está dado por el ángulo (γ). Los valores específicos de ángulos y fuerzas para los ensayos de cargas

tipo P4. Se especifican en la Tabla 1. y Fig.5. Respectivamente. (ISO-10328, 1996)

Tabla 1. Ángulos de dirección de carga para todas las pruebas en punta-talón para cargas de prueba tipo P5, P4 y P3 (ISO-10328, 1996)

| Ángulo | Grados |
|----------|--------|
| α | 15° |
| β | 20° |
| γ | 7° |

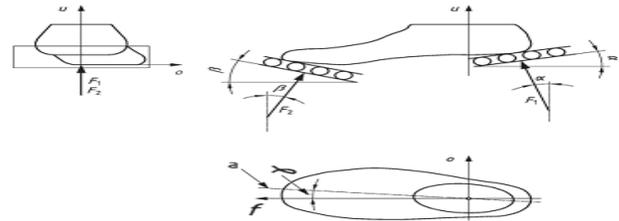


Fig.5. Posición del pie en el equipo de pruebas. (ISO-10328, 1996)

La norma ISO-10328-96 indica 3 posibles niveles de carga dependiendo de los parámetros físicos, características locomotoras del paciente adulto. Estas 3 categorías son:

- **P3:** Para amputados hasta un peso de 60kg.
- **P4:** Para amputados hasta un peso de 80kg.
- **P5:** Para amputados hasta un peso de 90kg.

4.3 Parámetros de carga para el procedimiento de las pruebas cíclicas.

La norma ISO-10328-96 indica que para concluir una prueba cíclica en prótesis tipo P4, estas deben someterse a 2 millones de ciclos bajo el procedimiento de prueba y cargas como se describe en la Fig.6. la cual es un extracto de las fuerzas cíclicas para un tipo de carga P4 establecidas en la norma ISO-10328-96, siguiendo las especificaciones de esta norma se tomarán como datos el procedimiento de fuerza media, dado que el tiempo de la fase de apoyo del pie es de 600ms durante un ciclo podemos determinar el tiempo estimado para la realización de la prueba es de 13.88 días continuos. (ISO-10328, 1996)

| Procedimiento de prueba y pruebas de carga | | Unidades | condiciones de prueba | |
|--|-----------------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| | | | P4 | |
| | | | Carga en el talón F1x | Carga en la punta F2x |
| Prueba cíclica | Prueba de fuerza mínima | F_{1Cmin} F_{2Cmin} | N | 50 |
| | Rango de ciclos | F_{1Cr} F_{2Cr} | N | 1180 |
| | Prueba de fuerza máxima | F_{1Cmax} F_{2Cmax} $F_{xmax} = F_{xmin} + F_{xcr}$ | N | 1230 |
| | Prueba de fuerza media | F_{1Cmean} F_{2Cmean} $F_{xca,0.5}(F_{xcr})$ | N | 640 |
| | Amplitud cíclica | F_{1ca} F_{2ca} $F_{xca=0.5}(F_{xcr})$ | N | 590 |
| | Fuerza estática final | F_{1fin} F_{2fin} $F_{xfin} = F_{xsp}$ | N | 2065 |
| | Número de ciclos prescritos | | 1 | 2,000,000 |

6. REFERENCIAS

G.-J.KEITH, N. A. (2011) ‘Diseño en ingeniería mecánica Shigley’, *Mc Graw Hill*, p. 1039.

GAGE, D. J. (1993) *Análisis de Marcha Humana*. Available at:
https://www.youtube.com/watch?v=Y6qtcX_Atvc&=&feature=share.

ISO-10328 (1996) ‘Prosthetics -Structural Testing of Lower-Limb Prostheses - Requirements and Test Methods’, in *ISO 10328*.

ISO-22675 (2007) ‘Prótesis: Ensayo de las articulaciones de tobillo-pie y de las unidades de pie Requisitos y métodos de ensayo’.

M.F. NADER, P.A. NIETO, G. P. Y. F. F. (2006) ‘Dependencia del Ciclo de Histéresis de una Banda Elástica en Función de su Longitud.’, 38(1), pp. 201–204.

NOLAN, L. (2008) ‘Carbon fibre prostheses and running in amputees: A review’, *Foot and Ankle Surgery*, 14(3), pp. 125–129. doi: 10.1016/j.fas.2008.05.007.

OTTO BOCK HEALTHCARE (2004) *MOBIS® System Overview for Otto Bock Modular Lower Leg Prostheses*. Available at:
https://opedge.com/Content/UserFiles/PrintAds/ottobock/ottobock_1029.pdf.

VENTURA, J. M. E. (2018) *Caracterización de las Propiedades Mecánicas del Aluminio*. Available at:
<https://www.slideshare.net/JessMontes9/fatiga-86284926>.

ZIOLO, T. and SC, B. E. (2001) *The NPO Fatigue Tester: The Design & Development of a New Device for Testing Prosthetic Feet*.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al C.A. de “Optimización de sistemas Mecánicos” por habernos apoyado en el desarrollo de la investigación bajo el proyecto: *Implementación de una metodología estandarizada para la caracterización (fatiga y compresión) de prótesis transtibiales*, bajo el código programático 351/2091 el cual se encuentra debidamente registrado en el departamento de posgrado e investigación, de igual forma se agradece a la Dra. M. Siqueiros Hernández y al M.C. B González Vizcarra, por el apoyo brindado.

Fig.6. Fuerzas de prueba en todas los ensayos en los dispositivos punta-talón y número de ciclos de las pruebas cíclicas para las cargas de prueba tipo P4. (ISO-10328, 1996)

5. CONCLUSIONES

Una vez analizadas las especificaciones de la norma ISO 10328-96 se propone el desarrollo de una propuesta de diseño conceptual de máquina de ensayos cíclicos para prótesis transtibial como se observa en la Fig.7. donde desempeñe la prueba de fatiga para una prótesis transtibial de cargas tipo P4 y actividad K3, es decir una persona de 80kg que tenga la movilidad cotidiana de una persona promedio; para este diseño se sugiere que el mecanismo sea accionado mediante dos actuadores neumáticos colocados a los ángulos de 20° y 15° para los contactos de punta y talón correspondientes para cada condición de la prueba, dichos pistones deben ser capaces de entregar la fuerza de 1230N requerida y contar con plataformas corredizas para el contacto con la prótesis, para la sujeción de la prótesis de prueba se pretende utilizar dos mordazas que garanticen la estabilidad de la prótesis durante toda la prueba.

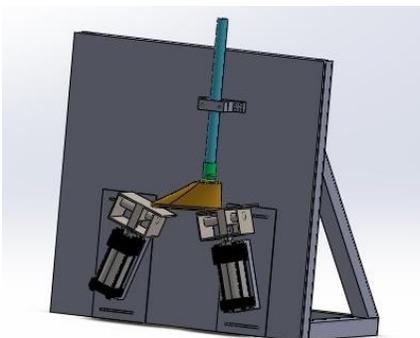


Fig.7. Propuesta de diseño conceptual de máquina de ensayos cíclicos para prótesis transtibial tipo P4 con

Cámara de Ambiente Controlado para la Caracterización de Muros de Viviendas

Baeza Carrillo J. A., Landero Masté A. A., Aguilar Castro K. M., Macias Melo E.V., Pérez Olán I.Y., Hernández-Pérez I.A.

*Ingeniería Mecánica Eléctrica, División Académica de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,*

*(e-mail: baaezza@gmail.com; K_DERO@hotmail.com, karla.aguilar@ujat.mx; edgar.macias@ujat.mx;
iyapol@yahoo.com.mx; ivan.hernandezp@ujat.mx)*

Resumen:

Durante los últimos años, el uso de materiales en la construcción de edificaciones y recintos con el propósito de adecuar la temperatura interior para el confort térmico, ha desencadenado la búsqueda y el estudio de las propiedades de los materiales. Para esto, existen dispositivos como la Hot Box o Cámara de Ambiente Controlado (CAC) para evaluar componentes como muros o ventanas se ven expuestos a los mecanismos de transporte de calor al presentar una diferencia de temperatura entre un ambiente interior y exterior. En este estudio, se presenta la calibración de un dispositivo experimental de una CAC, con el fin de obtener la desviación del balance de la energía, δq , que representa la incertidumbre en la medición del flujo de calor que pasa a través de una muestra de estudio. Para esto, se utilizó un prototipo de CAC construido e instrumentado para medir la temperatura y humedad relativa del aire interior, así como, cuantificar los flujos de calor a través de las paredes y muestra de estudio. La muestra utilizada fue una muestra de poliestireno extruido de 2" (5.08 cm) de 1.0 m \times 1.0 m con una conductividad térmica de 0.0288 W/m $^{\circ}$ C at 24 $^{\circ}$ C. En el estudio se determinaron los flujos de calor del sistema completo y se determinó la δq . Los resultados indicaron que el sistema alcanza el estado permanente en 13 horas y que las mayores pérdidas de calor se obtienen a través de la pared de arriba y la pared izquierda, que son las paredes que tienen mayor contacto con el flujo de aire del sistema de aire acondicionado del recinto. La δq obtenida fue en promedio de 2.12 W, lo cual, representa una diferencia poco significativa, considerando que se suministran como máximo 32 W. La δq obtenida se considerara dentro de la incertidumbre total cuando se determinen los parámetros característicos de las muestra de muros de vivienda.

Palabras Clave: Cámara de Ambiente Controlado, Muro, Incertidumbre, Confort Térmico, Viviendas.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el uso de materiales en la construcción de edificaciones y recintos con el propósito de adecuar el ambiente a las necesidades diversificando los diseños, ha desencadenado la búsqueda y el estudio de nuevos materiales. Sin embargo, las propiedades de los materiales deben ser óptimas para las aplicaciones, reduciendo costos en materia prima y en consumo de energía eléctrica ya que de acuerdo al informe de las Naciones Unidas para el año 2035, la demanda de energía eléctrica tendrá un incremento del 70% (Abela y Hamilton, 2016). La mayoría de aparatos y dispositivos usados cotidianamente funcionan con energía eléctrica, desde dispositivos para el hogar hasta aplicaciones industriales. Uno de los sectores con el mayor consumo de energía eléctrica es el de la construcción, en el cual se estima aproximadamente un 40% del consumo mundial (Hong Kong Government, 2016). Sin embargo, para reducir el uso de estos sistemas es importante realizar una adecuada selección de materiales para mejorar el confort en el interior de

edificaciones. Pero esto no solo se limita a mejorar condiciones de confort, sino también para generar ambientes adecuados de trabajo para equipos, donde no es necesario la intervención humana.

El comportamiento frente a la humedad que presentan los materiales de construcción tiene un impacto directo en los edificios. Este efecto es más notorio en climas cálido húmedo, donde la humedad afecta la energética del edificio, la salubridad de sus espacios y la durabilidad e integridad de sus cerramientos. Por lo cual, para lograr condiciones adecuadas de confort en los espacios interiores definidos y delimitados por los cerramientos de los edificios, se requiere del establecimiento de un adecuado equilibrio higroscópico en dichos espacios. En dicho equilibrio higroscópico, el comportamiento y las prestaciones higroscópicas de los materiales empleados en los cerramientos juegan un papel fundamental. Si bien para la mayoría de los materiales de construcción es habitual conocer sus propiedades térmicas, tradicionalmente la caracterización de sus propiedades

higroscópicas y su comportamiento frente a la humedad ha sido menos investigado. Esto, entre otros aspectos, se debe a la diferencia entre el desarrollo de la teoría matemática que formula el flujo de calor frente al menor desarrollo de la formulación matemática de la teoría que explica el flujo de humedad en medios porosos, y a la dificultad de establecer métodos y técnicas de ensayo que permitan cuantificar los coeficientes de transporte difusivo y capilar de la humedad a través de la estructura porosa de los materiales de construcción. Las propiedades de transporte de humedad influyen significativamente en la aplicación, la durabilidad y en particular el comportamiento estructural de los materiales de construcción. Las investigaciones de este tipo de comportamiento o bien se realizan de manera experimental o mediante simulación numérica (Litavcova *et al.*, 2014; Arnold *et al.*, 2013; Chemkhi *et al.*, 2013; Scheffler and Plagge 2010).

El comportamiento de la difusión de humedad en los materiales de construcción es bastante complejo ya que depende de diferentes factores y condiciones, esta es la razón por la que aún no existe un solo número para el coeficiente de difusión de humedad que sea aplicable a cualquier condición. Por lo que, es importante proponer una metodología para determinar un modelo empírico para la determinación del coeficiente de humedad para materiales de construcción. Los coeficientes obtenidos podrían utilizarse para el modelado en procesos de secado u otros procesos, o simplemente como parámetros para la selección de materiales de construcción para su uso en viviendas y combatir la humedad en los edificios, buscando condiciones de confort y salud para sus ocupantes.

Para este propósito, como primera etapa, en este proyecto se presenta la calibración de un dispositivo experimental de una Cámara de Ambiente Controlado (CAC), con el fin de obtener la desviación del balance de la energía, es decir, la potencia que se debe considerar al momento de calcular los parámetros térmicos de los materiales de construcción de los muros de vivienda que se caracterizaran en el prototipo. La CAC fue calibrada considerando un balance de energía, para obtener la diferencia entre el flujo de calor de entrada y salida, a este procedimiento se le llama calibración, en este estudio, y se realizó utilizando una muestra de referencia con características conocidas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Muestra

La muestra de referencia utilizada para la calibración de la CAC fue una placa de 2" (5.08 cm) de poliestireno extruido de 1.0 m x 1.0 m (Foamular[®]) con una conductividad térmica de 0.0288 W/m°C at 24°C. La muestra fue instrumentada con un transductor de flujo de calor que es una termopila diferencial

manufacturada con termopar tipo T. La termopila fue distribuida homogéneamente durante toda la placa con un total de 72 puntas (36 puntas en cada cara) y permite obtener el flujo de calor de una cara a otra. En la Fig. 1 se muestra la imagen de la muestra utilizada.

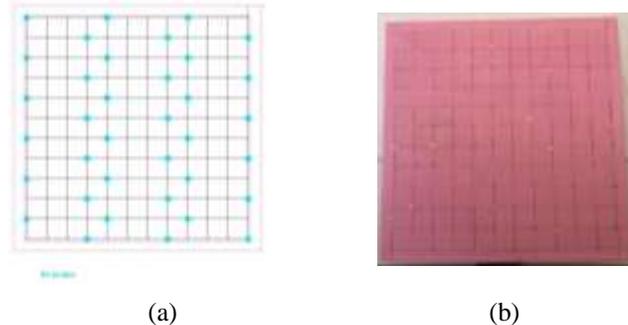


Fig. 1. Muestra de referencia instrumentada, (a) distribución de la termopila, y (b) fotografía.

2.2 Arreglo experimental

En la Fig. 2 se presenta un diagrama esquemático del arreglo experimental de la CAC. Esta fue diseñada para proveer dos espacios aislados (Cámara 1 y Cámara 2) donde las condiciones ambientales interiores pueden ser controladas de forma independiente de acuerdo con las necesidades del experimento. Lo anterior, con el propósito de proporcionar una temperatura del aire, humedad y velocidad uniforme sobre cada lado de la superficie de una muestra ubicada entre ambas cámaras. Además, el prototipo cuenta con transductores de flujo de calor en cada una de sus paredes con el fin de cuantificar las pérdidas o ganancias de calor a través de su envolvente, con el fin de estimar el flujo de calor que pasa a través de la muestra conociendo la incertidumbre de medición. La Cámara 1 permite simular condiciones de ambiente exterior, mientras que, la Cámara 2 permite simular condiciones de ambiente interior de una vivienda, con el fin de reproducir las condiciones de operación de un muro de vivienda en condiciones lo más acercado a la realidad.

En el prototipo de CAC el sistema de calentamiento se realiza con un arreglo de resistencias, mientras que el sistema de enfriamiento se realiza utilizando un Chiller. En el interior de la Cámara 1 hay cuatro componentes: un Sistema de calentamiento, un deshumidificador, un ventilador y un higrómetro. En la Cámara 2 encontramos los mismo cuatro componentes, más el sistema de enfriamiento. En la Fig. 2 y 3 se presentan el arreglo experimental y una fotografía de la CAC respectivamente.

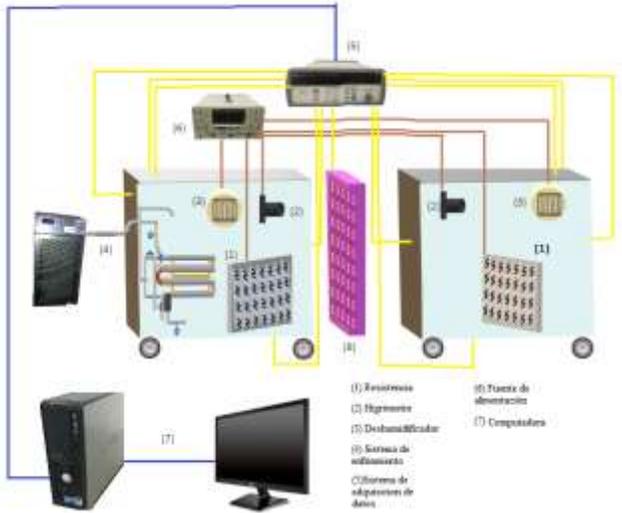


Fig. 2. Esquema del prototipo experimental de la CAC.

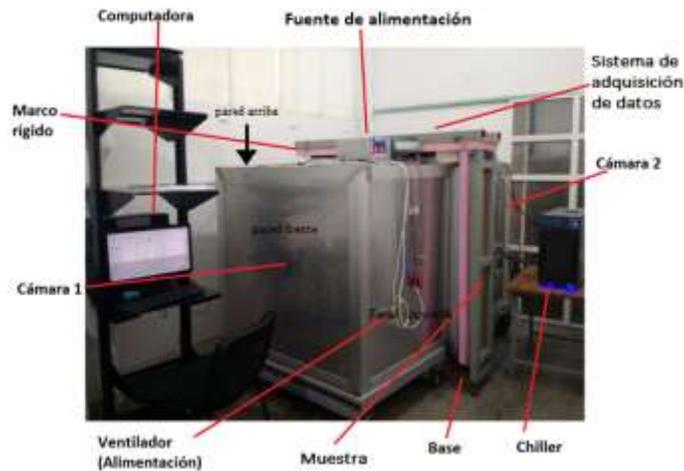


Fig. 3. Fotografía del Prototipo de CAC.

2.3 Diseño experimental

Para el proceso de calibración se estableció el diseño experimental de la Tabla 1. Como se puede observar, se realizaron tres pruebas a diferentes potencias de calentamiento en la Cámara 1 con el fin de cuantificar la cantidad de energía que pasa a través de la muestra, la cual se determina mediante un balance de energía como en (1).

$$q_s - q_{MR} - \underbrace{q_{Bajo} - q_{Izquierda} - q_{Frente} - q_{Derecha} - q_{Arriba}}_{q_{paredes}} = \delta q \quad (1)$$

Donde: q_s es la potencia suministrada a través de la resistencia, q_{MR} es la potencia que pasa a través de la muestra de referencia, q_{Bajo} , $q_{Izquierda}$, q_{Frente} , $q_{Derecha}$ y q_{Arriba} se refieren al flujo de calor por la pared de abajo, por la pared izquierda, por la pared del frente, por la pared derecha y por la pared de arriba respectivamente. Mientras que, δq es la desviación del balance de energía, es decir, la potencia que se debe considerar al momento de calcular los parámetros térmicos de los materiales que se caracterizarán en la CAC.

Tabla 1. Diseño experimental

| Prueba | q_s (W) Cámara 1 |
|--------|-----------------------|
| 1 | 17.5 |
| 2 | 25.0 |
| 3 | 32.0 |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de las variables de temperatura y flujo de calor presentaron resultados similares en las tres pruebas, por lo que, continuación se presentan los resultados gráficos de la Prueba 2 con el fin de analizar su comportamiento. Posteriormente, se presentan los resultados promedio del conjunto de pruebas realizadas. En la Fig. 4 se presenta el comportamiento de la temperatura de ambas cámaras y la del laboratorio. Como se puede observar, ambas cámaras presentar un comportamiento similar con diferentes magnitud, la temperatura de la Cámara 1 (T_{C1}) tuvo un máximo de 28.8°C, mientras que la temperatura de la Cámara 2 (T_{C2}) tuvo un máximo de 26.5°C al inicio de la prueba. Se puede observar que la T_{C2} disminuye su temperatura interior conforme disminuye la temperatura del laboratorio (T_L). Es importante notar que el comportamiento de la T_L , una vez que la temperatura de las cámaras se ha estabilizado, no afecta el comportamiento de la temperatura de las cámaras. Por lo que, el incremento de la T_L a las 15 horas no afectó los resultados. Además, se pudo observar que a partir de las 15 horas la diferencia entre la T_{C1} y la T_{C2} se mantuvo constante, por lo que se considera que se ha alcanzado el estado permanente.

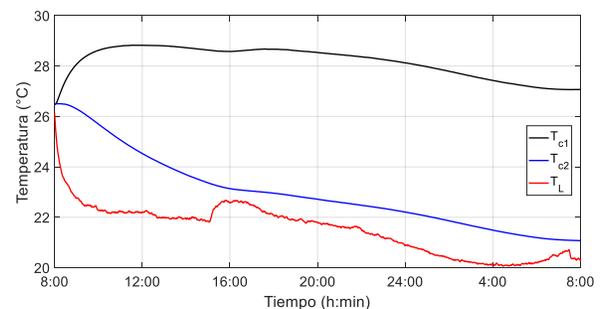


Fig. 4. Comportamiento de la temperatura de las cámaras y del laboratorio.

En la Fig. 5 se muestra el comportamiento de la diferencia de temperatura entre la Cámara 1 y el laboratorio, así como, la sumatoria del flujo de calor a través de las paredes. Como se puede observar, tienen un comportamiento similar con diferentes magnitudes, la diferencia de temperatura entre T_{C1} y T_L alcanzó un valor máximo de 7.46°C , mientras que sumatoria del flujo de calor por las paredes obtuvo un máximo de 23.53 W . Se puede observar que el comportamiento de la diferencia de temperaturas y la sumatoria de flujo de calor por las paredes es similar en todo momento e incrementa su diferencia cuando el sistema alcanza el estado permanente, que ocurre después de las 16:00 horas.

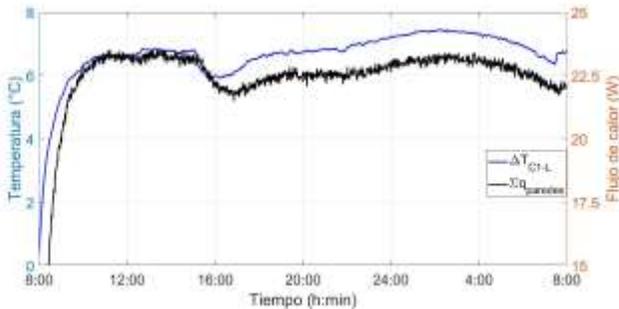


Fig. 5. Comportamiento de la diferencia temperatura de la cámara 1 y del laboratorio y de la suma de flujo de calor de las paredes.

En la Fig. 6 se muestra el comportamiento del flujo de calor a través de cada pared de la Cámara 1. Como se puede observar, tienen un comportamiento similar con diferentes magnitudes, la pared con mayor flujo de calor fue la pared izquierda, con un valor máximo de 7.15 W , seguida por la pared de arriba con un valor máximo de 4.9 W , mientras que, el resto de las paredes se mantuvo por debajo de 4.22 W . Se puede observar que el comportamiento del flujo de calor por las paredes es similar entre sí, pero con diferentes magnitudes, incluso alcanzan su valor máximo de flujo de calor casi al mismo tiempo. La pared izquierda tiene un mayor flujo de calor por ser la pared más expuesta al intercambio de calor por convección con el aire acondicionado del laboratorio, caso contrario a la pared baja, la cual es la que tiene menor flujo de calor al ser la menos expuesta al flujo de aire del aire acondicionado.

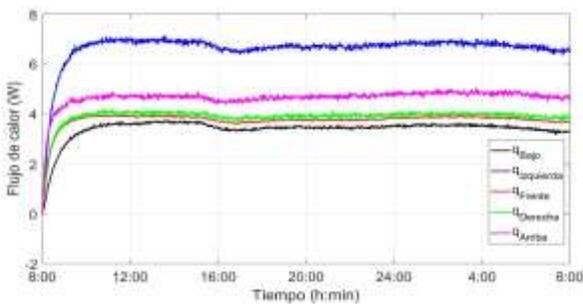


Fig. 6. Comportamiento del flujo de calor de las paredes.

Por su parte, en la Fig. 7 se muestra el comportamiento del flujo de calor a través de la muestra de referencia. Como se puede observar, tienen un comportamiento estable después de las 20 horas, con un incremento gradual en las primeras 18 horas de prueba. Se puede observar que después de 13 horas de iniciada la prueba se alcanzó el estado permanente, en el cual el incremento empezó a ser mínimo, alcanzando un valor máximo de 3.33 W .

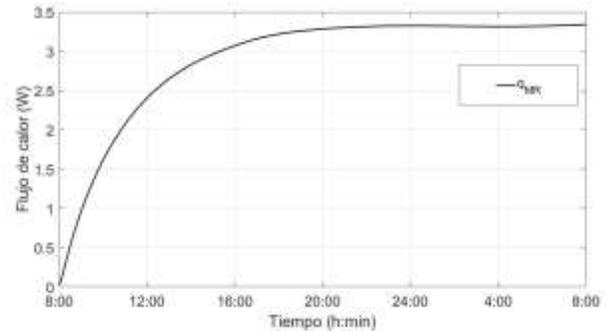


Fig. 7. Comportamiento del flujo de calor por la muestra de referencia.

En la Tabla 2 se presenta un concentrado de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas. Se puede observar que a medida que se incrementa la potencia suministrada incrementa la temperatura de la Cámara 1 y lo mismo ocurre con la diferencia entre la T_{C1} y T_{C2} . Lo anterior, aun cuando la T_L presenta se mantiene por debajo de la temperatura de ambas cámaras. Por otra parte, puede observarse que los promedios de las fluctuaciones de los flujos de calor incrementan con el incremento de la potencia de calentamiento. Sin embargo, a pesar de las diferencias en cada prueba la δq se mantiene en un intervalo de 1.34 a 2.71 W , es decir, en promedio 2.12 W . Este resultado indica que en la CAC es posible cuantificar la cantidad de energía que atraviesa una muestra con una incertidumbre de 2.12 W , este valor se debe considerar a la incertidumbre total del experimento cuando se determinen los parámetros térmicos de la muestra de muros de vivienda.

Tabla 2. Resultados promedio de las fluctuaciones de las variables de cada prueba.

| Prueba | T_{C1} ($^{\circ}\text{C}$) | T_{C2} ($^{\circ}\text{C}$) | T_L ($^{\circ}\text{C}$) | q_{paredes} (W) | q_{MR} (W) | δq (W) |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 24.30 | 20.05 | 19.31 | 16.16 | 2.32 | 1.34 |
| 2 | 28.06 | 22.40 | 21.22 | 22.67 | 2.39 | 2.33 |
| 3 | 29.25 | 23.88 | 23.08 | 28.29 | 4.21 | 2.71 |

6. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en este estudio mostraron que, bajo las condiciones de prueba, el sistema alcanza el estado permanente 13 horas después de iniciada la prueba. La CAC mostro estabilidad en el comportamiento de sus variables y una relación directa entre la potencia suministrada, las temperaturas y los flujos de calor. El análisis de los flujos de calor fue posible, debido al conocimiento de las propiedades características del material de la muestra de referencia y de los materiales de construcción de la CAC. Como resultado más relevante se pudo obtener una δq promedio de 2.12 W, lo cual representa un porcentaje de 6.5% respecto a la potencia de calentamiento más alta. Este valor obtenido, se considera poco significativo, por lo que, se puede considerar que la CAC es factible de poder utilizarse para evaluar otras muestras, como muros de vivienda, con baja incertidumbre en la determinación de sus parámetros característicos. Para dar más certeza a los resultados anteriormente mencionados, podrían realizarse pruebas experimentales ampliando el intervalo de potencia suministrada e incrementando la diferencia de temperatura entre las cámaras, con el fin de reducir la δq , al privilegiar la transferencia de calor entre las cámaras.

building materials: A model of moisture transport. *Energy and Buildings*, 68: 558-561.

Scheffler G. A., Plagge R. (2010). Introduction of a Drying Coefficient for Building Materials, *Buildings XI*, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).

REFERENCIAS

Alan Abela, Lorna Hamilton. (2016). Study on Energy Use by Air Conditioning: Final Report. 2016, de bre.uk.

URL:<https://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/projects/aircon-energy-use/StudyOnEnergyUseByAirConditioningFinalReport.pdf>.

Arnold J.C., Alston S.M., Korkees F. (2013). An assessment of methods to determine the directional moisture diffusion coefficients of composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 55: 120-128.

Boulaoued I., Mhimid A. (2012). Determination of the Diffusion Coefficient of New Insulators Composed of Vegetable Fiber, *Thermal Science*, 16 (4): 987-995.

Chemkhi S., Khalfaoui K., Zagrouba F. (2013). Modelling of saturated porous media drying: Heat and mass transfer coupled with the material mechanical behavior, *International Journal of Chemical Engineering and Applied Sciences*, 3(1): 1-6.

Hong Kong Government. (2016). Hong Kong Energy Statistics 2016 Annual Report. 2017, de Industrial Production Statistics Section, Census and Statistics Department.

URL:

<http://www.statistics.gov.hk/pub/B11000022016AN16B0100.pdf>.

Litavcova E., Korjenic A., Korjenic S., Pavlus M., Sarhadov I., Seman J., Bednar T. (2014). Diffusion of moisture into

Aplicación de redes neuronales artificiales para la predicción de la temperatura de confort en edificios ubicados en un clima tropical Aw

Luis A. López Pérez*, J. Jassón Flores Prieto*, Carlos Ríos Rojas**

*Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62490, México (e-mail: lpladrian_84@hotmail.com, jasson@cenidet.edu.mx).

**Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carr. Panamericana 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29050, México (e-mail: crios@ittg.edu.mx).

Resumen: En este trabajo el perfil de las temperaturas de confort T_{comf} de los ocupantes de edificios de acuerdo al enfoque adaptativo de confort térmico se predicen utilizando redes neuronales artificiales, RNA. La predicción de la T_{comf} implicó el desarrollo de un modelo basado en RNA para edificios con sistemas de aire acondicionado AC. El modelo RNA se entrenó con datos de campo de 19 edificios educativos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez-México. La temperatura de corriente libre exterior, la temperatura operativa, la humedad relativa, la velocidad del aire, el aislamiento por ropa de los ocupantes, el nivel de actividad, la superficie de área corporal y la edad fueron los datos de entrada. El desempeño del modelo RNA se comparó con un modelo adaptativo local y con el modelo de la guía CIBSE A. Los resultados del entrenamiento permitieron desarrollar un modelo RNA optimizado, que es capaz de predecir las T_{comf} con una precisión del 72.0%. En el comparativo, las T_{comf} predichas con el modelo RNA optimizado son mayores que las predichas con el modelo local y con el de la guía CIBSE A, en promedio 2.2 y 1.1°C, respectivamente; con lo que se observa potencial predictivo. La T_{comf} resultó 4.5°C mayor con el modelo local y 4.0°C considerando la guía CIBSE A. El incremento de la temperatura permite mejorar el confort térmico de los ocupantes y ahorrar energía al utilizar menor capacidad de enfriamiento para la climatización térmica.

Palabras claves: Enfoque de confort térmico adaptativo, Temperatura de confort, Clima tropical, Aire acondicionado, Redes neuronales artificiales.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los sectores de mayor crecimiento de consumo energético el mundo se encuentran las edificaciones, debido a que en promedio pasamos el 90% de nuestro tiempo dentro de edificaciones o habitáculos (Shaikh *et al.*, 2013). En general, la energía se utiliza en las edificaciones para la climatización, iluminación, funcionamiento de electrodomésticos, servicios y el mantenimiento del edificio, entre otros. En climas cálido-húmedo, usualmente la climatización de espacios para lograr el confort térmico representa un gran consumo energético, por lo que acciones concretas que conduzcan a la optimización en este rubro, son de gran importancia para el ahorro energético (Ionescu *et al.*, 2015). Hoy en día, la satisfacción térmica de los ocupantes se modela para determinar las preferencias térmicas, con el enfoque estático y el adaptativo (Carlucci *et al.*, 2018). El enfoque estático se base en el voto medio predicho VMP de acuerdo al modelo de Fanger (Fanger, 1972), y el enfoque adaptativo se basa en estudios de preferencias térmicas correlacionadas con datos de condiciones climáticas. Hoy en día, el modelo del VMP es el más utilizado para el modelado del confort térmico en diferentes tipos de clima (Saber *et al.*, 2016). Más recientemente, el enfoque adaptativo surge como una

técnica alternativa para determinar el confort térmico. El enfoque adaptativo tiene la ventaja de considerar un mayor número de variables como los mecanismos de climatización, variables demográficas y variables psicológicas. En general, el enfoque considera al usuario como un actor activo que interactúa con el ambiente, que se adapta y lo modifica según sus preferencias y comodidades (de Dear *et al.*, 1998; Nicol *et al.*, 2012). En ocasiones en climas cálidos, los modelos adaptativos permiten mayores temperaturas de confort y consecuentemente menores cargas térmicas, dando lugar a ahorros de energía y a mayores porcentajes de personas satisfechas térmicamente (Sánchez-García *et al.*, 2019). Sin embargo, los modelos adaptativos actuales aún son escasos y ofrecen un bajo nivel de predicción de la temperatura de confort (Peng *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2018). Buscando mejores predicciones de las preferencias térmicas, modelos de confort térmico basados en inteligencia artificial han sido desarrollados recientemente (Enescu, 2017). En este contexto, los algoritmos basados en RNA se han aplicado ampliamente en la climatización térmica de edificaciones, mostrando que predicen mejor las condiciones térmicas y que es posible mejorar la eficiencia energética (Moon *et al.*, 2017). Sin embargo, los trabajos basados en RNA para la climatización térmica de edificaciones utilizando el enfoque adaptativo de

confort son escasos (Yoon *et al.*, 2018). En este trabajo el perfil de las T_{comf} de los ocupantes de edificios de acuerdo al enfoque adaptativo de confort térmico se predice utilizando RNA. La predicción de la T_{comf} se realiza con un modelo RNA, para edificios educativos con sistemas de aire acondicionados, localizados en un clima tropical Aw. El desempeño del modelo RNA se compara con un modelo adaptativo local y el modelo adaptativo propuesto en la guía CIBSE A.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Recolección de datos en campo

Los modelos adaptativo de confort térmico están en función de las condiciones térmicas al exterior y al interior de las edificaciones, y de la sensación térmica de los ocupantes, de acuerdo al enfoque adaptativo (Deng y Chen 2018). En este trabajo, para el desarrollo del modelo RNA se toma el conjunto de datos del estudio hecho por López-Pérez *et al.* (2019). El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, México, que presenta un clima tipo Aw, de acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006). Los edificios de estudio corresponden al Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez TecNM-ITTG, que está formado por 27 edificios, albergando una población regular de 3780 personas.

2.2. Metodología para el desarrollo del modelo RNA

Las RNA está inspirado en la capacidad del cerebro humano para predecir patrones, basados en procesos de aprendizaje y memorización (Attoue *et al.*, 2018). Las RNA permiten la construcción de relaciones entre los parámetros de entrada y los parámetros de salida utilizando neuronas artificiales, que están dispuestas en una capa de entrada, una capa de salida y una o más capas ocultas. La Ecuación 1 describe el modelo matemático de la RNA, de acuerdo a Deng y Chen (2018).

$$Y_k = S \left(\sum_{j=1}^m W_{jk} \times S \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i \right) \right) \quad (1)$$

donde Y_k y X_i representa los valores de entrada y salida, respectivamente; W_{ij} proporciona los pesos de conexión entre las capas de entrada y salida; n , m representan el número de capas ocultas de entrada y salida, respectivamente; k representa el número de neuronas en cada capa. El desempeño del modelo RNA se observa en términos del error absoluto medio MAE, y del coeficiente de determinación R^2 . El MAE está definida con la Ecuación 2.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (2)$$

donde x_i son las observaciones actuales, y_i son los valores pronosticados y n es el número de datos. El R^2 se define con la Ecuación 3.

$$R^2 = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

En la Figura 1 se muestra la metodología para el desarrollo del modelo RNA (Moon *et al.*, 2017). La metodología se compone de tres etapas. En la primera etapa las variables de entrada, el número de neuronas, de capas ocultas y el método de aprendizaje son seleccionadas, y se desarrolla un modelo inicial. El modelo se inicializa con un número pequeño de neuronas y de capas ocultas. En la segunda etapa el modelo inicial se optimiza para obtener mayor precisión y estabilidad en la predicción de la T_{comf} . La optimización se realiza variando el número de capas ocultas, el número de neuronas en cada capa y la función de transferencia y evaluando su desempeño en función del R^2 . En la etapa tres el modelo RNA optimizado es evaluado con la precisión en la predicción de las T_{comf} . Las T_{comf} predichas con el modelo RNA optimizado son comparadas con las predichas con un Modelo adaptativo local y el modelo adaptativo propuesto en la guía CIBSE A (López-Pérez *et al.*, 2019; CIBSE, 2006). El comparativo tiene como finalidad demostrar la aplicabilidad de los modelos propuestos en la climatización térmica de edificaciones. El desempeño en las predicciones se realiza con el MAE y R^2 .

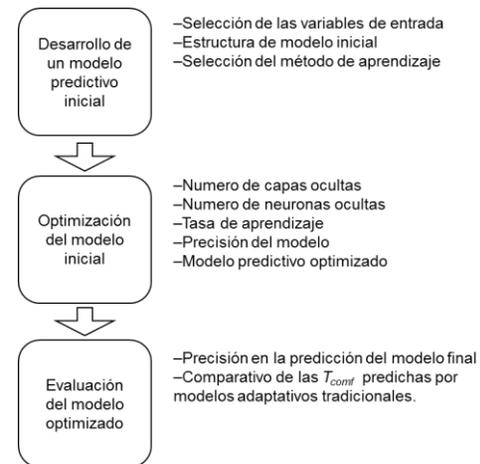


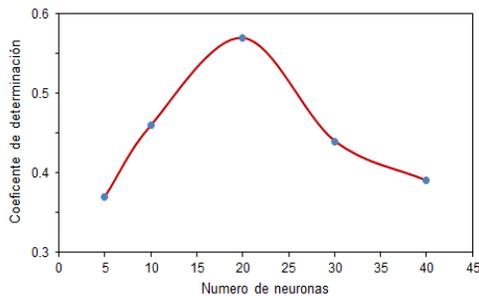
Figura 1. Metodología para el desarrollo del modelo RNA.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

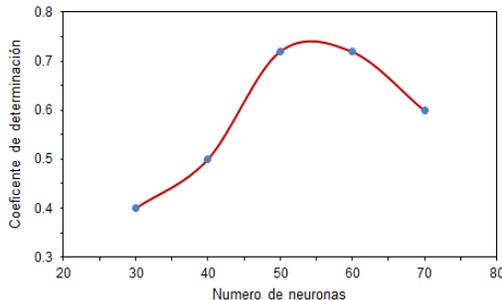
3.1 Desarrollo del modelo RNA

La estructura del modelo RNA consistió en la arquitectura de la red, la capa de entrada, el número de capas ocultas, la capa de salida y el número de neuronas en cada capa. La arquitectura del modelo RNA es tipo perceptrón multicapa. En la capa de entrada el número de neuronas corresponde al número de variables, en

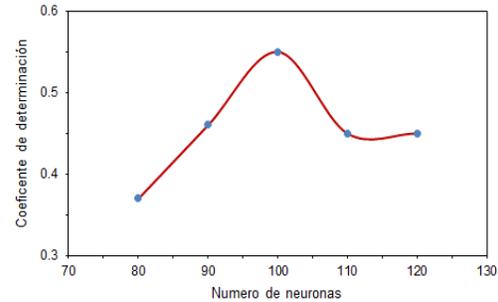
este caso siete. El número de capas ocultas se inicializa con una capa y con siete neuronas ocultas. Las funciones de transferencias iniciales para las neuronas ocultas y de salida son de tipo logarítmica sigmoideales y puramente lineal, respectivamente. El modelo RNA inicial es entrenado de manera supervisada, con alimentación hacia adelante, con algoritmo de retro-propagación del error, con ajustes de pesos Levenberg-Marquardt y con 1000 épocas en el proceso de entrenamiento. La optimización del modelo RNA se determina mediante iteraciones, en la que se hace una variación del número de neuronas en las capas ocultas y de las funciones transferencia de las capas ocultas. El modelo que muestra mejor desempeño en términos del MAE y R^2 se selecciona. Para todas las optimizaciones, el 70% de los datos se utilizan en el entrenamiento, el 15% para la validación y el 15% para la verificación. El Neural Network Toolbox de Matlab R2017a se utiliza para la construcción y el entrenamiento del modelo RNA. Las variables de entrada para predecir la T_{comf} se seleccionaron de acuerdo a las recomendaciones hechas por Fanger (1972). Las variables de entrada fueron la temperatura de corriente libre exterior T_{rm} , la humedad relativa HR , la velocidad del aire V_a , el aislamiento por ropa de los ocupantes I_{clo} , el nivel de actividad, la superficie de área corporal SAC y la edad. En la Figura 2 se muestra el desempeño de los modelos RNA, en función del R^2 . El incremento de las neuronas en las capas ocultas no fue proporcional a la precisión del modelo.



a) Una capa oculta.



b) Dos capas ocultas.



c) Tres capas ocultas.

Figura 2. Desempeño del modelo predictivo.

Con base a los resultados anteriores, la iteración con mejor desempeño, resultó con R^2 de 0.72, en este caso, fue el perceptrón multicapa seleccionado cuenta con 7 variables de entrada, 30 neuronas en la primera capa oculta, 20 en la segunda capa oculta y una neurona en la capa de salida. Las funciones de activación fueron la tangente hiperbólica de las dos capas ocultas y la función lineal en la capa de salida. En la Figura 3 se muestra la arquitectura del modelo RNA optimizado.

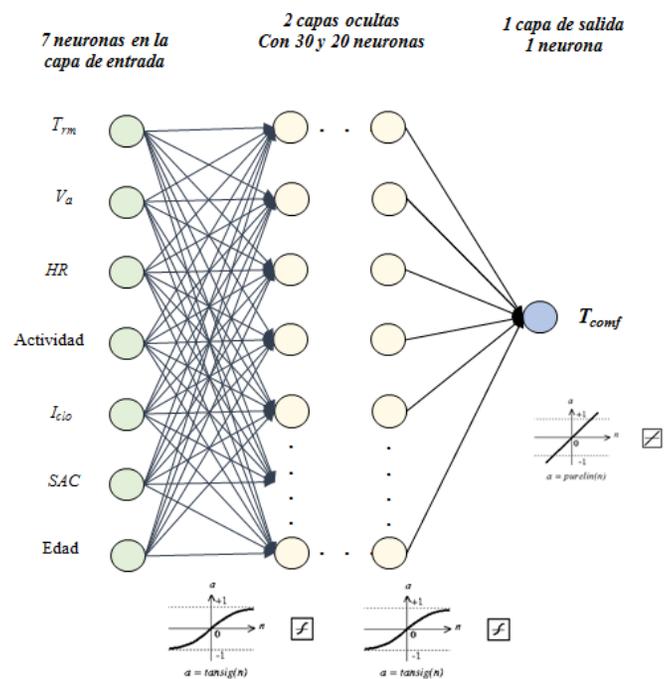


Figura 3. Arquitectura del modelo basado en RNA para la predicción de la temperatura de confort.

En la Tabla 1 se muestra el comparativo entre las T_{comf} determinadas en el estudio de campo y las predichas con el modelo RNA optimizado durante el periodo de entrenamiento. El modelo RNA optimizado predice las T_{comf} hasta con el 72.0% de precisión en el intervalo de 21.2-31.4°C, con un MAE del 1.9°C.

La diferencia media de la temperatura entre las T_{comf} determinadas en el estudio de campo y las predichas con el modelo fue de 0.2°C . Lo anterior muestra que el modelo RNA optimizado puede predecir adecuadamente la T_{comf} .

Tabla 1. Comparativo entre las T_{comf} predichas con el modelo RNA optimizado y las determinadas en el estudio de campo.

| Método | Media | DE | Máx. | Min. | Suma | R^2 | MAE |
|------------|--------|------|------|------|------|--------|----------|
| T_{comf} | Medido | 25.9 | 2.4 | 31.7 | 17.9 | 7580.3 | 0.72 1.9 |
| | RNA | 25.7 | 1.6 | 31.4 | 21.2 | 7545.4 | |

En la Figura 4 se muestra el comparativo entre las T_{comf} determinadas durante el estudio de campo y las predichas con el modelo RNA optimizado, con respecto al voto de sensación térmica. Las T_{comf} predichas con el modelo RNA optimizado, se encuentran en su mayoría, en el intervalo de $23.0\text{-}28.0^{\circ}\text{C}$, que corresponde a la zona de confort determinada durante el estudio de campo.

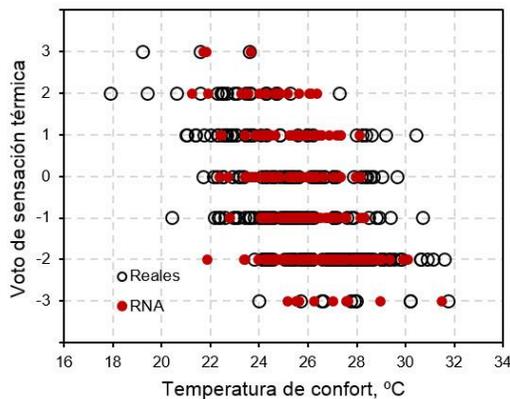


Figura 4. Comparación entre las T_{comf} determinadas durante el estudio de campo y las predichas con el modelo RNA.

3.2. Comparativo entre el modelo RNA optimizado con modelos adaptativos

El desempeño del modelo RNA optimizado se comparó con un modelo local y el modelo propuesto por la guía CIBSE A, descritos por las Ecuaciones 4 y 5, respectivamente.

$$T_{comf} = 0.13T_{rm} + 22.7 \quad (R^2 = 0.043) \quad (4)$$

$$T_{comf} = 0.09T_{rm} + 22.6 \quad (5)$$

En la Tabla 2 se muestran los parámetros usados para la predicción de la T_{comf} en los tres modelos adaptativos. En el comparativo de los modelos, se mantuvieron constantes los valores medios de la V_a , la HR , el nivel de actividad, el aislamiento por ropa, el SAC y la edad. La T_{rm} fue variable, con

valores correspondientes a las condiciones climáticas del periodo de estudio, del 27 de febrero al 31 de mayo de 2019.

Tabla 2. Parámetros utilizados en el comparativo de los modelos para la predicción de la T_{comf} .

| Parámetro | guía CIBSE A | Modelo local | Modelo basado en RNA |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| T_{cont} , $^{\circ}\text{C}$ | $T_{comf} = 0.13T_{rm} + 22.70$ | $T_{comf} = 0.09T_{rm} + 22.6$ | 7-30-20-1 |
| T_{rm} , $^{\circ}\text{C}$ | Variable | Variable | Variable |
| HR , % | — | — | 53.9 |
| V_a , m/s | — | — | 0.12 |
| Aislamiento por ropa, clo | — | — | 0.62 |
| Nivel de actividad, met | — | — | 1.15 |
| SAC, m^2 | — | — | 1.67 |
| Edad, años | — | — | 26.4 |
| Periodo de estudio | 27 de febrero al 31 de mayo | | |

En la Figura 5 se muestran los perfiles de temperaturas predichas con los modelos evaluados, durante el periodo de estudio. El modelo RNA optimizado tuvo una T_{comf} promedio de $27.0 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$, con máximas y mínimas de 29.8°C y 24.2°C , respectivamente. La T_{comf} promedio con el modelo local fue de $25.9 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, con máximas y mínimas de 26.7°C y 25.1°C , respectivamente. La T_{comf} promedio determinada con la guía CIBSE fue de $24.8 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, con máximas y mínimas de 25.3°C y 24.2°C , respectivamente.

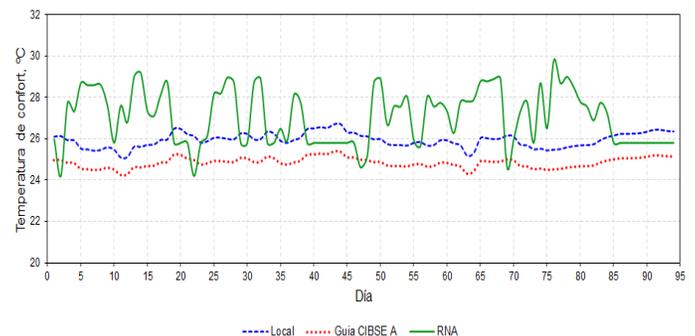


Figura 5. Comparativo de la predicción de la T_{comf} entre el modelo RNA optimizado, un modelo local y el modelo propuesto por la guía CIBSE A.

En el comparativo se observó que las T_{comf} predichas con el modelo RNA optimizado estuvieron por encima de las T_{comf} predichas con el modelo local y de la guía CIBSE A, en promedio 2.2°C y 1.1°C , respectivamente. Con un intervalo de temperatura mayor, con diferencias de hasta 4.5°C y 4.0°C para el modelo local y la guía CIBSE A, respectivamente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo RNA optimizado permite determinar con mayor precisión la T_{comf} , siendo hasta 16.7 veces mejor que los modelos convencionales de confort. En este trabajo se observa que es considerable el potencial los modelos basados en RNA para predecir la T_{comf} .

El incremento de la T_{comf} permite mejorar el confort térmico de los ocupantes y ahorrar energía al utilizar menor capacidad de enfriamiento para la climatización térmica. El modelo RNA optimizado predice la T_{comf} en un intervalo con temperaturas más altas de 24.2-29.8°C, lo que permite lograr un ahorro de energía al climatizar con sistemas de aire acondicionado, sin comprometer el confort térmico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen ampliamente al Tecnológico Nacional de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para hacer realidad este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Attoue, N., Shahrour, I., & Younes, R. (2018). Smart Building: Use of the Artificial Neural Network Approach for Indoor Temperature Forecasting. *Energies*, 11(2), 395.
- [2] Carlucci, S., Bai, L., de Dear, R., & Yang, L. (2018). Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents. *Building and Environment*.
- [3] CIBSE. (2006). Chartered Institution of Building Services. Environmental design : CIBSE guide A. (Vol. A). London: CIBSE.
- [4] de Dear, R., Brager, G., & Berkeley, U. C. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *Ashrae Rp- 884*, 104(March), 1–18.
- [5] Deng, Z., & Chen, Q. (2018). Artificial neural network models using thermal sensations and occupants' behavior for predicting thermal comfort. *Energy and Buildings*, 174, 587–602.
- [6] Enescu, D. (2017). A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1353–1379.
- [7] Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G.-E., Necula, H., & Badea, A. (2015). The historical evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 243–253.
- [8] Kim, J., Zhou, Y., Schiavon, S., Raftery, P., & Brager, G. (2018). Personal comfort models: Predicting individuals' thermal preference using occupant heating and cooling behavior and machine learning. *Building and Environment*, 129, 96–106.
- [9] Kotteck, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.
- [10] López-Pérez, L. A., Flores-Prieto, J. J., & Ríos-Rojas, C. (2019). Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate. *Building and Environment*, 150, 181–194.
- [11] Moon, J. W., Yoon, Y., Jeon, Y. H., & Kim, S. (2017). Prediction models and control algorithms for predictive applications of setback temperature in cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 113, 1290–1302.
- [12] Nicol, F., Humphreys, M., & S, R. (2012). Adaptive thermal comfort: Principles and practice. *Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice*, 1–175.
- [13] Peng, Y., Nagy, Z., & Schlüter, A. (2019). Temperature-preference learning with neural networks for occupant-centric building indoor climate controls. *Building and Environment*.
- [14] Povl Ole Fanger. (1972). Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering: Fanger, P.O. Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark, 1970, 244 pp.: abstr. in World Textile Abstracts. *Applied Ergonomics*, 3(3), 181.
- [15] Saber, E. M., Tham, K. W., & Leibundgut, H. (2016). A review of high temperature cooling systems in tropical buildings. *Building and Environment*, 96, 237–249.
- [16] Sánchez-García, D., Rubio-Bellido, C., del Río, J. J. M., & Pérez-Fargallo, A. (2019). Towards the quantification of energy demand and consumption through the adaptive comfort approach in mixed mode office buildings considering climate change. *Energy and Buildings*, 187, 173–185.
- [17] Shaikh, P. H., Bin, N., Nor, M., & Nallagownden, P. (2013). Robust Stochastic Control Model for Energy and Comfort Management of Buildings. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(10), 137–144.
- [18] Yoon, H.-J., Lee, D.-S., Cho, H., & Jo, J.-H. (2018). Prediction of Thermal Environment in a Large Space Using Artificial Neural Network. *Energies*, 11(2), 418.

Diseño y ensamble mecánico de un sistema de suavización de agua

MIA. Santos Olvera Orlando K *.

Ojeda Barroso José A. *

MC. Vázquez Chávez Luis A. *

*Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra, Guanajuato, México
(Tel: 4435621053); e-mail: orsantos@itess.edu.mx
(Tel: 4666639800); e-mail: luvazquez@itess.edu.mx
(Tel: 4661253329); e-mail: in16110361@itess.edu.mx

Resumen: Se realizó el diseño y el ensamble de un sistema de suavización de agua de intercambio iónico. Se efectuó utilizando dos softwares de dibujo asistido por computadora; CATIA V5 y AUTOCAD 2018 versión del estudiante para el proyecto de todo el sistema. El diseño fue elaborado por tres componentes principales: Tanque de salmuera (TK1), tanque de suavización (TK2), tanque de almacenamiento (TK3). El objetivo de este trabajo fue diseñar un sistema de suavización de agua que retire iones de calcio y magnesio presentes en el agua dura que ocasionan corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua. Obteniendo como resultado el bosquejo general del sistema.

Palabras clave: Agua dura, calcificaciones, intercambio iónico.

1. INTRODUCCIÓN

El ablandador de agua es una unidad para eliminar los iones de calcio y magnesio de un volumen determinado, en un tiempo definido; es un equipo que, por medios mecánicos, químicos y/o electrónicos trata el agua para reducir el contenido de sales minerales y sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua (Cervantes, 2015). El ablandamiento del agua es un proceso importante porque la dureza del agua en las casas y en las industrias es disminuida durante este proceso. El ablandamiento del agua puede prevenir estos efectos negativos. El agua dura causa un alto riesgo de depósitos de cal en los sistemas de agua de los usuarios (Moreira Romero, 2016). El diseño del sistema de suavización realizado en este artículo se fundamenta en estudios previos sobre el intercambio iónico “disminución de consumo de sal en la regeneración de resina catiónica en suavizadores de 167ft³”. En el cual se detalla el proceso del intercambio iónico para retirar iones de calcio y magnesio presentes en el agua (Santos Olvera, 2018).

1.1 Aplicación industrial

Gran parte de los equipos industriales requieren de agua para operar. Existen problemas de la calidad del agua asociados con la acumulación de sedimentos incluyen el aumento de la demanda de desinfectante, crecimiento microbiano, incremento de la turbidez en el agua, entre otros (Parmelee, 2002). En equipos especializados el agua utilizada en ellos no

es agua común o también llamada agua dura. El agua requerida por ellos para operar es agua suave. El agua suave garantiza una vida útil y eficiente de los equipos al operar, ya que se disminuye la concentración de sedimentos minerales que ocasionan daños parciales e irreversibles en los equipos. Obstrucciones en tuberías, a causa de calcificaciones. De los minerales más comunes en el agua dura que generan estos daños son: el calcio (Ca) y magnesio (Mg). Según la National Environmental Services Center. Uno de los métodos más comunes para retirar estos minerales es el intercambio iónico logrado en un suavizador de agua. El intercambio de iones implica el uso de resinas sintéticas, donde un ion pre saturado en fase sólida (el adsorbente, usualmente es sodio), es intercambiado por los iones no deseados en el agua.

1.2 Intercambiador iónico

Los intercambiadores iónicos son materiales sólidos, insolubles, con cationes y aniones intercambiables en su superficie interna y externa. Al ponerse en contacto un sólido de estas características con una especie iónica en solución, se produce un intercambio entre los grupos iónicos del sólido y los iones del mismo signo de aquella, hasta que se alcanza un equilibrio dinámico, en el que la distribución de iones entre el sólido y el líquido permanece constante (Sonora, s.f.)

En la figura 1, se muestra la operación del intercambio iónico.

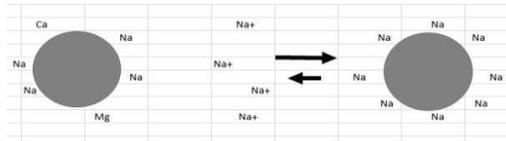


Fig. 1. Intercambio Iónico: Esquema del proceso de intercambio iónico.

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido, los iones presentes en el agua están divididos en aniones y cationes (Pauer, 1990). En el proceso de intercambio iónico ocurre una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido (Sonora, s.f.)

1.3 Suavizador de agua

Los suavizadores clásicos están constituidos por un cilindro vertical cerrado, que contiene dos líneas principales de agua una de entrada (agua dura) y otra de salida (agua suave). Los suavizadores de agua de uso industrial integran controles de fácil operación y casi nulo mantenimiento, retiran calcio y magnesio que son minerales que abundan en el agua, provocando incrustaciones muy difíciles de retirar en tuberías, calderas y torres de enfriamiento.

2. DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema de suavización se diseñó a partir de las necesidades de consumo de agua suave del laboratorio de equipo pesado del Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra. El cual es aproximadamente de 26.41 gal por semana.

En la figura 2, se muestra el diseño general del sistema de suavización de agua.

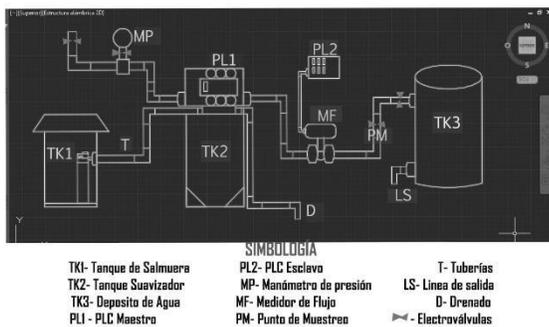


Fig. 2. Diseño general el sistema de suavización de agua.

El sistema diseñado está compuesto de doce componentes principales que generan agua suave, los cuales son mostrados en la figura 2. El agua dura se integra al sistema antes del medidor de presión la cual debe tener una presión de 20125lb para que el sistema funcione correctamente.

Posteriormente el agua dura es dirigida al tanque de suavización TK2 controlada por un PLC maestro PL1. Dentro del TK2 se realiza el proceso de suavización descrito anteriormente. El agua una vez suavizada toma la salida del tanque controlada nuevamente por el PL1 y dirigida a una línea con destino a un tanque o depósito de agua suave TK3. Pasando previamente por un medidor de flujo MF y un PLC esclavo. Antes de la entrada del TK3 se localiza un punto de muestreo para el agua suave y a la salida se localiza una línea de puga LS. Como elemento principal se localiza una línea de drenaje controlada por la PL1.

2.1 Determinación del tamaño del tanque suavizador (TK2).

En equipos de uso industrial, por tratarse de equipos que van a estar sujetos a altas presiones deberá basarse en las normas del American Petroleum Institute (API) o American Society of Mechanical Engineers (ASME). El Factor determinante que va a organizar un diseño óptimo y un trabajo eficiente de un ablandador es; su correcto dimensionamiento (Cervantes, 2015). La parte inicial del diseño del sistema es calcular el volumen de carga del suavizador TK2. Contando con el volumen inicial se pueden determinar las dimensiones de todos los componentes que integran el sistema.

$$H = L1 + H + L2 \quad (1)$$

$$V = \pi r^2 h \quad (2)$$

Se utilizó la ecuación 1 para determinar la altura del tanque y la ecuación para el volumen del tanque de suavización TK2. En la figura 3, se muestran las dimensiones del tanque de suavización.



Fig. 3. Tanque de salmuera: Dimensiones de largo y ancho del TK2.

2.2 Tanque de salmuera

El tanque de salmuera tiene como objetivo contener *sal + agua*. Es el encargado de la regeneración de la resina catiónica que está contenida en el tanque de suavización. El TK1 es controlado por el PL1 el cual reconoce y direcciona el flujo de salmuera al tanque suavizador.

Cuando la salmuera se agota se prepara nuevamente la mezcla. Las resinas de intercambio iónico son insolubles en agua, de naturaleza polimérica, contienen grupos ionizados (aniones o cationes), en forma repetitiva a lo largo de la cadena que las forman. Estos grupos tienen su carga neutralizada por iones de signo contrario (contraiones), que pueden ser intercambiados de manera estequiométrica por otros iones de igual signo al ponerse en contacto con una solución de electrólitos. Las resinas intercambiadoras de cationes se denominan catiónicas y las de aniones, aniónicas. (Herrera, 2013) En la figura 4, se muestra el tanque de salmuera.

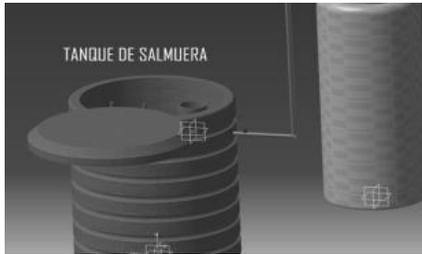


Fig. 4. Tanque de salmuera: Depósito de solución sal + agua.

2.3 Depósito de agua suavizada

Agua suave es un agua que está libre de sales disueltas, tales como carbonatos de calcio y sulfatos. Naturalmente el agua suave tiene un ligero contenido de acidez, debido a los gases absorbidos como por ejemplo el CO₂ (Henríquez Harper, 2004) El agua suavizada es trasladada al depósito de agua TK3, el cual se diseñó para almacenar hasta litros. El PLC maestro es el encargado de realizar esta función. Cuando el suavizador se sature PL1 cerrará las válvulas para que no pase agua sin suavizar al depósito.

En la figura 5, se muestra el depósito de agua suavizada.



Fig. 5. Depósito de agua suavizada.

2.4 PLC maestro y esclavo

En el PLC maestro es donde se tiene la programación principal, el PLC maestro lee del PLC esclavo la información que requiera. Es muy común en comunicaciones de protocolo MODBUS donde se tiene un PLC maestro y un PLC esclavo. El PLC maestro es quien gobierna los ciclos de comunicación, toda iniciativa o actividad de comunicación es llevada a cabo

por este equipo. El PLC maestro dirige la automatización del sistema (operación) esclavo apertura de válvulas dependiendo el ciclo que ordene el maestro.

En la figura 6, se muestra el PLC maestro y esclavo.

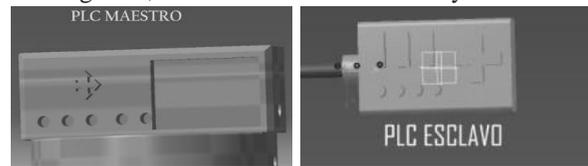


Fig. 6. PLC maestro y esclavo acoplados al sistema de suavización.

2.5 Manómetro de presión

El manómetro utilizado en este sistema está diseñado para usos generales y su función es indicar la presión del agua que entra por la línea principal de agua dura; así como vigilar y alertar que no exista pérdida de presión en esta línea. El manómetro de fluidos es no corrosivo al aire, agua, aceite, etc. Se utiliza principalmente bombas, calderas, compresores, entre otras. La presión del sistema de entrada debe ser de 20125lb. La presión de trabajo en todos los casos anteriores debe limitarse a 75% del rango del manómetro. En la figura 7, se observa el manómetro de presión.

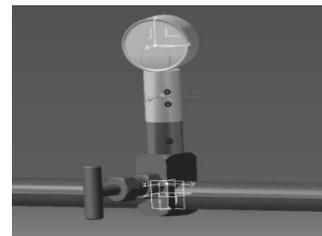


Fig. 7. Manómetro de presión.

2.6 Medidor de flujo

Los medidores de flujo se emplean en operaciones tan diversas, como son el control de procesos, balances de energía, distribución, emisión de contaminantes, metrología legal indicación de condición y alarma, hasta lo que probablemente es la aplicación más importante, la transferencia de custodia de fluidos como el petróleo y sus derivados.

La medición de flujo de fluidos es un proceso complejo debido a que otras magnitudes tienen una influencia determinante en el comportamiento de los medidores de flujo, en algunos casos es afectado también por instalaciones inadecuadas que producen distorsiones en el régimen de flujo, vórtices y vibración. (Loza Guerrero, s.f.)

En la figura 8, se muestra en medidor de flujo.

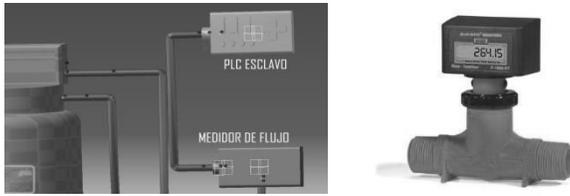


Fig. 8. PLC maestro y esclavo que se acoplan al sistema de suavización.

2.7 Tuberías, línea de salida y línea de drenaje

Las tuberías, la línea de salida y la línea de drenaje corresponden a un mismo sistema y por tal motivo la función y el material del que están compuestos es el mismo. La función de las tuberías es distribuir agua dura al interior del suavizador de agua; así mismo distribuir el agua suave al tanque de almacenamiento TK3. La línea de salida tiene la función de proporcionar agua suave a los requerimientos del laboratorio de equipo pesado. Y la línea de drenaje direcciona el agua sobrante del proceso de regeneración catiónica. Las piezas son unidas por termo fusión, proceso que las convierte en una sola pieza (unión molecular). El fabricante menciona las siguientes características que la hacen la mejor opción para el diseño del sistema. Soporta temperaturas extremas de agua (-5°, 90° C). Alta resistencia a la presión del agua (24 kg / cm² a temperatura ambiente 20° C).

En la figura 9, se muestran las tuberías, líneas de salida y drenaje.

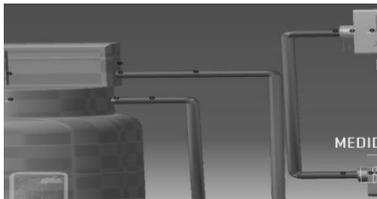


Fig. 9. Tubería de distribución, línea de salida y drenaje

3. CICLO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

El funcionamiento eficiente del sistema depende de cuatro ciclos de operación. Sin estos ciclos el sistema no funcionaría correctamente el agua dura no será suavizada ocasionando posibles daños y deterioro a las instalaciones hidráulicas.

3.1 Ciclo de operación/servicio

Durante este ciclo, el ablandador se encuentra en operación normal, el agua dura ingresa a través de válvulas y tuberías hasta un deflector que se encuentra ubicado en la parte superior del tanque de resina, el cual se encarga de distribuir en forma uniforme el agua sobre la resina de intercambio iónico. El agua fluye hacia abajo tomando contacto con la resina. El medio que hace posible este intercambio se llama resina catiónica, la cual está compuesta por granos de poliestireno con carga negativa. Cuando la dureza Mg²⁺ y Ca²⁺ entra en contacto con la resina los iones son capturados por las cargas negativas de la resina, liberando a los iones de sodio y potasio Na⁺ y K⁺ (Alva, 1999)

En la figura 10, se muestra el diagrama del ciclo de operación.

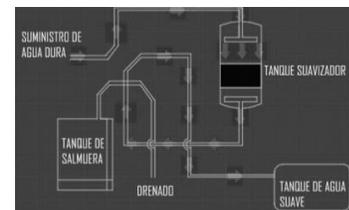


Fig. 10. Diagrama del ciclo de operación.

3.2 Ciclo de retrolavado

Cuando se satura la resina catiónica y ya no se produce el intercambio iónico es necesario hacer circular el agua en sentido contrario a la circulación de operación durante la suavización. Se hace circular en dicho sentido, ósea, contrario para poder retirar impurezas y redistribuir la cama, con lo que se evita que se forme un amasa compacta. El tiempo de lavado a contra corriente será dependiente de la cantidad de residuos en el lecho de la resina y el lavado contra corriente debe ser continuo hasta que el flujo este limpio y claro. Por lo general 10, 15 minutos es suficiente (Alva, 1999).

En la figura 11, se observa el ciclo de retrolavado

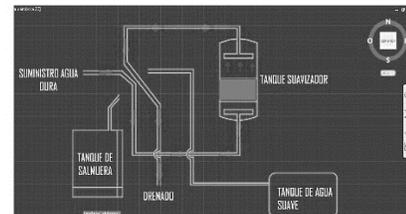


Fig. 11. Ciclo de retrolavado

3.3 Ciclo de regeneración

La resina de intercambio iónico se acondiciona con una solución de sal común altamente concentrada para reponerle los iones de Na que se emplearon para suavizar el agua.

Dicha salmuera se hace pasar a través de la cama por medio de la acción que proporciona un tubo de Venturi que está instalado en el tanque de control de la salmuera. El exceso de salmuera y los iones desprendidos de la resina son enviados al drenaje. El producto químico que se usara como regenerante para la resina catiónica es una disolución de cloruro de sodio con una concentración que varía entre el 15% y 30% (Alva, 1999).

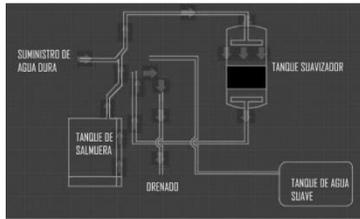


Fig. 12. Ciclo de regeneración

3.4 Ciclo de enjuague

Este paso de la regeneración la resina catiónica, se enjuaga la cama de resina con agua natural, para retirar cualquier resto de salmuera, con lo que la resina queda lista para iniciar un nuevo ciclo de suavización. Cuando el agua que sale del enjuague no contiene sal se puede dar por terminado el ciclo de regeneración. Dando lugar al ciclo de operación.

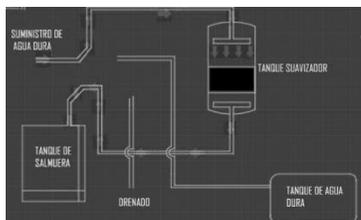


Fig. 13. Ciclo de enjuague

4. CONCLUSIONES

El diseño de este sistema facilitará su construcción posterior ya que será la guía para su ensamble. El proyecto que se realizó contribuyó de manera muy importante para identificar y resaltar los puntos esenciales que hay que cubrir; como lo son los elementos del sistema y considerarlos para llevar a cabo una implementación exitosa. Con el diseño de este sistema se podrá acceder al siguiente paso planteado previamente que es la automatización del mismo. Esto quiere decir que el sistema realice los pasos de regeneración de manera autónoma, que es lo que los diferencia de los demás, así mismo se indica la premisa para poder realizar los cálculos matemáticos y químicos de diseño interno del tanque de suavización.



Fig. 14 Sistema de suavización de agua 3D

4 REFERENCIAS

Alva, G. M., 1999. *TRATAMIENTO DEL AGUA PARA UNA CALDERA. SUAVIZADOR REGENERACIÓN DE LA RESINA CATIONICA*. En: V. Plaza, ed. *ANÁLISIS DE RIESGOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CALDERA*. México: P y V, pp. 48-53.

Cervantes, L. A., 2015. *Ablandador de agua*. En: *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica*. Quito: s.n., p. 13.

Cervantes, L. A., 2015. *Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica*. Primera ed. Quito: s.n.

Henríquez Harper, G., 2004. *Los suministros de agua fría y caliente*. En: Noriega, ed. *Manual práctico de instalaciones hidráulicas, sanitarias y de calefacción*. México: Limusa, p. 216.

Herrera, D. C., 2013. *Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico*. *Ingeniería industrial*, Issue 31, p. 18.

Loza Guerrero, D. A., s.f. *La Metrología de Flujo de Líquidos en México*. XV SEMINARIO Y II ENCUENTRO Nacionales de Metrología y Normalización Para la industria y la Educación, p. 1.

Moreira Romero, A., 2016. *Consideraciones actuales sobre ablandamiento del agua*. *Dominio de las ciencias*, II(4), p. 338. Parmelee, M. A., 2002. *Exposition Showcases Innovations for Water Suppliers*. American Water Works Association, 94(8), p. 44.

Pauer, R. E., 1990. *GENERALIDADES SOBRE EL INTERCAMBIO IÓNICO*. Rosario, s.n.

Santos Olvera, O. K., 2018. *Disminución del consumo de sal en la regeneración de resina catiónica en suavizadores de 163 pies cúbicos*. En: T. G. Jaime Gil Lafuente, ed. *LA GESTION COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTION EMPRESARIAL*. Morelia: s.n., p. 2041.

Algoritmo EMF para Eficientar la Búsqueda de Soluciones en Problemas de Inteligencia Artificial

Francisco J. Castillo Flores
Dr Manuel Mejía Lavalle – Dra Andrea Magadán Salazar



TecNM | Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
{javier.castillo19ce, mlavalle, magadan}@cenidet.edu.mx



Motivación

- Uno de los retos principales de la Inteligencia Artificial es eficientar los algoritmos de búsqueda clásica de soluciones, para arrojar soluciones en el menor tiempo posible.
- Aunque existen diversos algoritmos de búsqueda clásica reportados en la literatura especializada [1], no todos se desempeñan bien en todos los dominios, por lo que no existe un algoritmo ideal.
- Por lo anterior se desea diseñar un algoritmo de búsqueda que mejore a los ya existentes y que sea una alternativa atractiva en el campo de la Inteligencia Artificial.

Problemática

- Los problemas de búsqueda de soluciones han sido estudiados desde los inicios de la Inteligencia Artificial [2].
- Algoritmos como el de búsqueda en anchura (*Breadth-first search* [3]) es completo (encuentra una solución si existe) y óptimo (encuentra la solución más corta), sin embargo, para una búsqueda en el nivel 14 de un árbol con factor de arborescencia igual a 10, tardaría 3,500 años en encontrar la solución y requeriría 11 mil Terabytes de memoria.
- Aunque existen diversos algoritmos heurísticos que mejoran a la búsqueda en anchura, aún éstos, para problemas grandes, suelen consumir bastante tiempo y memoria.
- Se siguen necesitando algoritmos más eficientes, con más razón ahora en la época del *Big Data*.

Objetivo

- Diseñar, experimentar y evaluar un nuevo algoritmo de búsqueda que mejore la eficiencia de tiempo y memoria frente a otros algoritmos citados en la literatura de Inteligencia Artificial clásica.

Propuesta de solución

- Se propone un algoritmo de búsqueda heurístico que, sin ordenar a los elementos de una lista (como lo hacen *Hill Climbing* o *Best First Search*), ni descartar elementos (como lo hace el algoritmo *Beam*), logre encontrar la solución de manera más eficiente.
- El pseudocódigo del algoritmo propuesto, que hemos denominado "El Mejor al Frente" (EMF) es el siguiente:

Crear una agenda (lista) de un elemento (el nodo raíz) hasta que la agenda esté vacía o se alcance la meta si el primer elemento es la meta entonces reportar la solución y finalizar si no eliminar el primer elemento y añadir sus sucesores a la agenda y poner al frente al nodo con el mejor valor heurístico

Resultados

Para el experimento se usó el siguiente árbol de estados, en el cual se busca llegar a la meta C'. Se probaron los algoritmos de búsqueda A profundidad (*Depth First Search*), Anchura (*Breadth First Search*), *Hill Climbing*, *Beam Search* y *Best First Search* para evaluar su desempeño.

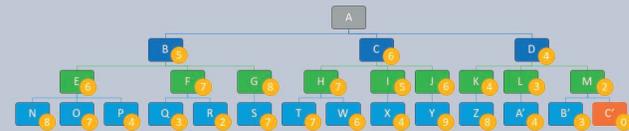


Figura 1. Árbol de estados utilizado

Obteniendo lo siguiente:

| Algoritmo | Pasos para resolver el problema | Tamaño de la agenda |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <i>Depth First Search</i> | 30 | 7 |
| <i>Breadth First Search</i> | 28 | 14 |
| <i>Hill Climbing</i> | 15 | 6 |
| <i>Beam Search</i> ($\omega=3$) | 28 | 14 |
| <i>Best First Search</i> | 5 | 8 |
| EMF | 5 | 6 |

Tabla 1. Desempeño de los algoritmos



Figura 2. Rendimiento de los algoritmos

De manera similar se evaluó EMF para 100 casos aleatorios del problema 8-puzzle y en la mayoría de los casos el algoritmo propuesto encontró el estado meta en menos pasos y con un tamaño de agenda más pequeño, en la misma proporción que mejoró el árbol de la Figura 1.

Conclusiones

- Se propuso el algoritmo EMF como alternativa eficiente en problemas de búsqueda clásica en Inteligencia Artificial.
- Se comprobó que el algoritmo EMF resulta una buena alternativa eficiente al encontrar la solución en menos pasos y ocupando menos memoria (tamaño de agenda más pequeño).
- En el futuro inmediato se probará EMF en aplicaciones del mundo real.

Referencias

- [1] S. Russel and P. Norvig, *Artificial Intelligence*, Prentice Hall, 2010.
- [2] A.J. Wiis and M.T. Dashti, *Extended Beam Search for Non-Exhaustive State Space Analysis*, *Journal of Logic and Algebraic Programming*, 2012.
- [3] A. Kumar, S. Vembu, A.K. Menon, and C. Elkan, *Beam search algorithms for multilabel learning*, *Machine learning*, July 2013.

"Gestión de Servicios Web de Aprendizaje con contenido para su composición automática"

Iván Humberto Fuentes Chab
Asesora: Dra. Olivia Graciela Fragozo Diaz

INTRODUCCIÓN

- El desarrollo de aplicaciones web ha ido evolucionando gradualmente, de tal modo que resultan ser cada vez más fácil de usar, paralelamente han incrementado sus tecnologías con el propósito de brindar funciones independientes y libres a cualquier plataforma o entorno web, lo que ocasionalmente dio origen a los Servicios Web.
- Estos servicios son usados en diversos campos con bastos contenidos de información, entre ellos se encuentra la educación con una modalidad conocida como Aprendizaje Electrónico (e-learning), que es la adquisición de conocimientos a través de Internet. Donde tradicionalmente se ha hablado de Objetos de Aprendizaje [3] como recursos manejados en plataformas educativas, para aprender sobre un tema específico.
- En este contexto, surge la necesidad de desarrollar Servicios Web de Aprendizaje (SWA) para entregar el conocimiento [1], y solventar los problemas de dependencias que presentan los objetos de aprendizaje.
- Se llama SWA con contenido cuando un recurso de aprendizaje está contenido en un servicio web, representado en la Figura 1, con el propósito de evitar la dependencia entre servicio y recurso [4]. El tipo de un SWA corresponde al objeto de aprendizaje que contiene, indicados en la Figura 2.



OBJETIVO GENERAL

- Definir una estrategia de gestión para Servicios Web de Aprendizaje con contenido para que puedan participar en procesos de composición automática en la presentación de un recurso que ha sido previamente segmentado y reconstruido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

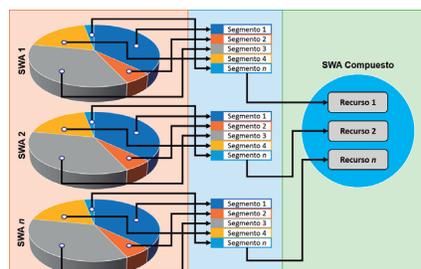
- Identificar las características para una guía de composición automática.
- Realizar las composiciones de Servicios Web segmentados para manejar su gestión.

PROBLEMÁTICA

- Cuando se requiere usar un SWA cuyo contenido es muy grande, uno de los problemas que se presenta es el desbordamiento de memoria en el almacenamiento dinámico al momento de su carga y ejecución, independientemente de su manera de entrega, sea en SOAP o REST.
- Esto provoca que el recurso contenido en un SWA no se presente adecuadamente a un usuario o cliente, por lo que se debe implementar una estrategia que permita gestionar su información.
- Por lo tanto, es deseable obedecer a una guía de composición que realice la segmentación y la reconstrucción de un SWA con contenido de gran tamaño.

METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

- Definir e implementar una estrategia de gestión de SWA con contenido, como la propuesta en la Figura 3.
- Esto consiste en generar metadatos, la información y las reglas necesarias para ejecutar la composición de los SWA y su adecuada presentación.
- Donde se realicen procesos de segmentación y reconstrucción del recurso contenido en un SWA.



IMPLEMENTACIÓN & EXPERIMENTACIÓN

- Este trabajo de investigación implementa un componente de software a la herramienta Generador de Servicios Web de Aprendizaje Compuestos a partir de Recursos Educativos [2], para resolver el problema en el desbordamiento de memoria del recurso de un SWA.
- Pruebas preliminares obtenidas indican que las segmentaciones realizadas a los SWA, en los protocolos de SOAP y REST, se fragmentan de manera correcta y equitativa.
- Los procesos de gestión para ordenar a los segmentos obtenidos de un recurso de aprendizaje se realizan distinto para cada protocolo, en SOAP se ordenan en una única clase donde cada fragmento pertenece a un método, y en REST se genera una clase para cada fragmento, de tal manera que deben realizarse pruebas para determinar cual de estos dos protocolos es mejor.
- Se está desarrollando un cliente gestor para la reconstrucción y presentación de los SWA que han sido segmentados. De igual manera para SWA compuestos, lo que significa que al menos dos servicios se encontrarán contenidos en un único servicio [5].

REFERENCIAS

- [1] Delgado Fernández, P. (2012). *Servicios Web de Aprendizaje*. Cuernavaca, Morelos, México: Tesis de Maestría en Ciencias, CENIDET.
- [2] Escobar Megchún, J. A. (2017). *Generador de Servicios Web de Aprendizaje Compuestos a partir de Recursos Educativos*. Cuernavaca, Morelos, México: Tesis de Maestría en Ciencias, CENIDET.
- [3] IEEE Learning Technology Standards Committee (2002). *Learning Object Metadata*. IEEE 1484.12.1.
- [4] Salinas Roman, H. (2017). *Modelado Orientado a Objetos para Medir la Calidad en Servicios Web de Aprendizaje*. Cuernavaca, Morelos, México: Tesis de Maestría en Ciencias, CENIDET.
- [5] Sheng, Q. Z., Qiao, X., Vasilakos, A. V., Szabo, C., Bourne, S., & Xu, X. (2014). *Web services composition: A decade's overview*. Elsevier, 218-238. DOI: 10.1016/j.ins.2014.04.054.

Generación de Servicios Web de Aprendizaje para un proceso de negocio



Julia Guadalupe Juárez Hernández

Asesora: Dra. Olivia Graciela Fragozo Díaz



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Introducción

Actualmente, la tecnología es un factor determinante para el éxito o fracaso de un negocio. Las empresas que incorporan adecuadamente sistemas de información en su infraestructura, se posicionan para lograr ventajas competitivas. Estas ventajas se logran gracias a que se capacita continuamente a su personal en las diferentes áreas que conforman la empresa (alta gerencia, gestión y operación).

Con base en un estudio realizado por investigadores del Imperial College London [1], se demostró que la capacitación en línea es igualmente efectiva que la capacitación tradicional. Además, demostraron que los costos de la capacitación con esta modalidad disminuyeron hasta en un 60%.

El director general de Pink Elephant Latinoamérica [2] señaló:

"Modalidades como el e-learning han venido a revolucionar la manera en la que la capacitación toma forma y vuelve más eficientes los esfuerzos de las áreas de Capital Humano, ayudando a ahorrar dinero y tiempo para participar en los cursos. Algunas de las ventajas que se ha visto en diversas organizaciones al implementar la capacitación con e-learning, (también conocido como e-training) es la posibilidad de interactuar con profesionales de todo el mundo e intercambiar puntos de vista; tener este contacto constante con herramientas de TI, además de autogestionar las actividades y tiempos de estudio, permite que el talento pueda desarrollarse exponencialmente".

De acuerdo con [3] la capacitación que se imparten en el lugar de trabajo no utilizan los recursos de aprendizaje adecuados. Por lo anterior, es necesario buscar una forma de que los recursos de aprendizaje sean pertinentes.

Problema

Los requerimientos de capacitación, entrenamiento en empresas y organizaciones rara vez se cumplen en las modalidades tradicionales, tal como el envío de las personas fuera de la empresa a cursos intensivos. Aparte del tiempo empleado y el costo, lo más significativo es que normalmente, aunque haya un aprendizaje en los cursos, el aprendizaje no es pertinente para resolver las necesidades de la empresa porque el curso no necesariamente refleja en su totalidad la forma en que se trabaja en la empresa. El problema es que los empleados no cuentan con la capacitación pertinente para resolver las necesidades de la empresa.

Objetivo

El objetivo es utilizar documentación de un proceso de negocio para generar Servicios Web de Aprendizaje (SWA) con sus descriptores de dominio, de tal manera que el recurso sea pertinente para la capacitación en el lugar de trabajo.

Alcances

- Analizar los procesos e identificar los elementos necesarios que requieren los Servicios Web de Aprendizaje.
- Obtener los descriptores asociados a esos Servicios Web de Aprendizaje.
- Generar los Servicios Web de Aprendizaje correspondientes a los procesos.
- Clasificar los objetos de aprendizaje.

Propuesta de solución

1. Identificar las actividades y tareas que se involucran en el proceso de negocio.

2. Verificar la existencia de recursos de aprendizaje para las tareas identificadas.

3. Generar los cuatro tipos de SWA para las tareas identificadas.

4. Análisis

- **Identificar las actividades y tareas que se involucran en el proceso de negocio:** En esta actividad se investigan y seleccionan procesos de negocio definidos con el propósito de identificar las actividades y tareas o los elementos necesarios para poder generar SWA.
- **Verificar la existencia de recursos de aprendizaje para las tareas identificadas:** Investigar los recursos de aprendizaje que se encuentran en los repositorios para poder evaluar la diferencia de los servicios generados en el siguiente punto.
- **Generar los cuatro tipos de SWA para las tareas identificadas:** En esta actividad se crearán los cuatro tipos de Servicio Web de Aprendizaje: SWA objetivo, SWA contenido informativo, SWA actividades y SWA evaluación.
- **Análisis:** El análisis consiste en determinar la relación entre los SWA y los recursos de aprendizaje encontrados en los repositorios.

Propuesta de desarrollo

La solución para el problema antes descrito, se describe de manera general en la Ilustración 1:



Ilustración 1. Propuesta de solución

- **Entrada:** Documentación de un proceso de negocio a nivel de tareas.
- **Análisis o estado del proceso:** Análisis del proceso de negocio seleccionado para verificar quienes son los actores que se involucran en él.
- **Lista de actividades y tareas del proceso:** La identificación de las actividades y tareas que se involucran en el proceso, se describe en la Ilustración 2: donde la letra A = actividad, la letra T = tarea, la letra PI = producto interno.

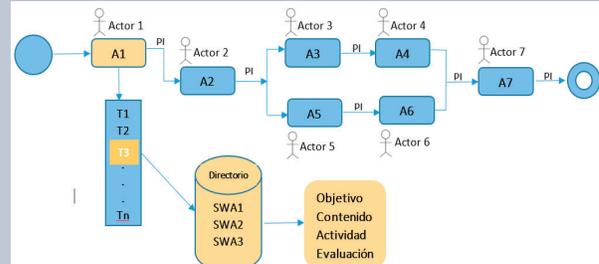


Ilustración 2. Diagrama de identificación de actividades y tareas del proceso

- **Propuesta de requisitos para generar los Servicios Web de Aprendizaje:** Identificar los principales requisitos o elementos para poder definir los SWA.
- **Salida:** Conjunto de los Servicios Web de Aprendizaje (objetivo de aprendizaje, contenido informativo, actividad de aprendizaje y evaluación).

Conclusión

La generación de SWA a partir de procesos de negocios bien definidos, es una tarea compleja ya que se deben reconocer los elementos de esos procesos, identificar y generar los recursos que deben formar parte de los SWA, para cumplir con las necesidades de capacitación en el lugar de trabajo usando el e-learning. Sin embargo, la solución que se propone en este proyecto produce SWA relativos a lo que la persona en capacitación debe aprender, atendiendo de esta manera la pertinencia de los recursos de aprendizaje.

Bibliografía

- [1] Al-Shorbaji Najeeb, 2015, e-learning for undergraduate health professional education
- [2] Entrevista al director de la empresa Pink Elephant Latinoamérica, 2014, <https://pinkelephant-latam.com/>
- [3] Singh Hardeep y Singh Bikram Pal, 2015, E-Training An Assessment Tool to Measure

Evaluación del Modelo Neuronal de Intersección Cortical para la Segmentación de Imágenes Médicas

José Luis Soto Piña
Asesor: Dr. Manuel Mejía Lavalle



TecNM | Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
{jose.soto18ca, mlavalle}@cenidet.edu.mx



Motivación

- La mayoría de las técnicas para detectar bordes utilizan operadores locales sustentados en aproximaciones discretas de la primera y segunda derivada de los niveles de gris de la imagen, basados en cálculos matemáticos.
- La variante del paradigma de Red Neuronal Pulso Acoplada (PCNN), llamado Modelo de Intersección Cortical (ICM), se puede utilizar de manera natural para tratar el problema de segmentación de imágenes, mediante detección de bordes [Cardenas,2014].
- Se propone el modelo ICM, como método alternativo, para dar solución al problema de segmentación de imágenes.

Problemática

- La segmentación de imágenes es el proceso mediante el cual una imagen es dividida en sus partes constituyentes de acuerdo con sus atributos, como la intensidad de cada pixel, valores espectrales o sus propiedades de textura [Ma, 2011].
- Diversas técnicas se han utilizado para dar solución al problema de segmentación de imágenes y el más simple y efectivo es el método basado en el umbral de nivel de gris, pero es muy difícil seleccionar un umbral apropiado [Ma, 2011].
- Se propone el modelo ICM (ver Fig. 1) debido a que es un paradigma más cercano al modelo biológico del cerebro [Lindblad, 2005].
- ICM genera una serie de imágenes binarias (una imagen por cada época) que son variaciones de una imagen original en tonos de gris y que son resultado del efecto "auto-onda" de las redes PCNN (ver Fig. 2).

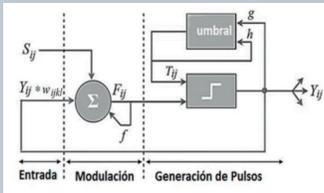


Figura 1. El modelo ICM [Ortiz, 2017]

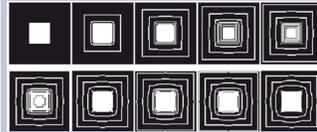


Figura 2. Salidas de una Red Pulsante para nueve épocas (efecto "auto-onda") [Ma, 2011].

Para una elección apropiada de la mejor imagen segmentada se emplean las métricas de la Entropía y Contraste del Nivel de Gris (ecuaciones 1 y 2 respectivamente). Se compararán los resultados de ICM contra los resultados del método Canny (ecuaciones 3.1 a 3.5).

$$H(s) = -p_1 \ln p_1 - p_0 \ln p_0 \quad 1)$$

$$GC = |f_o - f_b| / (f_o + f_b) \quad 2)$$

Método Canny

$$K = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad 3.1)$$

Fase para encontrar la intensidad del gradiente aplicando mascarar de convolución en x, y.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 3.2) \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 3.3) \quad G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad 3.4)$$

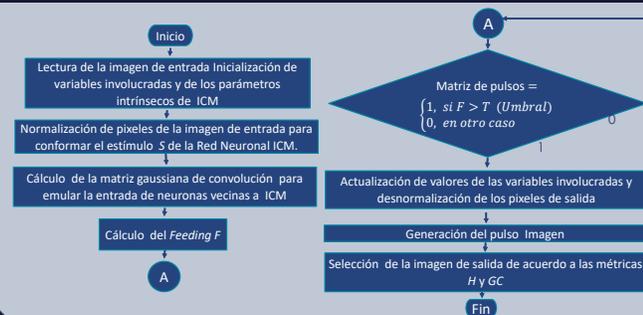
Fase para encontrar la dirección del gradiente

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad 3.5$$

Objetivo

- Implementar y experimentar con la variante de la PCNN llamado Modelo de Intersección Cortical (ICM) para la segmentación de imágenes digitales del cerebro humano, evaluado con las Métricas del Contraste del Nivel de Gris (GC) y de la Entropía (H).

Propuesta de solución



Resultados

Se fijaron los valores de los parámetros de ICM como sigue: $f = 0.19$, $g = 0.89$ y $h = 18.2$, y un total de 40 épocas. Se utilizó una imagen digital (Figura 3) de Resonancia Magnética (IRM) a la cual se le aplicaron las métricas de H y GC. Las Gráficas correspondientes son la 1 y la 2. Se muestran en las Figuras 4 y 5 las imágenes seleccionadas de acuerdo al mejor resultado de estas dos métricas. En ambas Gráficas podemos observar la comparativa con el método Canny.



Figura 3. Imagen médica original



Gráfica 1. Entropía de las imágenes de salida. La entropía máxima es de 0.146717 y ocurre en la época 21.



Figura 4. Imagen seleccionada mediante la Entropía.



Gráfica 2. Valor de la métrica GC de las imágenes de salida. El contraste máximo es de 0.571429 y ocurre en la época 21.

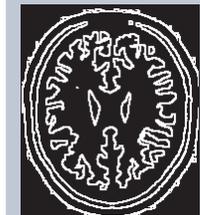


Figura 5. Imagen seleccionada mediante GC.

Conclusión

- Se Implementó el Modelo de Intersección Cortical pulsante ICM para la segmentación de imágenes digitales del cerebro humano, evaluado con las Métricas del Contraste del Nivel de Gris y de la Entropía.
- ICM se comporta 7% mejor en entropía y 5% mejor en GC que Canny.
- La ventaja de ICM es que, al tener un proceso paralelo, es más eficiente $T/\text{Número de pixeles}$ donde T es el tiempo de Canny.

Referencias

- [Ma, 2011] Y. Ma, K. Zhan, Z. Wang, Applications of pulse-coupled neural networks, Springer, 2011.
- [Ortiz, 2017] Estela Ortiz Rangel¹, Manuel Mejía-Lavalle¹, Humberto Sossa², "Filtrado de ruido Gaussiano mediante redes neuronales pulso-acopladas", 1) Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ciencias Computacionales, Cuernavaca, Morelos, México 2) Instituto Politécnico Nacional, Centro de investigación en Computación, Ciudad de México, México, 2017
- [Cardenas,2014] Selene Yosahandy Cárdenas, Manuel Mejía-Lavalle, Humberto Sossa Azuela+, Enrique Cabello Pard *, Departamento de Ciencias Computacionales (CENIDET), México Instituto Politécnico Nacional, México* Universidad Rey Juan Carlos, España, 2014
- [Lindblad, 2005] Lindblad T., Kinser J.M.: Image processing using pulse-coupled neural networks. In: Springer, 2nd. 2005

Representación Vectorial de Oraciones Argumentativas Clasificadas con el Paradigma Neuronal Perceptron

Kenia Nieto Benítez, Noé Alejandro Castro Sánchez, Manuel Mejía Lavalle, Héctor Jiménez Salazar



TecNM | Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
{kenianieto, ncastro, mlavalle}@cenidet.edu.mx, hjimenez@correo.cua.uam.mx



Motivación

- El estudio de la argumentación en la Inteligencia Artificial dio lugar a una nueva disciplina llamada Minería de Argumentos (MA).
- En esta área de investigación se emplean diferentes métodos de Aprendizaje Automático y Lingüística Computacional para identificar oraciones argumentativas y predecir la estructura del argumento. Entre los más utilizados se encuentran: *Support Vector Machine* y *Naive Bayes* (Lippi & Torroni, 2016).
- Investigaciones recientes en MA han incorporado Redes Neuronales Artificiales (RNA) para clasificar las unidades del argumento. No obstante, se desea experimentar la clasificación de oraciones argumentativas con el paradigma neuronal *Perceptron*. Además, utilizar una representación con vectores binarios de forma manual.

Problemática

- Al trabajar con lenguaje natural es necesario hacer una representación de palabras a vectores numéricos a partir de características básicas que sean relevantes para clasificar una oración argumentativa.
- En MA se han identificado características, léxicas, sintácticas, estructurales, contextuales e indicadores que permiten clasificar una oración argumentativa en premisa o afirmación. Se utiliza un conjunto de números binarios para representar cada una de estas características en vectores.
- Se propone ensayar con el *Perceptron* la clasificación de oraciones argumentativas a través de la representación con vectores utilizando dos características: léxicas e indicadores.

La Tabla 1 muestra la representación de cuatro oraciones argumentativas en vectores binarios:

Oración 1: *I firmly believe that we should attach more importance to cooperation during primary education.*

Oración 2: *In conclusion, studying abroad does not only have advantages, but also can change us in a very positive way.*

Oración 3: *For example, students might face many challenges in the host country.*

Oración 4: *Usually, it is very rare to find an appropriate organ donor.*

Tabla 1. Representación de oraciones a vectores binarios

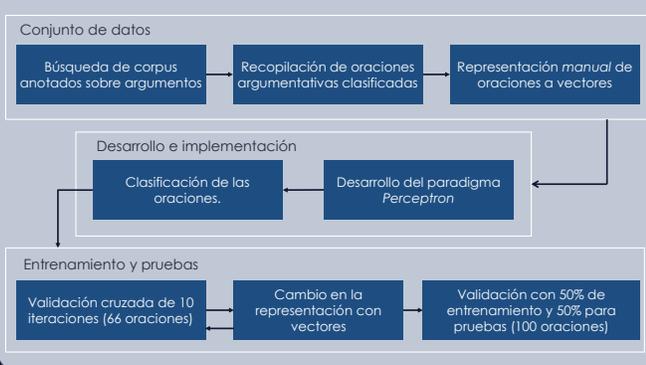
| Léxicas | | Indicadores | | Clase |
|----------------|--------|--------------|-------------|-------|
| Verbos modales | Verbos | Introducidas | 1ra persona | |
| 001 | 010 | 011 | 100 | 0 |
| 000 | 000 | 011 | 000 | 0 |
| Adverbios | | Introducidas | | Clase |
| 111 | | 110 | | 1 |
| 101 | | 111 | | 1 |

La clase cero representa a las oraciones de tipo conclusión y la clase 1 a las de tipo premisa. El conjunto "000" y "111" indica que la oración no tiene ese tipo de características.

Objetivo general

Clasificar un conjunto de oraciones argumentativas en premisa/conclusión mediante el paradigma neuronal *Perceptron*.

Propuesta de solución



Resultados

Los experimentos realizados en esta propuesta fueron con un conjunto de 66 y 100 oraciones. La Tabla 2 y 3 muestran los resultados que se obtuvieron en la representación con vectores para cada clase. Primer experimento: las pruebas se realizaron con 66 oraciones y una validación cruzada de 10 iteraciones, obteniéndose una medida *F* de 0.98 (Tabla 4). Segundo experimento: se hizo un cambio en la representación con vectores para las oraciones de tipo premisa (Tabla 5). La primera prueba se realizó con 66 oraciones y una validación cruzada de 10 iteraciones, obteniéndose una medida *F* de 0.768 (Tabla 6). La última prueba se realizó con 100 oraciones utilizando 50% para entrenamiento y 50% para reconocimiento; se obtuvo una medida *F* de 0.437 (Tabla 7). Las Gráficas 1-5 muestran los resultados más significativos obtenidos en ambos experimentos.

EXPERIMENTO 1: 66 oraciones

Tabla 2. Variación de los vectores obtenidos para las oraciones de tipo conclusión.

| Léxicas | | Indicadores | | Clase |
|----------------|--------|--------------|-------------|-------|
| Verbos modales | Verbos | Introducidas | 1ra persona | |
| 001 | 010 | 011 | 100 | 0 |
| 000 | 000 | 011 | 000 | 0 |
| 001 | 000 | 000 | 100 | 0 |
| 001 | 010 | 011 | 100 | 0 |
| 000 | 010 | 000 | 000 | 0 |



Gráfica 1. Experimento 1: Dispersión de los datos clasificados. Iteración 1-6 y 8-10. Siete premisas y siete conclusiones.

Tabla 4. Resultado del experimento 1 con 66 oraciones

| Iteraciones 1-6 y 8-10 | | | Iteración 7 | | | Total |
|------------------------|---|---|-------------|------|------|-------|
| P | R | F | P | R | F | F |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0.71 | 0.83 | 0.98 |

Se utilizaron como medidas de evaluación: Precisión (P), Recall (R) y F-measure (F). Las pruebas se realizaron con una validación cruzada con 52 oraciones de entrenamiento y 14 oraciones de prueba.

EXPERIMENTO 2: 66 oraciones y 100 oraciones



Gráfica 3. Experimento 2: Dispersión de los datos clasificados. Iteración 4. Siete premisas y siete conclusiones.

Tabla 6. Resultado del experimento 2 con 66 oraciones.

| Iteraciones 1,5 y 7-9 | | Iteraciones 2-4 | | Iteraciones 6 y 10 | | Total |
|-----------------------|-------|-----------------|-------|--------------------|---|-------|
| F | F | F | F | F | F | F |
| 1 | 0.599 | 0.443 | 0.768 | | | |

Se presentan solo los resultados obtenidos con F-measure (F). La validación cruzada se realizó con 52 oraciones de entrenamiento y 14 oraciones de prueba.

Tabla 3. Variación de los vectores obtenidos para las oraciones de tipo premisa.

| Léxicas | | Indicadores | | Clase |
|-----------|--------------|-------------|--|-------|
| Adverbios | Introducidas | | | |
| 111 | | 110 | | 1 |
| 101 | | 111 | | 1 |



Gráfica 2. Experimento 1: Dispersión de los datos clasificados. Iteración 7. Siete premisas y siete conclusiones.

Tabla 5. Cambio de representación de vectores para las oraciones de tipo premisa.

| Léxicas | | Indicadores | | Clase |
|-----------|--------------|-------------|--|-------|
| Adverbios | Introducidas | | | |
| 000 | | 011 | | 1 |
| 101 | | 000 | | 1 |



Gráfica 4. Experimento 2: Dispersión de los datos clasificados. Iteración 10. Siete premisas y siete conclusiones.



Gráfica 5. Experimento 2: Dispersión de los datos clasificados. 25 premisas y 25 conclusiones.

Tabla 7. Resultado del experimento 2 con 100 oraciones

| P | R | F |
|---|------|-------|
| 1 | 0.28 | 0.437 |

Como medida de evaluación se utilizaron Precisión (P), Recall (R) y F-measure (F). La prueba se realizó con 50 oraciones de entrenamiento y 50 oraciones de prueba.

Conclusiones

- El resultado obtenido en el experimento uno fue de 0.98 con *F-measure*. Es necesario considerar el conjunto de oraciones, las características y el modo de representar los vectores utilizados en este experimento. La mayoría de las oraciones contienen un *indicador*, el cual se considera como principal característica para identificar y clasificar este tipo de oraciones en un argumento. Además, al recopilar las oraciones del corpus anotado, cada oración se consideró como *independiente*.
- En los resultados del segundo experimento se encontró un área de oportunidad. Esto al cambiar el modo de representar las características a vectores en las oraciones de tipo premisa. Por lo tanto, en trabajos futuros, se evaluará el conjunto de oraciones incorporando técnicas como *Word2Vec* y *GloVe* para obtener el vector correspondiente con base a las características léxicas e indicadores utilizados en estos experimentos. Además, se identificarán las oraciones en los argumentos para comparar los resultados con los trabajos del estado del arte.

Referencias

- Ajjour, Y., Chen, W., Kiesel, J., Wachsmuth, H., & Stein, B. (2017). Unit Segmentation of Argumentative Texts. *ArgMining@EMNLP*.
- Du, Y., Li, M., & Li, M. (2017). Joint extraction of argument components and relations. 2017 *International Conference on Asian Language Processing (IALP)*, 1-4.
- Goldberg, Y. (2016). A Primer on Neural Network Models for Natural Language Processing. *J.Artif.Intell.Res.*, 57, 345-420.
- Lippi, M., & Torroni, P. (2016). Argumentation Mining: State of the Art and Emerging Trends. *ACM Trans. Internet Techn.*, 16, 10:1-10:25.
- Stab, C., & Gurevych, I. (2017). Parsing Argumentation Structures in Persuasive Essays. *Computational Linguistics*, 43, 619-659.
- Stab, C., & Gurevych, I. (2014). Identifying Argumentative Discourse Structures in Persuasive Essays. *EMNLP*.

Mejoramiento de imágenes médicas luminosas utilizando el Modelo de Intersección Cortical

Kevin Salvador Aguilar Domínguez¹,
Manuel Mejía Lavalle¹, Juan Humberto Sossa Azuela²



¹TecNM / Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico,

²IPN / Centro de Investigación en Computación

{kevin.aguilar17ca, mlavalle}@cenidet.edu.mx, hsossa@cic.ipn.mx



MOTIVACIÓN:

El uso de imágenes digitales médicas va en aumento, sin embargo, se pueden ver afectadas por diversos factores que degradan su calidad lo que dificulta su correcto análisis. Un claro ejemplo son las imágenes luminosas. En este trabajo se implementa una Red Neuronal Pulso-Acoplada (Pulse-Coupled Neural Network PCNN) para mejorar las imágenes luminosas, utilizando el Modelo de Intersección Cortical (Intersection Cortical Model ICM) y una Matriz de Tiempo (MT) para mejorar la calidad de una en términos del contraste.

PROBLEMÁTICA:

La calidad de una imagen puede ser descrita por las siguientes características: la nitidez, el contraste, el color, la claridad y los artefactos [1]. Las imágenes afectadas en términos de su brillo generalmente afectan el contraste y la claridad de la imagen, ya que presentan acumulaciones de píxeles con niveles altos o bajos. Actualmente existe una gran variedad de técnicas tradicionales que tratan este problema; Una de las más utilizadas son, Ecuilización del Histograma (EH) [2] y Power-Law Transform (PLT) [3]. Existen otras técnicas no tradicionales como las Redes Neuronales Artificiales [4]. En este trabajo se aborda este problema utilizando el modelo ICM, que al ser biológicamente inspirado tiene cierta ventaja ya que cumple algunas características visuales humanas [5], así mismo su naturaleza paralela podría reducir el tiempo de procesamiento.

OBJETIVO:

Estudiar el área de las Redes Neuronales Artificiales tradicionales y los problemas típicos de las técnicas tradicionales en el mejoramiento de imágenes digitales. Implementar, experimentar y evaluar la PCNN en el dominio del mejoramiento de la calidad de imágenes digitales.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN:

La Matriz de Tiempo se define para registrar la iteración de activación para todas las neuronas. Obteniendo así información del brillo y zonas brillosas, que son utilizadas para modificar los valores de la imagen luminosa. La Fig. 1 muestra el diagrama de la ICM con Matriz de Tiempo y el diagrama de flujo que sigue el algoritmo que llamamos Modelo de Intersección Cortical con Matriz de Tiempo Luminosa (Intersection Cortical Model - Luminance Time Matrix ICM-LTM) se muestra en la Fig. 2.

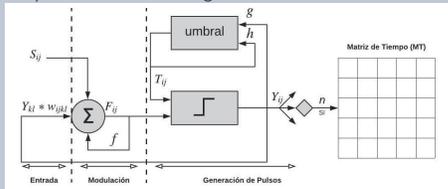


Fig. 1 Diagrama de la ICM con Matriz de Tiempo.

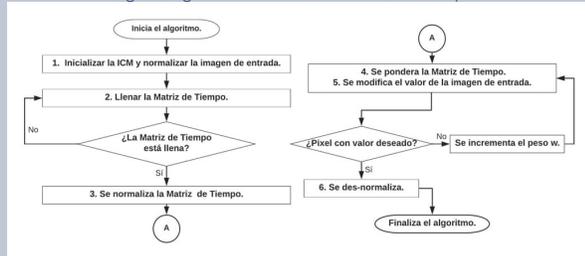


Fig. 2 Diagrama de flujo ICM-LTM.

RESULTADOS:

Se utilizaron imágenes de resonancia magnética simuladas en BrainWeb 65], se les aplicó un desplazamiento del histograma de +20 a +140 píxeles, para afectar su brillo para después procesarlas con el algoritmo ICM-LTM. La Fig. 3 muestra una imagen desplazada y en Fig. 4 se muestra el resultado obtenido. Para la evaluación se utilizaron las métricas C [7], que es una distancia euclidiana (más cercano a cero, mejor) y SSIM [8], que mide luminancia, contraste y estructura (más cercano a uno, mejor), utilizando la imagen original como referencia en ambas. Se realizó experimentación con tres estudios en modalidad T1, T2 y PD de 150 cada uno en 7 desplazamientos, obteniendo así 3,150 imágenes a experimentar.

RESULTADOS:

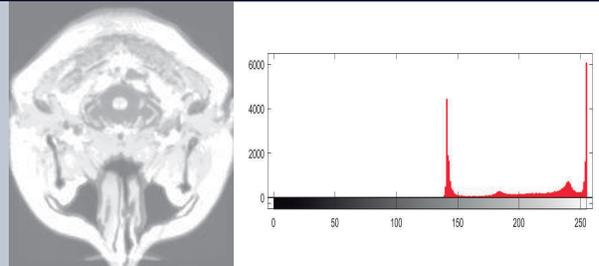


Fig. 3 Imagen luminosa y su histograma ($C = 0.5134$, $SSIM = 0.0127$).

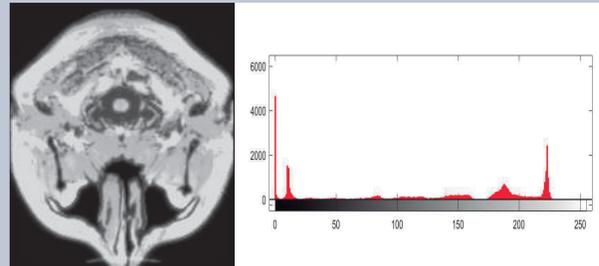


Fig. 4 Imagen procesada con ICM-LTM y su histograma ($C = 0.2565$, $SSIM = 0.6103$).

Para la evaluación se comparó con las técnicas EH y PLT. Los resultados obtenidos se muestran en Fig. 5 y Fig. 6.

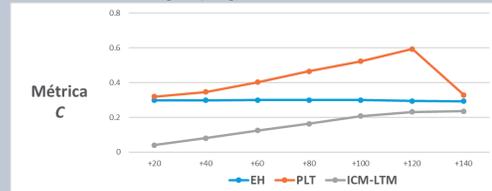


Fig. 5 Gráfica de comparación métrica C.

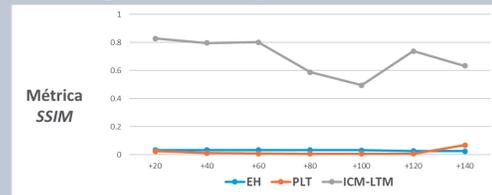


Fig. 6 Gráfica de comparación métrica SSIM.

El algoritmo en promedio mejora en un 27% con C y 66% con SSIM que las técnicas tradicionales, así mismo, introduce menos ruido a la imagen procesada y la naturaleza de la ICM facilitaría su implementación en paralelo, reduciendo el tiempo en n unidades de tiempo siendo n igual a el número de núcleos. Como trabajos futuros, podría buscarse optimizar los parámetros f, g, h y la matriz w de la ICM y paralelizar el sistema.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Pedersen, M; Bonnier, N; Hardeberg, J. Y; Albrechtsen, F. Attributes of image quality for color prints. Journal of Electronic Imaging. 2010, 19(1), 11016.
- [2] Pajares, G; Cruz García, J.M. Ejercicios resueltos de visión por Computador, Alfaomega. Madrid, 2008.
- [3] P. Janani, J. Premaladha and K. S. Ravichandran, "Image Enhancement Techniques: A Study", Indian Journal of Science and Technology, vol. 8, no. 22, 2015.
- [4] Manaswini, J; Sashikala, M. Review of neural network techniques in the verge of image processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 628. Springer, Singapore. 2018, 345-361
- [5] Y. Ma, K. Zhan, and Z. Wang, "Chapter 5 Image Enhancement," in Applications of Pulse-Coupled Neural Networks, 2010, pp. 61-81.
- [6] R.K.S. Kwan, A.C. Evans, G.B. Pike, "MRI simulation-based evaluation of image-processing and classification methods", IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 18, no. 11, pp.1085-97, 1999.
- [7] Robledano-Arillo, J; Moreno-Pelayo, V; Pereira-Uzal, J. M. Aproximación experimental al uso de métricas objetivas para la estimación de calidad cromática en la digitalización de patrimonio documental gráfico. Revista Española de Documentación Científica. 2016, 39(2), e128.
- [8] Wang, Z; Bovik, A.C; Sheikh, H. R; Simoncelli, E. P. Image quality assessment: form error visibility to structural similarity. IEEE Transactions on Image Processing. 2004. 13(4). 600-612.

Realidad Virtual para el Sector Energético

Dr. Miguel Pérez Ramírez (mperez@ineel.mx)



Motivación

- El desarrollo de una perspectiva de la Realidad Virtual, permitió conocer las ventajas que esta tecnología presenta en diferentes áreas tales como capacitación y diseño, además de su amplio rango de aplicación en campos como la medicina, la industria y el entretenimiento. Se detectó también su potencial como soporte a la capacitación, maximizando su aportación en el entrenamiento de actividades de alto riesgo.

Problemática

- Trabajos con alto riesgo. Las líneas de tensión pueden distribuir una tensión de entre 3 y 24 mil voltios. En caso de falla, es común realizar la maniobra de mantenimiento correctivo y/o preventivo, estando las líneas aún energizadas, esto con el fin de evitar costosas interrupciones de energía eléctrica en las comunidades ubicadas dentro de la red afectada. Así, este tipo de maniobras requieren de personal altamente especializado para evitar accidentes, que de ocurrir, casi siempre son fatales, además de posibles daños a costosos equipos [Pérez et al., 2019].



Figura 1. Trabajos en líneas energizadas.

Objetivo

Realizar investigación y desarrollo sobre sistemas de Realidad Virtual que sean un apoyo en la capacitación de actividades de alto riesgo en el sector energético, pero de forma segura, con alta disponibilidad y que puedan llevar el registro del progreso de los estudiantes.

Propuesta de solución

Se ha comprobado que las bondades de la Realidad Virtual la hacen ideal en algunas áreas de aplicación como herramienta de soporte al entrenamiento. Entre otras se pueden mencionar las siguientes:

- Permite la visualización/conocimiento de sitios no fácilmente accesibles o peligrosos
- Ayuda a estandarizar los procesos de trabajo.
- Permite captura/representar el conocimiento tácito de personal experto.
- Contribuye a reducir accidentes.
- Permite la auto-capacitación que reduce costos asociados al entrenamiento presencial.
- Registra el progreso de los estudiantes.
- Su análisis costo-beneficio lo hace rentable.
- Permite visualización/manipulación virtual de equipos poco accesibles en la realidad.

Por lo anterior, la propuesta ha sido usar la tecnología de RV como apoyo al entrenamiento en tareas de alto riesgo en el sector energético.

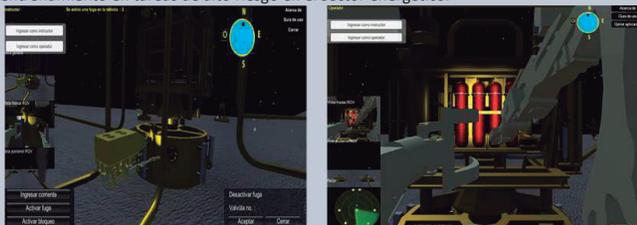


Figura 2. Ambiente virtual con animación dinámica para operar un ROV (Robot Operated Remotely) en aguas profundas [Beltrán et al., 2017].

Resultados

Diferentes sistemas se han desarrollado para apoyar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la capacitación dentro de sus tres grandes procesos: generación, transmisión y distribución.



Figura 3. ALEN3D – Mantenimiento a líneas energizadas de media tensión (ganador del Premio INNOVA de CFE) [Pérez et al., 2017].



Figura 4. Pruebas a equipos primarios y a protecciones en subestaciones de distribución [Pérez et al., 2017].

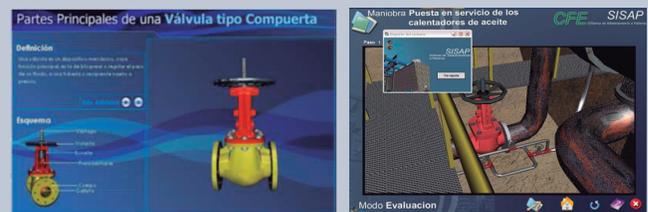


Figura 5. Sistema válvulas y de entrenamiento a auxiliares de operador [Pérez et al., 2017].

Para medir la efectividad de estos ambientes virtuales, se ha llevado a cabo un estudio comparativo ANOVA al sistema ALEN3D-MT. Un grupo de estudiantes capacitados sólo un día con el sistema, obtuvo un 21% mejores resultados en las evaluaciones en comparación con otro grupo de estudiantes capacitados solo con el método tradicional, es decir, sin el sistema, esto con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Conclusiones

- Se han desarrollado diferentes sistemas basados en realidad virtual que han sido incorporados al proceso de capacitación en CFE, en todas las divisiones de distribución del país.
- La ruta tecnológica para RV del INEEL incluye el desarrollo de sistemas de Realidad Aumentada y Mixta, así como de simuladores basados en RV y la integración de analítica para mejorar la capacitación.

Referencias

- [Pérez et al., 2017] 2017: Pérez Ramírez M., Hernández Aguilar J. A., Ochoa Ruiz C. A., Arroyo Figueroa G. El impacto de la Realidad Virtual en la capacitación del recurso humano. Estudio de caso: empresa de calidad internacional en el sector energético de México. Book: Recursos Humanos y organizaciones. Una mirada Transdisciplinar. Luz Stella Vallejo-Trujillo, Augusto Renato Pérez Mayo. Bonilla Artigas Editores. UAEM 2017.
- [Pérez et al., 2019] 2019: Miguel Pérez Ramírez, G. Arroyo Figueroa, A. Ayala. The use of a virtual reality training system to improve technical skill in the maintenance of live line power distribution networks. Interactive Learning Environments. 2019. 10.1080/10494820.2019.1587636.
- [Pérez et al., 2018] 2018: Pérez Ramírez M., Zayas Pérez B., Hernández Aguilar J. A., Ontiveros Hernández N. J. Analytics for Military Training in Virtual Reality Environments. Chapter 10. Book: Military applications of Data Analytics. Edited by Kevin Huggins. CRC Press Taylor & Francis Group. October 2, 2018.
- [Beltrán et al., 2017] 2017: Rodrigo Beltrán-Labra, Miguel Pérez-Ramírez, Carlos Alberto Ochoa-Zezatti, Norma J. Ontiveros-Hernández. Simulador ROV multiplayer para escenarios petroleros submarinos. Research in Computing Science: Advances in Computer Vision, Signal Processing and Virtual Environments Oscar Herrera Alcántara (ed.). ISSN: 1870-4069. Pp. 67-77. 2017.

Definición e implementación de restricciones para un esquema de clasificación de servicios Web de aprendizaje



Marianita Uriostegui Cuadra

Correo: marianitaUriostegui16c@cenidet.edu.mx

Asesor: Dra. Olivia Graciela Fragoso Díaz

Correo: ofragoso@cenidet.edu.mx

Centro Nacional de Investigación y desarrollo Tecnológico



Introducción

Los Servicios Web de Aprendizaje (SWA) son servicios web tradicionales que contienen recursos de aprendizaje o que tienen referencias a los recursos de aprendizaje que están contenidos en algunos repositorios. Los SWA pueden ser de 4 tipos como: de objetivo de aprendizaje de contenido informativo, de actividades de aprendizaje y de evaluación. Con el fin de organizar y buscar estos SWAs se requiere de esquemas que faciliten la organización, búsqueda y selección de los servicios. Un esquema de clasificación de SWAs es un herramienta que permite clasificar y seleccionar de manera significativa un Servicio Web de Aprendizaje de acuerdo a un conjunto de requerimientos especificados tanto por el proveedor como por el usuario. En la Figura 1 se muestra un fragmento del esquema de clasificación que esta basado en catálogos de educación internacionales.

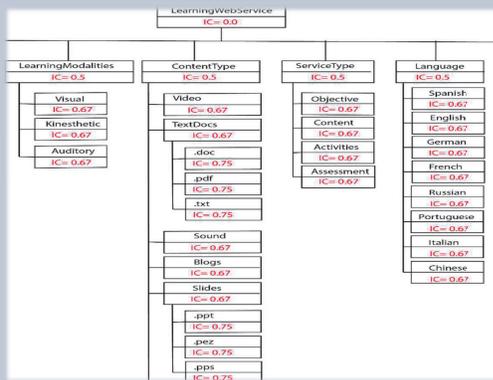


Figura 1. Esquema de clasificación de Servicios Web de Aprendizaje

Actualmente se cuenta con un sistema de clasificación[2] que no considera restricciones para la clasificación y recuperación de SWA, por lo que al consultarlo, se pueden obtener resultados no precisos, representando un problema porque un usuario puede recuperar un número muy grande de servicios y muchos de ellos no son relevantes para atender sus requerimientos. Para resolver este problema fue necesario definir e implementar un conjunto de restricciones, basándose en el análisis de catálogos educativos y con la metodología de la casa de la calidad. Dichas restricciones sirven de guía para que un usuario pueda clasificar y buscar SWA y prevenir defectos en su clasificación y recuperación.

Juntos, el esquema de clasificación y el conjunto de restricciones de los SWA deben permitir una clasificación y recuperación precisa de los servicios que puedan proporcionar una cierta solución a un problema.

Objetivo

Mejorar la precisión de una herramienta de clasificación y recuperación de Servicios Web de Aprendizaje.

Alcances

- Se definió un conjunto no exhaustivo de restricciones.
- Se construyeron los SWA necesarios para mostrar el uso de las restricciones.
- Se implementó el conjunto de restricciones.
- Se evaluó el índice de precisión en la recuperación de los Servicios Web de Aprendizaje en términos de los descriptores utilizados al publicarlos y al recuperarlos.
- Se utilizó JÚDDI v3 para registrar los Servicios Web de Aprendizaje.

Propuesta de solución

1. Análisis de los descriptores del esquema de clasificación de SWA y por tipo de Servicio Web.

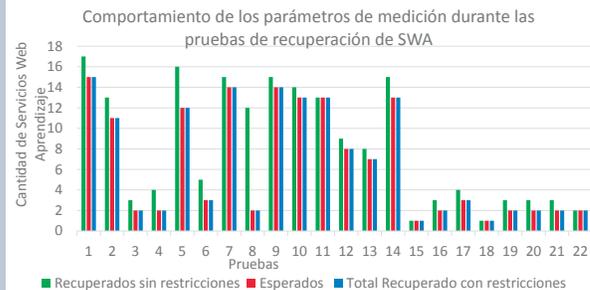
2. Definir restricciones para el esquema de clasificación de SWA.

3. Implementación de las restricciones en el sistema.

4. Pruebas.

Resultados

En la Gráfica 1 se muestran tres barras de color que representan tres casos de prueba. La barra verde representa el número de SWA recuperados en el sistema de clasificación cuando no contaba con restricciones, la barra roja representa los SWA que se estiman se deben de recuperar con el sistema de clasificación con restricciones y por último la barra azul representa los SWA recuperados en el sistema de clasificación con las restricciones implementadas.



Gráfica 1. Comportamiento de los parámetros de medición durante las pruebas de recuperación de SWA

Para el cálculo de la precisión se utiliza el estándar que mide la razón del número documentos relevantes recuperados entre el total de documentos recuperados.

Con los resultados obtenidos que se muestran en la Gráfica 1 se puede observar la comparación del sistema de clasificación del antes y después de las restricciones.

El comportamiento que se obtuvo en las pruebas fue el esperado, es decir, se obtuvo la misma cantidad de SWA esperados que el total recuperados en el sistema, así mostrando que el conjunto de SWA recuperados en las pruebas disminuye considerablemente recuperando solamente los SWAs que pueden resolver los problemas de los usuarios.

En la Gráfica 2 se puede observar la mejora de la precisión en cada una de las pruebas realizadas, haciendo una comparación entre los índices de precisión del sistema anterior con el actual.



Gráfica 2. Precisión durante las pruebas

Bibliografía

- [1] Salinas Roman, H. (Abril de 2017). Marco Orientado a Objetos para Medir la Calidad en Servicios Web de Aprendizaje. Cuernavaca, Morelos, México: Ciencias de la computación, CENIDET.
[2] Espinosa Pérez, P. (Junio de 2016). Esquema de Clasificación de Servicios Web de Aprendizaje. Cuernavaca, Morelos, México: Ciencias de la computación, CENIDET.

Evaluación de un algoritmo Neuronal Pulsante Bidireccional para la Planeación de Trayectorias Discretas en 2D para Robots Móviles

Oliver Eder Espinosa Meneses
Asesor: Dr. Manuel Mejía Lavalle



TecNM | Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
{oliver.espinosa18ce, mlavalle}@cenidet.edu.mx



Motivación

- La planeación de trayectorias en tiempo real para robots móviles requiere una rápida convergencia hacia rutas óptimas.
- Pulse-Coupled Neural Network (PCNN)* es una alternativa para la planeación de trayectorias discretas de dos dimensiones.
- El modelo *Modified Pulse-Coupled Neural Network (MPCNN)* propone una manera de calcular la trayectoria óptima.
- Inspirado en el MPCNN se presenta el modelo *Bidirectional Modified Pulse-Coupled Neural Network (BMPCNN)*, un modelo modificado que realiza la búsqueda del inicio al objetivo y del objetivo al inicio de manera simultánea.

Problemática

- Existen diferentes enfoques para resolver la planeación de trayectorias en tiempo real para robots móviles. Sin embargo, la mayoría sufre de problemas de mínimos locales y tiempos ineficientes de respuesta.
- Pulse-Coupled Neural Network (PCNN)*, conocida como la tercera generación de Redes Neuronales Artificiales (RNA) se puede aplicar para resolver este tipo de problemas.
- El modelo *Modified Pulse-Coupled Neural Network (MPCNN)* [Hong, 2009] utiliza una topología con conexiones laterales entre las neuronas. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de la topología de la Red. En la Figura 2 se muestra el modelo de la neurona del modelo MPCNN.
- Se propone el modelo *BMPCNN* el cual realiza una búsqueda bidireccional para agilizar el proceso y reducir los tiempos de ejecución.

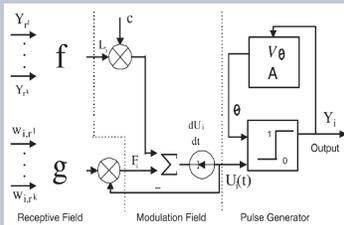
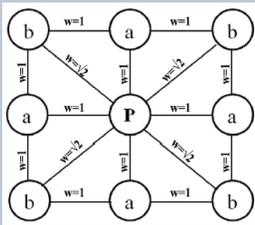
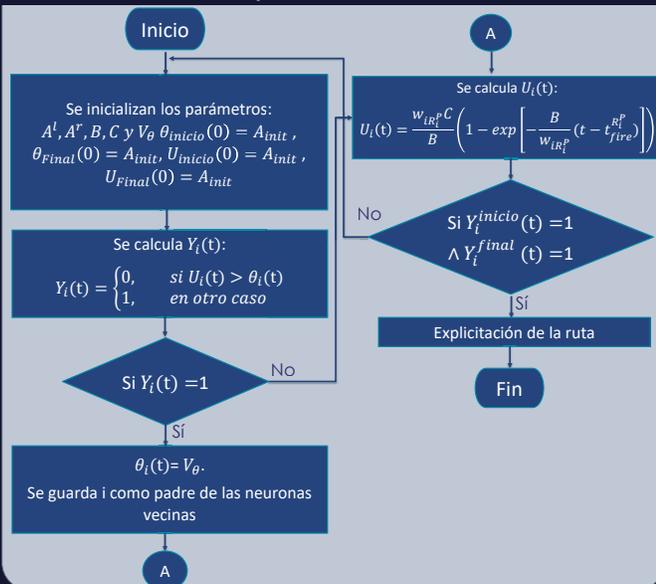


Figura 1. Topología de MPCNN [Usman, 2014]. Figura 2. Modelo de la neurona MPCNN [Hong, 2009].

Objetivo

- Implementar, experimentar y evaluar el modelo *Bidirectional Modified Pulse-Coupled Neural Network (BMPCNN)* en el dominio de la planeación de trayectorias discretas 2D.

Propuesta de solución



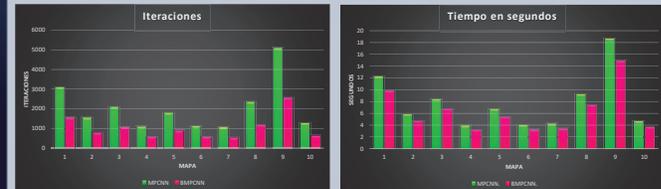
Resultados

En el experimento se calcularon las trayectorias de un pixel a otro dentro de 10 diferentes mapas de 200 x 200 pixeles los cuales son parte de un conjunto utilizado por el Department of Cybernetics Intelligent and Mobil Robotics Group, University of Praga [Vanasek,2009]. En la Tabla 1 se muestran los resultados de las búsquedas realizadas por los algoritmos en cada mapa. En la Gráfica 1 se puede apreciar la comparativa de las iteraciones mientras que en la Gráfica 2 se presentan los tiempos de ejecución. En la Figura 3 se muestran las trayectorias generadas en cada mapa.

Experimento para 10 mapas 2D

| Mapa | Inicio | Final | Iteraciones | | Tiempo (Segundos) | |
|------|--------|-------|-------------|--------|-------------------|--------|
| | | | MPCNN | BMPCNN | MPCNN | BMPCNN |
| 1 | 199 | 39800 | 3092 | 1546 | 12.2 | 9.7 |
| 2 | 199 | 39800 | 1544 | 772 | 5.8 | 4.6 |
| 3 | 39924 | 39944 | 2088 | 1044 | 8.3 | 6.6 |
| 4 | 199 | 39800 | 1090 | 545 | 3.9 | 3.1 |
| 5 | 9293 | 8903 | 1786 | 893 | 6.6 | 5.3 |
| 6 | 0 | 39999 | 1104 | 552 | 4.0 | 3.2 |
| 7 | 20100 | 199 | 1048 | 524 | 4.2 | 3.3 |
| 8 | 0 | 199 | 2344 | 1172 | 9.2 | 7.3 |
| 9 | 199 | 39800 | 5090 | 2545 | 18.6 | 14.8 |
| 10 | 38009 | 199 | 1263 | 631.5 | 4.5 | 3.7 |

Tabla 1. Resultados del experimento 1



Gráfica 1. Comparativa de iteraciones

Gráfica 2. Comparativa de tiempo de ejecución

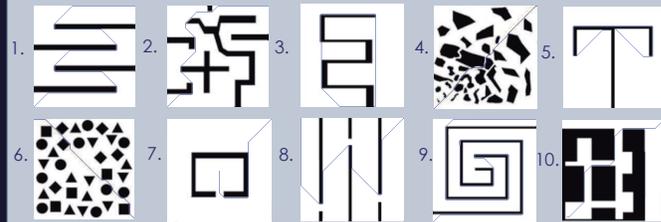


Figura 3. Trayectorias calculadas

Conclusión

- Se implementaron dos modelos de PCNN para la Planeación de Trayectorias Discretas en 2D.
- Se propuso el modelo BMPCNN.
- De acuerdo con los resultados del experimento, el modelo BMPCNN puede calcular la trayectoria óptima en aproximadamente 50 % de las iteraciones que necesitó el modelo MPCNN.
- El modelo BMPCNN logró un tiempo de ejecución 20% más eficiente que los tiempos logrados por el modelo MPCNN.

Referencias

- [Hong, 2009] Q. Hong, S. X. Yang, A. Willms y Z. Yi, «Real-Time Robot Path Planning Based on a Modified Pulse-Coupled Neural Network Model» IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, vol. 20, nº 11, pp. 1724-1739, 2009.
- [Vanasek,2009] Vanásek V., Intelligent and Mobile Robotics Group, [Online], Disponible: <http://imr.felk.cvut.cz/planning/maps.xml>. 2009.
- [Usman, 2014] Usman Ahmed Syed*, Faraz Kunwar, Mazhar Iqbal. Guided Autowave Pulse Coupled Neural Network (GAPCNN) based real time path planning and an obstacle avoidance scheme for mobile robots. Robotics and Autonomous Systems Vol. 62 pp. 474-486 2014.

Hacia la inclusión de la Inteligencia Artificial en problemas de Alineación de Secuencias en Genómica

Omar Guzmán Ruiz

Asesores: Dr. Manuel Mejía Lavalle, Dra. Perla A. Troncoso Rey*



Tecnológico Nacional de México/CENIDET {omarfenix, mlavalle}@cenidet.edu.mx

*Quadram Institute, UK, Perla.TroncosoRey@quadram.ac.uk



Motivación

- Se quieren diseñar herramientas computacionales útiles para el área de la genómica, que no solamente realicen un conteo estadístico, sino que incluyan meta-heurísticas de la Inteligencia Artificial.
- Por ejemplo, un problema importante en genómica es el alineamiento de secuencias y sirve para poder resaltar regiones de similitud entre dos secuencias: estas similitudes pueden indicar relaciones funcionales o evolutivas del gen o proteína alineado.
- Por ahora la calidad del alineamiento (score) se ha expresado como un número que solamente tiene significado para los especialistas.

Problemática

- La gran mayoría de las herramientas computacionales en el área genómica utilizan métodos estadísticos por ejemplo BLAST [Altschul, 1997] y no aprovechan las técnicas de Inteligencia Artificial [Libbrecht, 2015].
- Los métodos de alineamiento de secuencias que garantizan el mejor alineamiento tienen problemas espaciales o temporales, por lo que son necesarios métodos heurísticos.
- Existen genes de bacteriófagos con la misma función biológica con una secuencia que tiene ausencia de una similitud detectable [Berard, 2016].
- Se han realizado diferentes mejoras para resolver el problema de alineamiento de secuencias como son:
 - [Frith, 2015]. Encuentra un conjunto óptimo de alineaciones locales.
 - [Lyras, 2015]. Usa una alineación existente para construir un perfil que resume la alineación, después todas las secuencias se realinean contra el perfil formado.
 - [Berard, 2016]. Predice genes con la misma función biológica incluso con una secuencia disímil.
- Sin embargo, estas mejoras no se ocupan de obtener una medida con contenido semántico.
- Aquí se propone una nueva forma de calcular el "score" del alineamiento de secuencias a partir del algoritmo de Needleman-Wunsh [Needleman, 1970].

Objetivo

- Proponer una alternativa a la medida de similitud (score) pero con semántica basada en Inteligencia Artificial en el dominio del alineamiento de secuencias de nucleótidos o proteínas.

Propuesta de solución

- Algoritmo de Needleman-Wunsh [1970]:

$$F_{0j} = d * j$$

$$F_{i0} = d * i$$

$$F_{ij} = \max(F_{i-1,j-1} + S(A_i, B_j), F_{i,j-1} + d, F_{i-1,j} + d)$$

Donde F_{ij} es la matriz de puntuación de Needleman-Wunsh, S es la matriz de sustitución y d corresponde al valor del hueco (gap)

Con un valor de hueco $d = -5$ para las cadenas: **ACCGTCTT** y **CGTCTT**
El score del alineamiento queda: $d + d + S(C,C) + S(G,G) + S(T,T) + S(C,C) + S(T,T) + S(T,T) = -5 + -5 + 9 + 7 + 8 + 9 + 8 + 8 = 39$

| | | Matriz de puntuación Needleman-Wunsh | | | | | | | |
|---|-----|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | A | C | C | G | T | T | | |
| D | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | |
| C | -5 | -3 | 4 | -1 | -6 | -11 | -16 | -21 | -26 |
| G | -10 | -6 | -1 | -1 | 6 | 1 | -4 | -9 | -14 |
| T | -15 | -11 | -6 | -1 | 1 | 14 | 9 | 4 | -1 |
| C | -20 | -16 | -2 | 3 | -2 | 9 | 23 | 18 | 13 |
| T | -25 | -21 | -7 | -2 | 0 | 6 | 18 | 31 | 26 |
| T | -30 | -26 | -12 | -7 | -5 | 8 | 13 | 26 | 39 |

- Nuestra propuesta consiste en cambiar ese score de 39 por algo que tenga más sentido para un usuario.
- En particular proponemos presentar el score en forma de conocimiento mediante el uso de Reglas de Producción.
- En este sentido existen diversos algoritmos de Aprendizaje Computacional o *Machine Learning* capaces de extraer conocimiento a partir de datos estructurados o no estructurados, por ejemplo: ID3, C4.5, DUCE, J4.8, PRISM, AQ, CN2, Apriori, ILP, FOIL, técnicas Data-Driven mejoradas y muchos otros.
- Los anteriores algoritmos se deberán adaptar para ajustarse al dominio genómico.

Resultados

- Aplicando una versión adaptada de ID3 se puede obtener conocimiento en forma de Reglas de Producción.
- Por ejemplo, tomando como base el algoritmo frecuentista de Needleman-Wunsh [1970] y el ejemplo mostrado anteriormente, podemos obtener el siguiente conocimiento en forma de Reglas de Producción:

Regla 1

Si
- el gap es de -5 y
- el score es de 39

Entonces

-la alineación de las dos secuencias es fuerte
con un factor de certeza de 89%

Regla 2

Si
-el gap es de -9 y
-el score es de 72

Entonces

-la alineación de las dos secuencias es débil
con un factor de certeza de 93%

- Las posibilidades de obtener diversas Bases de Conocimiento aplicando diferentes algoritmos de *Machine Learning* son bastante extensas.
- El reto es encontrar la adecuación del algoritmo que produzca Bases de Conocimiento que sean útiles a los profesionales de la genómica.

Conclusión

- En este trabajo se introduce la idea de transformar la información numérica en conocimiento en el área genómica.
- Los primeros resultados nos alientan a continuar buscando adaptaciones de algoritmos de Inteligencia Artificial que pudieran dar más sentido semántico a los diversos análisis que realizan los expertos en genómica.
- Se pueden utilizar diferentes técnicas de *Machine Learning* para analizar e interpretar los datos aparte de las reglas propuestas.

Referencias

- [Altschul, 1997] Stephen F. Altschul, Thomas L. Madden, Alejandro A. Schäffer, Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs *Nucleic Acids Research*, 1997, Vol. 25, No. 17 3389-3402
- [Berard, 2016] Severine Berard, Annie Chateau, Nicolas Pompidor, Aligning the unalignable: bacteriophage whole genome alignments. *BMC Bioinformatics* (2016) 17:30 DOI 10.1186/s12859-015-0869-5
- [Frith, 2015] Marlin Frith, Risa Kawaguchi, Split-alignment of genomes finds orthologies more accurately. *Genome Biology* (2015) 16:106 DOI 10.1186/s13059-015-0670-9
- [Libbrecht, 2015] Maxwell W. Libbrecht, Machine learning in genetics and genomics *Nat Rev Genet.* 2015 June, 16(6): 321-332. DOI:10.1038/nrg3920
- [Lyras, 2015] Dimitris P Lyras, Dirk Metzler ReformAlign: improved multiple sequence alignments using a profile-based meta-alignment *BMC Bioinformatics* 2015, 15:265
- [Needleman, 1970] Saul B. Needleman, Christian D. Wunsch, A General Method Applicable to the Search for Similarities in the Amino Acid Sequence of Two Proteins. *J. Mol. Biol.* (1970) 48, 443-453

Geolocalización y estudio de la movilidad de personas en espacios cerrados a partir de emisores WiFi y beacons

Regino Infante Covarrubias, Javier Ortiz, Alicia Martínez, Salomón García

Tecnológico Nacional de México/CENIDET
Cuernavaca, Morelos, México {rinfante19ce, ortiz, amartinez, salomon}@cenidet.edu.mx

Motivación

La sociedad hoy en día requiere poder ubicarse en cualquier parte del mundo, no solamente en espacios abiertos, sino también en espacios cerrados [5]. Por ejemplo, cuando una persona se encuentra en un enorme centro médico y necesita llegar a un consultorio en específico. Otro ejemplo es, cuando un cliente acude a un gran centro comercial del cual no conoce la distribución de los espacios y desea visitar una determinada tienda, como se observa en la figura 1(a).



(a) Trazado de ruta dentro de un centro comercial [6].



(b) Tecnologías para la localización en espacios cerrados [2].

Figura 1: Trazado de rutas y tecnologías para la localización.

Una tecnología capaz de proporcionar la ubicación de personas y objetos en espacios cerrados es de gran utilidad y además nos permite realizar estudios de movilidad, controles de acceso, seguridad, logística, entre otros.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) carece de precisión para ubicar y guiar a los usuarios dentro de espacios cerrados, debido a que los objetos sólidos de las construcciones debilitan la señal [3][4]. Actualmente no existe un sistema estándar para el posicionamiento en espacios cerrados aunque hay muchas tecnologías compitiendo para asegurar una mayor precisión y mayor confiabilidad, así como nuevas funcionalidades. Algunas de las tecnologías compitiendo se muestran en la figura 1(b).

Objetivo

Desarrollar una plataforma de servicios de ubicación en espacios cerrados para el posicionamiento y seguimiento de objetos o personas en tiempo real.

Problemática

¿Cómo obtener la ubicación de una persona o de un objeto en un espacio cerrado en tiempo real con la mayor precisión posible y con el menor margen de error?

¿Contar con más de una señal de localización puede mejorar la precisión y reducir el margen de error?

¿Cuáles son las tecnologías de localización más adecuadas para determinar la ubicación de una persona o un objeto?

¿De los siguientes algoritmos, cuáles son los que ofrecen una mayor precisión para el cálculo de la ubicación?

- Algoritmo de proximidad
- Algoritmo de trilateración
- Algoritmo de K-NN

¿Es posible combinar varios algoritmos para mejorar la precisión, así como utilizar como datos de entrada más de una señal de localización?

Referencias

- [1] R. Anrango. Señal wifi y bluetooth., 2019. URL <https://configurarmikrotikwireless.com/wp-content/uploads/2019/01/Wifi-y-beacons-en-tu-hotel-2-Red-Wifi-min.png>. [Web; accedido el 28-03-2019].
- [2] P. Carne. Comparación de tecnologías de localización en interiores., 2015. URL <https://blog.lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/>. [Web; accedido el 28-03-2019].
- [3] R. Faragher and R. Harle. Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(11):2418-2428, Nov 2015. ISSN 0733-8716. doi: 10.1109/JSAC.2015.2430281.
- [4] P. Kriz, F. Maly, and T. Kozel. Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons. *Hindawi Publishing Corporation*, 2016, 03 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2083094>.
- [5] F. Orujov, R. Moshkellimas, R. Damasevicius, W. Wei, and Y. Li. Smartphone based intelligent indoor positioning using fuzzy logic. *Future Generation Computer Systems*, 89, 07 2018. doi: 10.1016/j.future.2018.06.030.
- [6] Situm. Localización en espacios cerrados., 2019. URL https://situm.es/img/t5hrnff0dujh44vzqpsgxss7dz/F000000401_corporate_buildings.png. [Web; accedido el 28-03-2019].

Propuesta de solución

Se propone la utilización de la red WiFi existente en los edificios además de los dispositivos beacons para lograr una mejor cobertura inalámbrica del edificio, así como se observa en la figura 2. Los beacons son dispositivos que emiten una señal bluetooth con un mínimo consumo de energía (BLE por sus siglas en inglés Bluetooth Low Energy). Los datos se obtendrán de las lecturas combinadas de las intensidades de las señales inalámbricas de ambas tecnologías utilizando un celular inteligente. Teniendo como entrada estos datos, para el cálculo de la ubicación se desarrollarán algoritmos específicos para lograr una precisión estimada de 50 cm. En la figura 3 se muestra el modelo SADT de la propuesta de solución.



Figura 2: Intensidad de las señales WiFi y bluetooth [1].

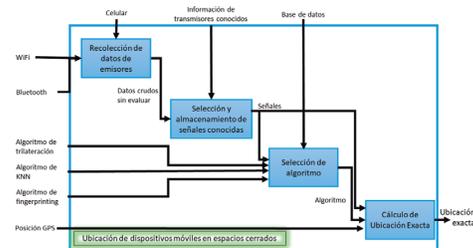


Figura 3: Modelado SADT para la ubicación de dispositivos móviles en espacios cerrados.

Conclusiones y trabajos futuros

El desarrollo de aplicaciones de internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés Internet of Things) y la construcción de edificios inteligentes ha inducido nuevas necesidades para la movilidad de personas y objetos en espacios cerrados.

En este trabajo, se presenta una nueva propuesta para la geolocalización en tiempo real de personas y objetos en espacios cerrados, utilizando la señal de dispositivos beacons y emisores WiFi para el cálculo de la ubicación.

Como trabajo futuro se desarrollará una plataforma de servicios de geolocalización que mejore la precisión de la ubicación y que permita realizar estudios de movilidad, control de acceso, seguridad, logística, etc. Para mejorar la precisión se evaluarán los algoritmos que ofrezcan un mejor desempeño utilizando como entrada y de manera simultánea la señal de la red WiFi y de los dispositivos beacons.

Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto "Sistema de seguimiento y predicción de tiempos de arribo de transporte público basado en el estándar GTFS y utilizando sensores de monitoreo", clave 5138.19-P del TecNM.

Suplantación de identidad en imágenes faciales

Ing. Wendy Valderrama Cardenas (wendy.valderrama17ca@cenidet.edu.mx),
Dra. Andrea Magadán Salazar (magadan@cenidet.edu.mx)



Tecnológico Nacional de México /CENIDET



MOTIVACIÓN

La suplantación de identidad de una persona es un problema que vulnera la seguridad de sistemas que utilizan la biometría del rostro. En el presente trabajo se pretende identificar cuando la imagen analizada no corresponde a la imagen de una persona real, sino a una imagen o máscara. La descripción se realiza mediante texturas y se aplican varios algoritmos de clasificación supervisada.

PROBLEMÁTICA

El rostro es uno de los rasgos biométricos más utilizados en los sistemas de autenticación de identidad[1]. Sin embargo son vulnerables a los ataques de suplantación debido a que dichos ataques son una réplica de la cara, estos ataques pueden ser por medio de una fotografía, tablet, teléfono celular, máscara, entre otros.

A diferencia de otros rasgos biométricos como lo son la huella dactilar y el iris, la cara de la persona a quien se desea suplantar puede ser obtenida por redes sociales u otros medios de difusión. Aunado a esto el costo de este tipo de ataques es relativamente barato.

OBJETIVO

- Analizar el uso de descriptores de textura para abordar el problema de suplantación de identidad en imágenes faciales.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

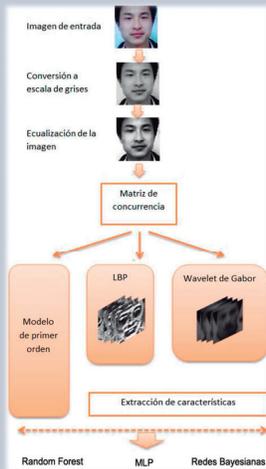


Figura 1. Metodología de solución.

RESULTADOS:

Para este proyecto se utilizaron dos bancos de imágenes, una es NUAU Photograph Imposter Database [2]. Este banco de imágenes consta de 12614 imágenes y los ataques de suplantación se realizan por medio de fotografías; para esta investigación se utilizaron 4800 imágenes para entrenamiento y 7814 para pruebas, con una resolución de 200x200 píxeles. Cada una de ellas es una vista frontal de las 15 personas, en la figura 2 se muestra un ejemplo.



Figura 2 Base de datos NUAU Photograph Imposter database a) Imágenes de fotografías reales, b) Imágenes de fotografías de ataques

También se creó otro banco de imágenes para ataque de suplantación por medios digitales, las fotografías fueron adquiridas con un teléfono celular Motorola G4 play, con resolución de 100 píxeles por pulgada. Para el ataque las imágenes adquiridas mediante el celular se mostraron frente a una cámara web de una laptop TOSHIBA satellite con una resolución de 96 píxeles por pulgada, esta base de datos cuenta con 1000 imágenes, de las cuales se utilizaron 100 imágenes para entrenamiento y 900 para pruebas, como se muestra en la figura 3.



Figura 3 a) Imágenes de fotografías reales del banco de imágenes local, b) Imágenes de fotografías de ataques del banco de imágenes local.

El vector de características aplicado a los algoritmos LBP, wavelets de Gabor y el modelo de primer orden, tiene una dimensión de 5 conformado por las características[3]: Contraste, homogeneidad, momento de diferencia inversa (IDM), entropía y media, las características dan información sobre dirección, homogeneidad, rugosidad, etc, de la textura. Es decir, menos información de textura corresponde a una imagen ó máscara y viceversa, tener mayor información de textura corresponde a una imagen real.

Se utilizaron 3 algoritmos de clasificación:

- Random Forest, con profundidad de 2000.
- Perceptrón Multicapa(MLP), con 5 capas ocultas.
- Redes Bayesianas.

La métrica utilizada para analizar los resultados(Tabla 1), de los clasificadores es la exactitud.

Tabla 1. Comparación de exactitud de los clasificadores entre los dos bancos de datos.

| | Primer orden | LBP | Gabor |
|------------------------|--------------|--------|--------|
| NUAA Random forest | 95.03% | 88.66% | 96.3% |
| Local Random forest | 98.56% | 99.56% | 99.33% |
| NUAA MLP | 92.01% | 86.99% | 92.88% |
| Local MLP | 99.89% | 99.89% | 100% |
| NUAA Redes Bayesianas | 86.84% | 85.5% | 88.18% |
| Local Redes Bayesianas | 98.67% | 99.56% | 99.00% |

Después de haber realizado los diferentes experimentos podemos concluir que:

- Los mejores resultados se obtienen con el ataque mediante cámara web a diferencia de los ataques por fotografía, sin embargo se debe considerar que la resolución de los medios digitales es un factor que afecta en este tipo de ataques.
- En el banco de imágenes NUAU el clasificador que reporta mejores resultados es Random forest, mientras que en el banco de imágenes local es MLP.
- El algoritmo que tiene mejores resultados en los dos bancos de imágenes es Gabor, superando a LBP que es el algoritmo más utilizado para abordar el problema de suplantación de identidad.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) and J. F. J. Galbally, S. Marcel, "Biometric anti-spoofing methods: A survey in face recognition," *IEEE Access*, vol. 2, pp. 1530–1552, 2014
- 2) J. L. and L. J. X. Tan, Y. Li, "Face Liveness Detection from A Single Image with Sparse Low Rank Bilinear Discriminative Model," *Proc. 11th Eur. Conf. Comput. Vis.*, 2010.
- 3) A. Agarwal, R. Singh, and M. Vatsa, "Face anti-spoofing using Haralick features," *2016 IEEE 8th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems, BTAS 2016*. 2016.

Medición de Nivel de Interfases Líquidas Basada en modelo

Cesar Augusto Peregrino de la Cruz

Tecnológico Nacional de México CENIDET

Director: Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza ; Co-Director: Dr. Alejandro Alvarado Lassman

Revisores: Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo , Dr. Guadalupe Madrigal Espinosa



Resumen
Se busca implementar un Método de medición para interfases líquidas en contenedores mediante la medición de la presión diferencial apoyado en un modelo matemático para la reducción de errores de medición. Siendo este trabajo una primera aproximación a la aplicación real en reactores de lecho fluidizado.

Planteamiento del Problema
La supervisión del nivel de lechos fluidizados en bio-reactores en un aspecto muy importantes para el proceso de generación de biogás. Las propiedades corrosivas del sustrato, y lo susceptible que puede llegar a ser la población de microorganismos complican en gran manera las posibilidades de utilizar instrumentos de medición convencionales.

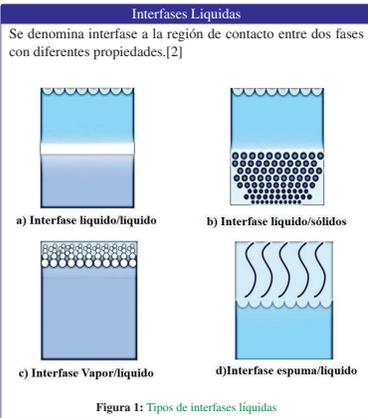
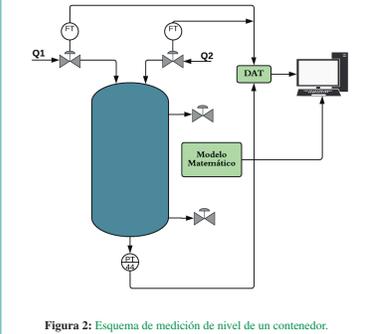


Figura 1: Tipos de interfases líquidas

Propuesta de Solución
El objetivo de este estudio es lograr medir el nivel de las interfases, por lo cual se propone un modelo matemático el cual solo abarca las dinámicas que se relacionan al cambio de nivel apoyado en mediciones de presión diferencial para disminuir errores de medición.



Medición Por presión diferencial

Este método se basa en el principio de medir la carga o presión hidrostática.[1] Siendo:

| | |
|--------|--|
| H | Altura de líquido sobre el plano de referencia |
| P | Presión total debida a la carga de líquido. |
| ρ | Densidad del líquido. |
| g | gravedad |

La presión diferencial que mide el transmisor será:

$$P = H * \rho * g \quad (1)$$

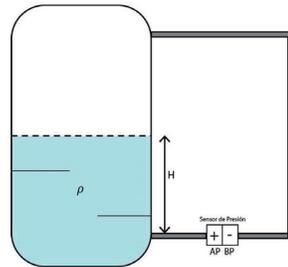


Figura 3: Tanque cerrado con un solo componente.

Por lo tanto la altura de nivel en el tanque estará dada por:

$$H = \frac{P}{\rho * g} \quad (2)$$

Un sistema con interfase líquida puede ser por ejemplo gas licuado de petróleo (LPG) y agua de proceso.

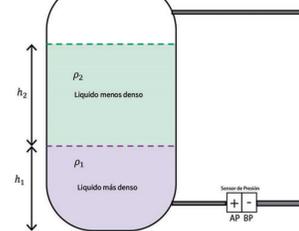


Figura 4: Contenedor con una interfase ante dos componentes no miscibles. Utilizando la ecuación general y considerando las condiciones anteriores:

$$P = g(h_1 * \rho_1 + h_2 * \rho_2) \quad (3)$$

Y donde finalmente la altura de la interfase estará dada por la siguiente ecuación.

$$h_1 = \frac{P h_2 \rho_2 g}{g(\rho_1 - \rho_2)} \quad (4)$$

Modelo Matemático

Se pretende modelar la dinámica del llenado y vaciado de un tanque cuyo contenido serán dos fluidos de diferentes densidades formado una interfase líquida entre ellos.

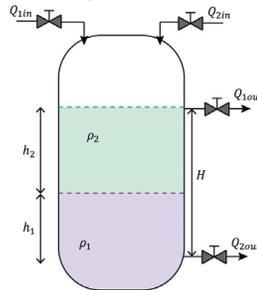


Figura 5: Diagrama ejemplificado del contenedor de un bio-reactor de lecho fluidizado

| | |
|------------|-----------------------------------|
| Q_{1in} | Flujo de entrada del componente 1 |
| Q_{2in} | Flujo de entrada del componente 2 |
| Q_{1out} | Salida del Componente 1 |
| Q_{2out} | Salida del Componente 2 |
| V_1 | Válvula 1 |
| V_2 | Válvula 2 |
| V_3 | Válvula 3 |
| V_4 | Válvula 4 |
| h_1 | Altura del elemento 1 (Interfase) |
| h_2 | Altura del elemento 2 |
| H | Altura de la Válvula 3 |
| ρ_1 | Densidad del componente 1 |
| ρ_2 | Densidad del componente 2 |
| k | área de orificio de salida |

Para los flujos de salida Q_{1out} y Q_{2out} se utiliza la ecuación de Bernoulli.[4] que se muestra a continuación

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g y_2 \quad (5)$$

Tomando las suposiciones necesarias y despejando la velocidad de la ecuación 5 se obtiene que :

$$V_2 = \sqrt{2 \left(\frac{P_1}{\rho} + g y_1 \right)} \quad (6)$$

Se tiene por lo tanto que la ecuación para el flujo de salida Q_{1out} es igual a la velocidad del flujo por el área del orificio de salida k . La primera ecuación diferencial será:

$$\frac{dh_1}{dt} = Q_{1in} - \frac{1}{A} k \sqrt{\frac{2\rho_2 g h_2}{\rho_1} + 2g h_1} \quad (7)$$

La segunda ecuación diferencial para el fluido mas ligero considerando su válvula de salida será:

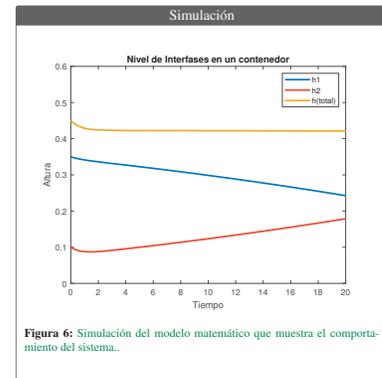
$$\frac{dh_2}{dt} = Q_{2in} - \gamma(x) \quad (8)$$

Donde la función gamma γ dependerá de la altura del segundo componente es decir:

$$\gamma(x) = \frac{1}{A} k \sqrt{2g(h_2 + h_1 - H)} \quad \forall h_2 + h_1 \geq H; \quad (9)$$

y

$$\gamma(x) = 0 \quad \forall h_2 + h_1 < H; \quad (10)$$



Conclusiones
La finalidad de este trabajo es lograr medir las interfases que se encuentran dentro de contenedores mediante las mediciones de un sensor de presión diferencial apoyado en un modelo matemático que pueda aproximar la dinámica del proceso para reducir errores de medición.

Futuros Retos

- Lograr diseñar un observador que permita estimar los flujos de entrada como otras variables a partir del modelo diseñado.
- Implementar al modelo dinámicas propias de un bio-reactor de lecho fluidizado de manera paulatina para lograr una mejor representación del sistema real.

Referencias

[1] Creus Antonio. Instrumentación industrial. Alfaomega grupo editor, México, 1997.
[2] Ira N Levine. Físico química. McGraw-Hill Interamericana, 1993.
[3] Robert L Mott. Mecánica de fluidos. Pearson educación, 2006.
[4] Cengel Yunus and Cimbala John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. Mc Grawhill, Mexico, 3, 2006.



Caracterización de un Banco de Supercapacitores y Batería de LiFePO4 y su aplicación en el diagnóstico de fallas.

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Departamento de Ingeniería Electrónica
Ing. Diana Arleth Muñoz Menéndez.

Asesores: Dr. José Francisco Gómez Aguilar, Dra. Ma. Guadalupe López López.

RESUMEN

Hoy en día los estudios e investigaciones relacionadas con la generación de energía mediante tecnologías verdes son relevantes y con muchas áreas de oportunidad, entre ellas, lo relacionado con el almacenamiento de energía para su posterior uso. El poder detectar y diagnosticar las fallas en el sistema de almacenamiento de energía permite por un lado evitar un daño en el mismo, y por el otro, tener una operación segura cuando interactúe con otros equipos y/o sistemas.

Para este trabajo de investigación se construirá físicamente el banco de supercapacitores para fines de adquisición de datos para la parametrización del modelo y se diseñará un esquema de detección y diagnóstico de fallas en el banco de supercapacitores y en el banco de baterías y se hará la validación del mismo a nivel simulación.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía mediante tecnologías verdes es un tema muy investigado en la actualidad debido a la creciente necesidad de aprovechar los recursos renovables. Sin embargo, esto implica un reto muy grande porque la naturaleza variable, intermitente e impredecible de este tipo de tecnologías ocasiona que no se garantice la generación constante de energía por lo que se considera que la forma de distribución de energía no es efectiva. En consecuencia, los sistemas de almacenamiento de energía se presentan como una respuesta a estas fluctuaciones, aunque no siempre se garantiza que este tipo de sistemas sea inmune a las fallas, es por ello que en este trabajo se propone abordar el tema de detección y diagnóstico de fallas en un sistema de almacenamiento de energía compuesto por un banco de supercapacitores y un banco de baterías.

OBJETIVO

Realizar la detección y diagnóstico de fallas en un sistema de almacenamiento de energía compuesto por un banco de supercapacitores y un banco de baterías, interconectados con un sistema de acondicionamiento de potencia.

METODOLOGÍA

Los sistemas de almacenamiento de energía pueden ser representados mediante modelos matemáticos de ecuaciones diferenciales basados en sus propiedades electroquímicas (baterías y supercapacitores) o mediante representaciones de circuito eléctrico equivalente. En este trabajo se optó por la segunda representación debido a que los modelos de CEE son intuitivos y útiles, además de incluir la posibilidad de su aplicación en simuladores de circuitos. El modelo de CEE del supercapacitor fue tomado de Faranda (2010) y se muestra en la Figura 1.

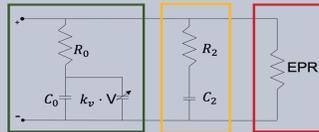


Figura 1. Modelo de circuito equivalente de dos ramas RC de un supercapacitor.

La primera rama encerrada en color verde, es principalmente la responsable para el almacenamiento inicial.

La segunda rama RC encerrada en color amarillo representa la redistribución de carga del voltaje del dispositivo sobre medianos y largos periodos de tiempo.

La tercera rama encerrada en color rojo se agrega para representar la propiedad de autodescarga.

El modelo de CEE de la batería fue tomado de Gandolfo (2015) y se muestra en la Figura 2 los parámetros se obtuvieron mediante pruebas experimentales con las baterías que se tienen en el laboratorio y con las siguientes ecuaciones:

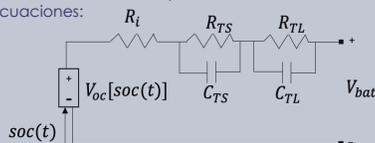


Figura 2. Modelo dinámico de circuito eléctrico equivalente de una batería.

$$R_i = \sum_{j=0}^{j=10} a_{(j)} [SOC(t)]^j \quad (\text{Ec. 1})$$

$$R_{rTS} = \sum_{j=0}^{j=10} b [SOC(t)]^j \quad (\text{Ec. 2})$$

$$R_{rTL} = \sum_{j=0}^{j=10} c [SOC(t)]^j \quad (\text{Ec. 3})$$

$$C_{rTS} = \sum_{j=0}^{j=10} d [SOC(t)]^j \quad (\text{Ec. 4})$$

$$C_{rTL} = \sum_{j=0}^{j=10} e_{(j)} [SOC(t)]^j \quad (\text{Ec. 5})$$

RESULTADOS

La Figura 3 muestra el resultado de las mediciones de voltaje en las baterías de LiFePO4, comparando dichos resultados contra los datos obtenidos en la simulación del modelo. Se puede observar un elevado grado de concordancia entre ambos resultados.

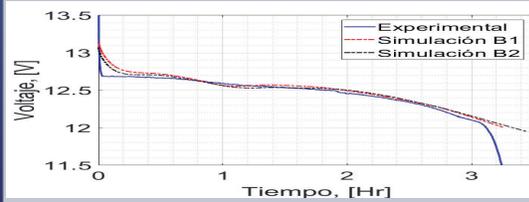


Figura 3. Resultados experimentales vs. Resultados en simulación. Modelo batería.

Por otro lado, se realizaron mediciones experimentales en el banco de supercapacitores para la caracterización del modelo, las pruebas que se realizaron para ajustar los parámetros fueron de carga y descarga constante aplicando diferentes corrientes (Figura 4.). Una de las características dinámicas del sistema es que a mayor corriente el tiempo de carga es menor.

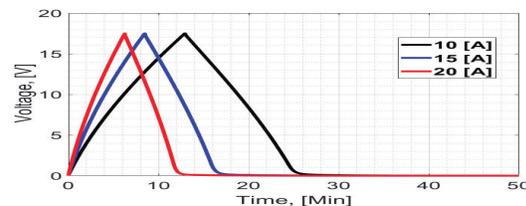


Figura 4. Respuesta del voltaje del banco de supercapacitores ante diferentes corrientes.

CONCLUSIONES

Se presentan los modelos de circuito eléctrico equivalente para la batería y para el banco de supercapacitores.

Se obtuvieron los parámetros del modelo de la batería y del banco de supercapacitores.

Se demostró que los modelos de CEE representan fielmente el comportamiento de la batería y los supercapacitores.

Se sigue trabajando en la técnica de detección y diagnóstico de fallas.

REFERENCIAS

- [1] ESCOBAR-MEJÍA, A. and HOLGUÍN-LONDOÑO, M. (2011). Sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables. *Scientia et Technica*, 17(47).
- [2] Faranda, R. (2010). A new parameters identification procedure for simplified double layer capacitor twobranch model. *Electric Power Systems Research*, 80(4):363–371.
- [3] Gandolfo, D., Brandão, A., Patiño, D., and Molina, M. (2015). Dynamic model of lithium polymer battery-load resistor method for electric parameters identification. *Journal of the Energy Institute*, 88(4):470–479.
- [4] Nikkhoo, M., Farjah, E., and Ghanbari, T. (2016). A simple method for parameters identification of three branches model of supercapacitors. In *Electrical Engineering (ICEE), 2016 24th Iranian Conference on*, pages 1586–1590. IEEE.
- [5] Torregrossa, D., Toghiani, K. E., Amstutz, V., Girault, H. H., and Paolone, M. (2015). Macroscopic indicators of fault diagnosis and ageing in electrochemical double layer capacitors. *Journal of Energy Storage*, 2:8–24.
- [6] Zubieta, L. and Bonert, R. (2000). Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications. *IEEE Transactions on industry applications*, 36(1):199–205.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

cenidet[®]
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Ecualización de celdas conectadas en serie para almacenamiento de energía

Autor: Gerardo Ocampo Jiménez

Asesor: Dr. Abraham Claudio Sánchez

1. Problemática

Las baterías y ultracapacitores son ampliamente utilizados en vehículos eléctricos, sistemas fotovoltaicos, sistemas de respaldo, como se muestra en la figura 1. Normalmente estos sistemas utilizan una cadena de conexión en serie los cuales se cargan y se descargan durante su uso provocando un desequilibrio de voltaje entre celdas reduciendo el tiempo de vida, baja eficiencia, deterioro y sobrecalentamiento en el sistema de almacenamiento. [1], [2]

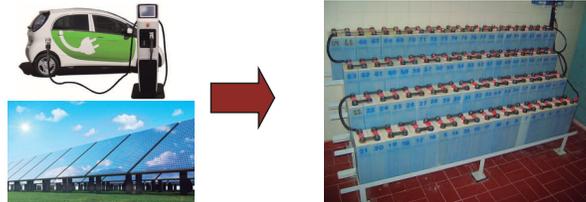


Figura 1. Sistemas de aplicación y almacenamiento de energía

2. Propuesta de solución

En cenidet, se ha propuesto una solución para el problema de desbalance por medio de la topología de ecualización activa la cual, se denomina capacitor conmutado [3]. La topológica de doble capacitor conmutado es una derivación del capacitor conmutado, pero con una rama extra como se muestra en la figura 2.[4] Este sistema requiere de $N-1$ capacitores para ecualizar por N celdas de almacenamiento conectadas en serie. El proceso de ecualización consiste en transferir la energía de las celdas hacia otro dispositivo de almacenamiento (capacitores) los cuales almacenan y entregan la energía de las celdas más cargadas hacia las de menos carga. El proceso de transferencia de energía es controlado por interruptores los cuales se activan mediante señales PWM. El tiempo de ecualización depende de la cantidad de energía entre las celdas, la frecuencia y el valor del capacitor de ecualización. [5], [6], [7]

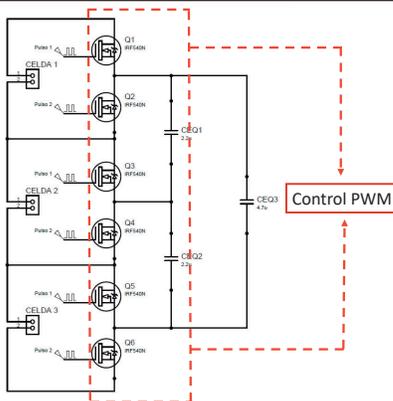


Figura 2. Circuito de ecualización doble capacitor

3. Objetivos

A diferencia del trabajo anterior, este trabajo de tesis se propone una nueva topología de balanceo activo por medio del método de doble capacitor conmutado el cual tiene como objetivos:

General: Realizar un sistema de ecualización para celdas conectadas en serie.

Específicos: Implementar una topología de ecualización activa, de bajo costo, sencilla implementación y un corto tiempo de ecualización.

4. Comparativa y simulaciones

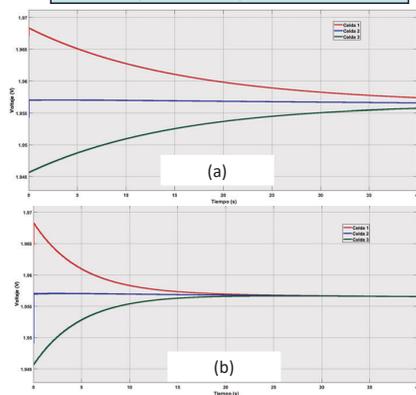


Figura 3. (a) Simulación capacitor conmutado. (b) Simulación doble capacitor conmutado.

6. Conclusión

En la figura 3, podemos observar la comparativa del tiempo de ecualización entre la topología de capacitor conmutado y doble capacitor conmutado. El método de doble rama, reduce el tiempo de balanceo hasta un 50% más que el de una sola, por lo que tenemos un mejor manejo de energía evitando que esta sea disipada en los elementos resistivos del circuito.

5. Implementación

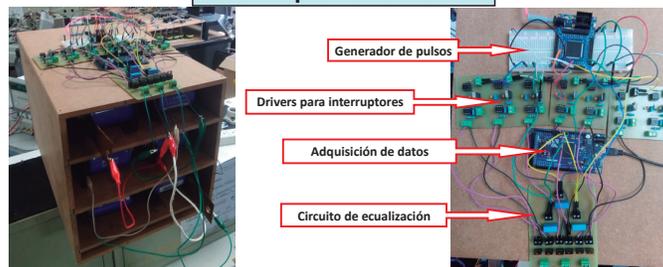


Figura 4. Circuito de doble capacitor conmutado

En la figura 4, podemos observar una primera implementación del circuito ecualización. Como primera prueba, se realizó el proceso de ecualización para un banco de supercapacitores la cual, tuvo un tiempo de ecualización de 20 minutos.

Referencias

- [1] A. Khaligh and Z. Lu, "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 6, pp. 2806–2814, 2010.
- [2] P. T. Krein and R. S. Balog, "Life extension through charge equalization of lead-acid batteries," pp. 516–523, 2003.
- [3] A. López Miguel and D. Dector, "Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica," no. ii, pp. 1–55, 2015.
- [4] Y. Shang, F. Lu, B. Xia, C. Zhang, N. Cui, and C. Mi, "A Switched-Coupling-Capacitor Equalizer for Series-Connected Battery Strings," *IEEE Trans.*, vol. 32, no. 10, pp. 1425–1429, 2017.
- [5] A. C. Baughman and M. Ferdowsi, "Double-tiered switched-capacitor battery charge equalization technique," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2277–2285, 2008.
- [6] R. Fukui and H. Koizumi, "Double-tiered switched capacitor battery charge equalizer with chain structure," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 6715–6720, 2013.
- [7] A. Sani, C. K. Hu, Y. C. Hsieh, H. J. Chiu, and J. Y. Lin, "Switched-capacitor charge equalization circuit for series-connected batteries," 2016 *IEEE 2nd Annu. South. Power Electron. Conf. SPEC 2016*, p. 31DUMMY, 2016.

Reconstrucción de fallas en actuadores basada en observadores de aprendizaje para sistemas LPV

Ing. Israel Isaac Zetina Rios, Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo, Dr. Guadalupe Madrigal Espinosa.

Introducción

Mediante el uso de observadores es posible estimar las variables de estado de algún sistema, que en ocasiones son difíciles de conocer debido a que no se encuentran disponibles en el vector de salida. Los observadores también son usados en sistemas de detección y diagnóstico de fallas para conocer el momento de aparición de una falla en un actuador o sensor del sistema analizado. Existe una variedad de observadores con características diferentes aplicados a sistemas lineales y no lineales. Este trabajo se enfoca en los observadores de aprendizaje con una estructura generalizada para la estimación de fallas abruptas en actuadores en sistemas no lineales con representación lineal de parámetros variantes (LPV, por sus siglas en inglés). Se presentan los resultados que muestran el desempeño del observador de aprendizaje generalizado (GDLO, por sus siglas en inglés), y su comparación con casos particulares.

Objetivos

- Diseñar un observador de aprendizaje generalizado GDLO para la estimación de fallas abruptas en actuadores para procesos con representación LPV.
- Obtención de un modelo LPV partiendo de un modelo no lineal.
- Comparar la metodología propuesta con un enfoque proporcional o proporcional-integral y analizar los resultados obtenidos en dicha comparación.

Diseño del observador de aprendizaje generalizado (GDLO)

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^M \mu_i(x(t))(A_i \hat{x}(t)) + Bu(t) + Gf(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C_1 \hat{x}(t)$$

donde $x(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados y el vector de estados variante, $u(t) \in \mathbb{R}^m$ el vector de entrada, $f(t) \in \mathbb{R}^m$ el vector de falla en actuador, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ representa el vector de salida. $A_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbb{R}^{n \times p}$, $G \in \mathbb{R}^{n \times m}$, son matrices reales conocidas, $\mu_i(t)$ son las funciones de ponderación del sistema.

Observador de aprendizaje generalizado

$$\dot{\zeta}(t) = \sum_{i=1}^M \mu_i(x(t))[N_i \zeta + H_i v(t) + F_i y(t)] + Ju(t) + TG \hat{f}(t) \quad (2)$$

$$\dot{v}(t) = \sum_{i=1}^M \mu_i(x(t))[S_i \zeta(t) + L_i v(t) + M_i y(t)] \quad (3)$$

$$\dot{\hat{x}}(t) = \zeta(t) + Qy(t) \quad (4)$$

$$\dot{\hat{f}}(t) = K_1 \hat{f}(t - \tau) + \Phi(C_1 \hat{x}(t) - y(t)) \quad (5)$$

donde $\zeta(t) \in \mathbb{R}^n$ representa el vector de estados del observador, $v(t) \in \mathbb{R}^q$ es un vector auxiliar, $\hat{f} \in \mathbb{R}^m$ es la estimación de falla $f(t)$, $\hat{x}(t) \in \mathbb{R}^n$ es el estimado de $x(t)$. Las matrices del observador $N_i, H_i, F_i, S_i, \dots, L_i, M_i, T, J, P, Q, K_1, \Phi$ son matrices desconocidas de dimensiones apropiadas las cuales deben determinarse tal que converga asintóticamente a $x(t)$ y $f(t)$ [6].

Condiciones y Restricciones

- (1) $\text{rango} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_1 A_i \\ \vdots \\ C_1 A_i^{n-1} \end{bmatrix} = n, \forall i \in [1, \dots, M].$
 - (a) $N_i T + F_i C_1 - T A_i = 0$
 - (b) $J - T B = 0$
 - (c) $S_i T + M_i C_1 = 0$
 - (d) $T + Q C_1 = I_n$
- (2) $\text{rango}(C_1 G) = \text{rango}(G) = m$
- (3) *Se asume que la falla tiene un comportamiento abrupto por tanto $\dot{f}(t) = 0$

*En la aclaración 3 durante la ocurrencia de la falla hay un instante en el que la derivada de la falla tiende a infinito, sin embargo para los propósitos de estimación de la falla en este trabajo no tiene relevancia ese instante de tiempo.

Caso de estudio

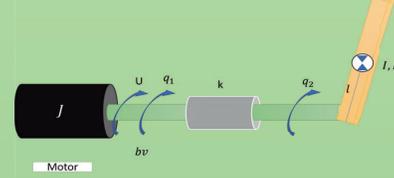


Figura 1. Robot de articulación flexible de

Descripción del modelo

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) & \text{Posición y velocidad del eslabón} \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{b_v x_2(t)}{J} - \frac{k(x_1(t) - x_3(t))}{J} + \frac{k_e U(t)}{J} & x_1 = q_1 \\ & & \dot{x}_1 = \dot{q}_1 \\ \dot{x}_3(t) &= x_4(t) & \text{Posición y velocidad del motor} \\ \dot{x}_4(t) &= -\frac{Mgl \sin(x_3(t))}{I} - \frac{k_e(x_3(t) - x_1(t))}{I} & x_2 = q_2 \\ & & \dot{x}_2 = \dot{q}_2 \end{aligned}$$

Tabla 1. Parámetros del robot de

| Parámetro | Descripción |
|-----------|----------------------------------|
| g | Aceleración debido a la gravedad |
| M | Masa del eslabón |
| B_v | Coefficiente de fricción viscosa |
| J | Inercia del eslabón |
| J | Inercia del motor |
| K_e | Constante elástica |
| l | Centro de masa del eslabón |
| k_e | Ganancia de amplificación |

Simulación

Se realiza la simulación del observador de aprendizaje generalizado comparando su desempeño con el observador de dinámica generalizada.

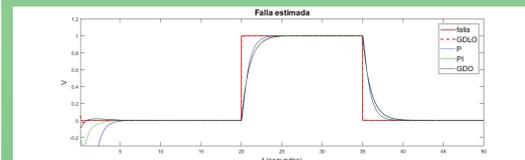


Figura 2. Se muestra la reconstrucción de una falla constante mediante el observador de aprendizaje generalizado y el observador generalizado respectivamente.

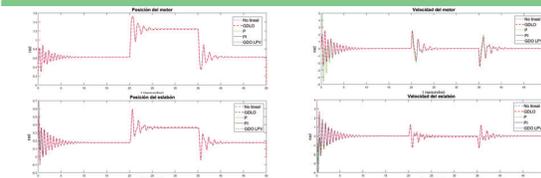


Figura 3. se muestra la estimación de la posición y velocidad del motor así como la posición y velocidad del eslabón, mediante el observador de aprendizaje generalizado y el observador generalizado.

Conclusiones

Se presenta el diseño de un observador de aprendizaje generalizado (GDLO) para estimar los estados y las fallas que ocurren en actuador. El GDLO tiene una estructura que permite estimar las fallas con precisión debido a la parte de aprendizaje, así mismo ofrece mayor robustez ante incertidumbres que puedan ocurrir en el sistema por la estructura generalizada. se puede concluir que el GDLO es capaz de estimar fallas con variación rápida que ocurran en actuadores, aportando así una nueva metodología para poder detectar y estimar este tipo de fallas que ocurren en los actuadores del sistema Como se aprecia en las Figuras 2 y 3.

Referencias

- [1] Chakrabarty, A., Corless, M. J., Buzzard, G. T., Žak, S. H., & Rundell, A. E. (2017). State and unknown input observers for nonlinear systems with bounded exogenous inputs. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 62(11), 5497-5510.
- [3] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar. *Robot modeling and control*, volume 3. Wiley New York, 2006.
- [4] Chen, W., & Chowdhury, F. N. (2007). Simultaneous identification of time-varying parameters and estimation of system states using iterative learning observers. *International Journal of Systems Science*, 38(1), 39-45.
- [5] Jia, Q., Chen, W., Zhang, Y., & Chen, X. (2014). Robust fault reconstruction via learning observers in linear parameter-varying systems subject to loss of actuator effectiveness. *IET Control Theory & Applications*, 8(1), 42-50.
- [6] Pérez-Estrada, A. J., G. L. Osorio Gordillo Darouach M. Olivares-Peregrino V. H. (2017, Octubre.). Generalized dynamic observers for lpv systems. congreso nacional de control automático. monterrey, nuevo león, méxico, octubre 4-6, 2017.



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

cenidet[®]
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



Diseño de filtros fraccionarios y su aplicación en la detección de características y reconstrucción de imágenes.

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

Departamento de Ingeniería Electrónica.

Ing. Jonathan Diego Pereyra Guzmán.

Asesor: Dr. José Francisco Gómez Aguilar.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es la obtención de una metodología con base en operadores fraccionarios, para el diseño de máscaras diferenciales.

Para el desarrollo de esta máscara diferencial se propuso utilizar la derivada fraccionaria Caputo-Fabrizio, con lo cual se pretende obtener un mejor resultado al momento de detectar bordes, al mismo tiempo detectar texturas propiamente de la imagen.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen muchas aplicaciones para la detección de bordes, como son la visión artificial, robótica móvil, por mencionar algunas.

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de éstas y hacer más evidentes ciertos detalles que se desean hacer notar.

Los métodos de detección de bordes existentes se basan en enfoques diferenciales de orden entero, como lo es el de Prewitt, Sobel, Canny, Gaussiano, por mencionar algunos, que son los más utilizados en la literatura.

OBJETIVO

Desarrollar una metodología con base en operadores fraccionarios para el diseño de máscaras diferenciales.

METODOLOGÍA

Utilizando el gradiente de una imagen en cualquier punto se define como un vector bidimensional dado por la ecuación (1).

$$G[f(x,y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d}{dx} f(x,y) \\ \frac{d}{dy} f(x,y) \end{bmatrix}; \quad (1)$$

Donde el vector G apunta en la dirección de variación máxima de f en el punto (x,y) por unidad de distancia con la magnitud y dirección dadas por:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad \phi(x,y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x}. \quad (2)$$

Habitualmente se aproxima la magnitud del gradiente con valores absolutos:

$$|G| \approx |G_x| + |G_y| \quad (3)$$

Cualquiera de las ecuaciones (2) y (3) se puede utilizar para obtener la magnitud del gradiente, ya que va en relación a un determinado umbral, si el valor de la magnitud supera el umbral este punto se considera como un borde[1].

Para calcular la derivada en (1) se puede utilizar las diferencias del primer orden entre dos píxeles adyacentes, esto es:

$$G_x = \frac{f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x)}{2\Delta x}; \quad G_y = \frac{f(y + \Delta y) - f(y - \Delta y)}{2\Delta y}; \quad (4)$$

Esta es la forma más elemental de obtener el gradiente en un punto. Para obtener el gradiente en una imagen:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } |G[f(x,y)]| > T \\ 0 & \text{si } |G[f(x,y)]| \leq T \end{cases}; \quad (5)$$

Donde T es un valor de umbral no negativo, solo los píxeles de borde que excedan el valor de T se consideran importantes.

Derivada Fraccionaria

El concepto es uno de los más utilizados en el campo de las matemáticas, y matemáticas aplicadas, ya que son capaces de incluir el efecto memoria y el efecto de filtro en ecuaciones diferenciales parciales u ordinarias que describen problemas del mundo real[2].

$${}^{CF}D_t^\alpha f(t) = \frac{M(\alpha)}{1-\alpha} \int_{t_0}^t \exp\left(-\frac{\alpha}{1-\alpha}(t-\tau)\right) f^1(\tau) d\tau, \quad (6)$$

Donde M(α) es una función de normalización M(0) = M(1) = 1, y α es el orden de la derivada.

Operadores de Prewitt

Éste operador obtiene el gradiente para los bordes, con una máscara:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Máscara utilizada para G_x.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Máscara utilizada para G_y.

Operador de Sobel

Los operadores de Sobel, al igual que el de Prewitt, son operadores de gradiente, tienen la tarea de suavizar la imagen, de tal manera que se elimine el ruido, por lo tanto se eliminan falsos bordes[1].

$$\begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 \\ Z_4 & Z_5 & Z_6 \\ Z_7 & Z_8 & Z_9 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Región de la imagen 3x3. Máscara usada para G_x. Máscara usada para G_y.

RESULTADOS

En la Fig. 1. se muestra la imagen original de un avión en pleno vuelo.



Fig. 1 Avión

En la Fig. 2, se observan los resultados de los algoritmos de detección de bordes de a) Prewitt, b) Sobel y c) Canny.

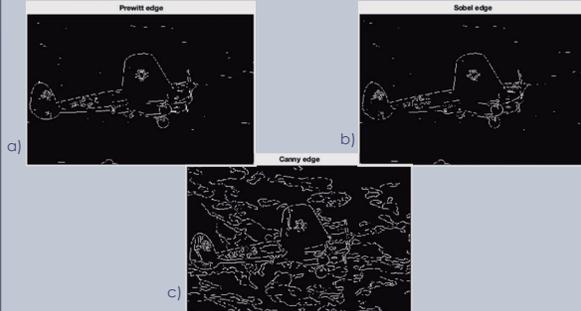


Fig. 2 Algoritmos de detección de bordes de a) Prewitt, b) Sobel y c) Canny.

En la Fig. 3 se presenta la imagen resultante después de aplicar el algoritmo de detección de borde fraccionario, donde se puede apreciar al avión, el escudo a un costado de éste y debajo de las alas, también se pueden apreciar las nubes. En este algoritmo de detección de bordes, además de detectar los bordes, podemos detectar texturas.



Fig. 3 Algoritmo de detección de borde fraccionario.

CONCLUSIONES

Existen diferentes tipos de filtros, utilizados para la detección de bordes, reportados en la literatura, los cuales son: Roberts, Prewitt, Sobel, Canny, y el filtro Gaussiano, por mencionar algunos. Estos filtros son más propensos a perder detalles en los bordes, así como en las texturas de la imagen. En este trabajo se propone la utilización de la derivada fraccionaria de Caputo-Fabrizio. Aplicando este algoritmo se pueden resaltar ciertos detalles que se desean hacer notar, ya que los bordes y texturas se perciben con más eficiencia.

REFERENCIAS

- [1] R. Macías, J. A. Rodríguez, J. N. Alba, (2016). Extracción de bordes; operadores Sobel, Prewitt y Roberts. Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC.
- [2] Atangana, A. (2018). Non validity of index law in fractional calculus: A fractional differential operator with Markovian and non-Markovian properties. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 505, 688-706.
- [3] Nandal, A., Gamboa-Rosales, H., Dhaka, A., Celaya-Padilla, J. M., Galvan-Tejada, J. I., Galvan-Tejada, C. E., Guzman-Valdivia, C. (2018). Image edge detection using fractional calculus with feature and contrast enhancement. Circuits System and Signal Processing, 1-27.
- [4] Y. Q. Chen, B. M. Vinagre, A new IIR-type digital fractional order differentiators, signal Processing 83 (2003) 2359-2365.



Detección y localización de fallas en actuadores de una central termoeléctrica

Ing. Jorge Yusef Colín Castillo
jorge.colin18ea@cenidet.edu.mx

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor.

Dra. Gloria Lilia Osorio Gordillo
gloriaosorio@cenidet.edu.mx

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor.

Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza
Astorga@cenidet.edu.mx

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor.

Dr. Guadalupe Madrigal Espinoza
gmadrigal@cenidet.edu.mx

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor.

Objetivos

Objetivo general

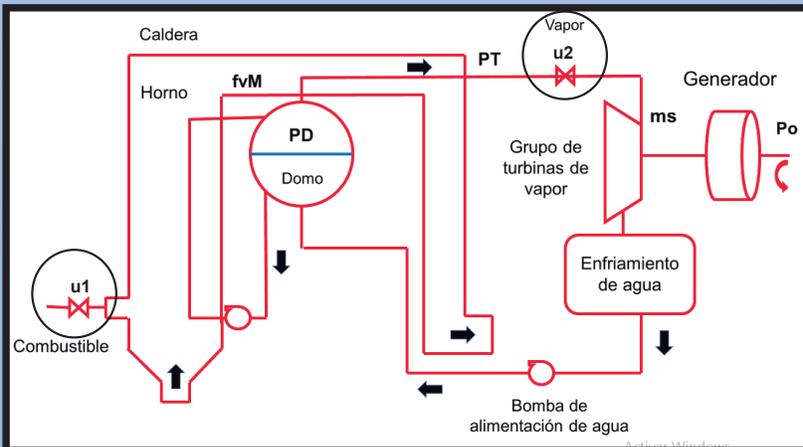
- Diseñar un sistema de detección de fallas de una central termoeléctrica aplicando observadores Takagi-Sugeno.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de detección y localización de fallas en actuadores utilizando observadores Takagi-Sugeno en una central termoeléctrica.
- Evaluar los resultados ante distintos escenarios de fallas utilizando el sistema de detección y localización mediante simulaciones numéricas.



Diagrama de una CT



Modelo matemático

$$\dot{f}vM = \frac{k_H u_1 - f v M}{t_H}$$

$$\dot{P}_D = \frac{f v M - K \sqrt{P_D - P_T}}{C_D}$$

$$\dot{P}_T = \frac{K \sqrt{P_D - P_T} - m_s}{C_{SH}}$$

$$\dot{P}_O = \frac{K_{P_O} m_s - P_O}{t_{P_O}}$$

$$m_s = k_1 u_2 P_T$$

Planteamiento del problema

Uno de los problemas que se presentan en una central termoeléctrica es la falla en los actuadores, y consiste en el desgaste del asentamiento de la válvula, así como, el atascamiento del actuador lo que genera mayor consumo de combustible disminuyendo la eficiencia del sistema.

Takagi-Sugeno

$$\dot{x} = \sum_{i=1}^n \mu_i(z) (A_i x + B_i u)$$

$$y = \sum_{i=1}^n \mu_i(z) (C_i x)$$

$\dot{f}vM$ Flujo de vapor en la mezcla agua-vapor.

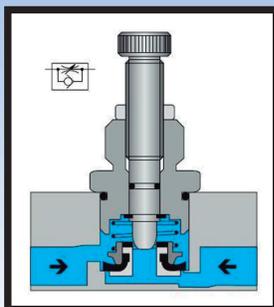
\dot{P}_D Presión del domo.

\dot{P}_O Potencia eléctrica.

\dot{P}_T Presión de vapor sobrecalentado que entra a la turbina.

u_1 Apertura de la válvula de combustible.

u_2 Apertura de la válvula de vapor principal.



Justificación

La detección de fallas es importante debido a que la presencia de fallas puede ocasionar un paro total del sistema, pérdidas de productividad, pérdidas económicas e incluso pérdidas humanas. Con el sistema de detección de fallas se pretende aumentar la seguridad de los operadores y asimismo aumentar la productividad del proceso.

Referencias

- Madrigal, G. (2017). Monitoreo y detección de fallas en el generador de vapor de una central termoeléctrica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Tesis de Doctorado.
- Reyes, J. (2016). Detección de Fallas Mediante Sistemas Takagi-Sugeno: Aplicación en una Central Termoeléctrica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Tesis de Maestría.
- Åström, K. J. and Bell, R. D. (2000). "Drum-boiler dynamics". Elsevier Science Ltd. Automatica Vol. 36 pag.363-378.

Diseño de un sistema de iluminación inteligente para micro-redes de CD

Ing. Luis Bryan Dominguez Barrera, Dr. Jaime E. Arau Roffiel, Dr. Gabriel Calzada Lara

Problemática

En la actualidad existe una tendencia hacia las micro redes de CD en la búsqueda de alcanzar ahorros de energía basados en que la mayoría de las cargas electrónicas funcionan utilizando voltaje en CD (Figura 1).

Una de las cargas más comunes en la actualidad es la iluminación LED la cual, además de ser muy eficiente, se puede controlar de una mejor manera permitiendo, entre otras cosas, implementar estrategias de ahorro energético, particularmente en entornos semiabiertos, atenuando la luz artificial en función de la luz natural que ingresa al recinto (Figura 2).



Figura 1. Topología de una micro red de CD.

Justificación

Las ciudades inteligentes incorporan redes en CD para gestionar de una mejor manera la energía (en su mayoría generada de manera local) además de incorporar la idea de "hacer inteligentes" diferentes dispositivos de uso cotidiano, siendo la iluminación un ejemplo de ello. El desarrollo de la electrónica digital permite, entre otras cosas, realizar de una manera más eficiente el control del nivel de iluminación óptimo, así como la comunicación de los dispositivos mediante diferentes protocolos (WiFi, Bluetooth, GSM) integrados en una sola tarjeta disminuyendo el consumo energético y el espacio físico en la placa (Figura 3).

Planear una estrategia de control de la iluminación no solo significa ahorrar energía, sino también darle mayor confort y una iluminación óptima al usuario de acuerdo a estándares.



Figura 2. Sistema propuesto.

Objetivos

- Diseñar una fuente de alimentación para LEDs que tenga la capacidad de modificar el nivel de energía entregada a la carga para ajustar la iluminación a un estándar requerido.
- Mantener constante el nivel de iluminación previamente fijada de acuerdo a normas o necesidades del usuario, sin importar las variaciones por parte de la incidencia de luz natural además de realizar acciones de encendido y apagado.
- Asegurar una comunicación inalámbrica confiable y segura a través del uso diferentes tarjetas de comunicación los cuales cuentan con diferentes protocolos de comunicación.



Figura 3. Tarjetas de control con comunicación embebida.

Propuesta de solución

Con respecto a la etapa de potencia se utiliza un convertidor Buck acoplado a un bus de CD provisto por una micro red teniendo como carga una lámpara de LEDs de la marca MAGG (Figura 4).

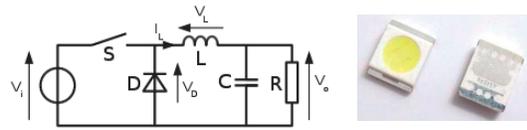


Figura 4. Convertidor Buck y LEDs a utilizar

Por otra parte, el sistema de comunicaciones consiste en un módulo multiprotocolo el cual comanda al convertidor mediante un ciclo de trabajo, al mismo tiempo, ofrece comunicaciones inalámbricas al sistema. Adicionalmente el sistema está diseñado para realizar un control local en caso de que se pierda la conexión (Figura 5).



Figura 5. Flujo de información

Resultados

Se presentan resultados preliminares relacionados con el sistema de comunicaciones y la interfaz de usuario que permitirá generar la señal de control la cual permitirá mantener constante un nivel de iluminación deseado independientemente de la luz natural presente en el recinto.

- Se diseñó y probó el convertidor electrónico de potencia para la lámpara de LEDs real con la que estará operando, verificando que se cumplen los parámetros de diseño y la correcta operación de la lámpara.
- Se realizó una interfaz de usuario utilizando herramientas web desde donde se pueden visualizar los datos obtenidos por el microcontrolador embebido en el sistema, la cual permitirá realizar ajustes desde cualquier dispositivo electrónico a través del navegador.



Figura 6. Esquema propuesto.

Se tiene implementado el convertidor en circuito impreso y los datos obtenidos corresponden a los valores calculados.

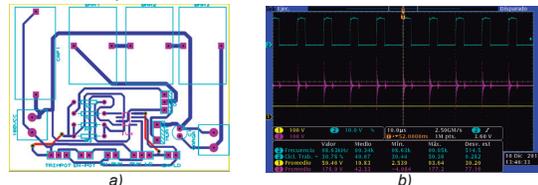


Figura 7. a) PCB del convertidor. b) Ciclo de trabajo (azul), Voltaje de entrada (rosa) Voltaje de salida (amarillo).

Conclusiones

La estrategia de ajustar el nivel de luz en función de la luz natural en ambientes semicerrados tiene más de un objetivo. El primero es el ahorro energético, además de atender cuestiones como iluminación óptima de acuerdo a estándares internacionales de salud y seguridad. A pesar que el tema de tesis aún se encuentra en desarrollo, se han probado los sistemas de potencia y comunicaciones individualmente logrando resultados satisfactorios lo que ha sentado las bases para probar todo en conjunto y lograr cumplir los objetivos propuestos.

[1] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014.
[2] D. Floarea and V. Sgarciu, "LED Smart Illumination with DFID Indoor Positioning," in *Proceedings - 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer, CSCS 2017*, 2017, pp. 515–522.
[3] N. Kumar, "Smart and intelligent energy efficient public illumination system with ubiquitous communication for smart city," *2013 IEEE Int. Conf. Smart Struct. Syst. ICSSS 2013*, pp. 152–157, 2013.
[4] H. B. Khalil, N. Abas, and S. Rauf, "Intelligent street light system in context of smart grid," *8th Int. Conf. Comput. Commun. Netw. Technol. ICCNT 2017*, 2017.
[5] M. Maserà, E. F. Bompard, F. Profumo, and N. Hadsjaid, "Smart (Electricity) Grids for Smart Cities : Assessing Roles and Societal Impacts," *Proc. IEEE*, vol. 106, no. 4, pp. 613–625, 2018.

“Sistema Fotovoltaico Aislado para Aplicaciones Domésticas”

Departamento de Ingeniería Electrónica
Electrónica de Potencia
Ing. Miguel Angel Escalante Carbajal

Objetivo

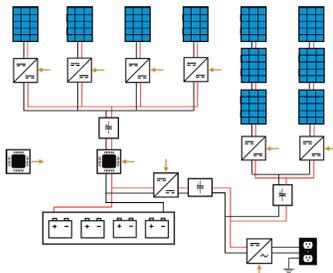
Diseño y desarrollo de un sistema fotovoltaico (SFV) aislado de la red eléctrica orientado al sector doméstico.



Problemática

Existen pocos trabajos de investigación que diseñen la etapa de electrónica de potencia relacionada con el acondicionamiento de la energía eléctrica para su uso doméstico (CA de 1 fase, 127 V / 5.5 A rms).

Propuesta



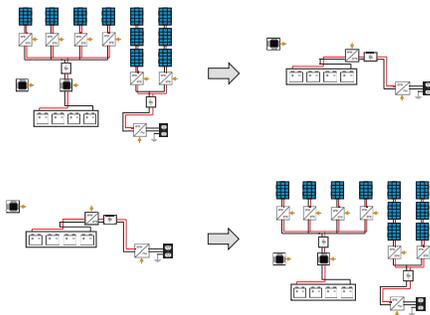
El diseño propuesto para el sistema fotovoltaico aislado contempla un banco de baterías que sirve como reserva de energía eléctrica para emplearse por las noches o en días con muy poca irradiancia solar (inferior a 200 W/m²).

El SFV contempla dos estados de funcionamiento: 1) Uso de dos cadenas de paneles fotovoltaicos para suministrar energía a la carga y, de manera independiente, la carga del banco de baterías por medio de cuatro paneles fotovoltaicos más. 2) Uso del banco de baterías para suministrar energía eléctrica a la carga.

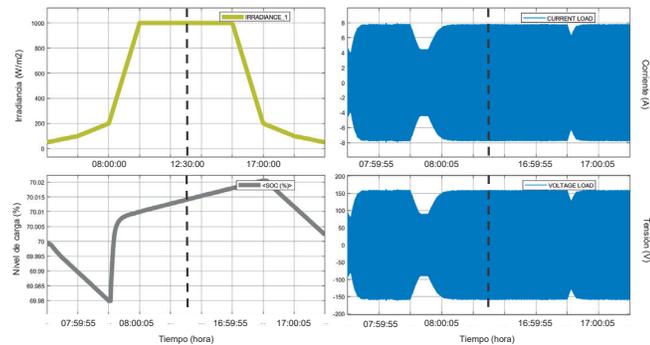
El resultado obtenido es un SFV aislado autónomo (cambio de estado de funcionamiento de manera automatizada según el nivel de irradiancia).

Resultados

Estados de funcionamiento (día - noche y noche - día)



Carga del banco de baterías y comportamiento en la carga



Conclusión

En este proyecto se han unificado varias propuestas de diseño en un solo SFV aislado consiguiendo así, por un lado, reducir pérdidas de energía en el proceso de acondicionamiento de la misma, y por el otro, trabajar en no sobredimensionar las etapas del sistema. Se estableció en diez la cantidad de paneles fotovoltaicos a utilizar tras haber investigado el potencial de generación de energía eléctrica en la localidad seleccionada (cada panel fotovoltaico entrega 265 W en el punto de máxima potencia). También se contempla un banco de baterías (48 V @ 200 Ah) que sea capaz de suministrar energía eléctrica a la carga hasta por 45 horas (o tres noches) de manera ininterrumpida.

Bibliografía

- [1] B. Indu Rani, "Design and Control of Isolated Bi-Directional DC-DC Converter for Photovoltaic Applications", Department of Electrical and electronics Engineering VV College of Engineering, 2015.
- [2] Z. Liao and X. Ruan, "Control Strategy of Bi-Directional DC/DC Converter for Novel Stand-alone Photovoltaic Power System", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, 2008, Harbin, China.
- [3] S. B. Chavan and M. S. Chavan, "Design and Implementation of Full Bridge DC-DC Converter for Photovoltaic Application", International Conference on Energy Systems and Applications (ICESA 2015), 2015, Pune, India.
- [4] H. I. Cristian and M. Radou, "Energy efficiency analysis of various topologies, control techniques and technologies used for photovoltaic panels Part I: On the PV modeling and problem of extracting the maximum power," in Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2014 6th International Conference on, 2014, pp. 23-29.
- [5] R. A. Kordkheili, S. A. Pourmousavi, J. R. Pillai, H. M. Hasanien, B. Bak-Jensen, and M. H. Nehrir, "Optimal sizing and allocation of residential photovoltaic panels in a distribution network for ancillary services application," in Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2014 International Conference on, 2014, pp. 681-687.



Planificación y Control del Movimiento de un Robot Diferencial basado en Tracción y Frenado Pulsantes

Presenta: Oyuki G. Vega Maqueda
Director: Juan Reyes Reyes

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET),
Interior Internado Palmira S/N, Colonia Palmira, Cuernavaca, MOR. 62490, México.

ANTECEDENTES

La fascinación y sobre todo la necesidad del ser humano por optimizar las actividades complejas y algunas cotidianas, ha provocado que con su imaginación y la aplicación de la ciencia se obtengan avances en la tecnología.[1] La robótica móvil es una rama de la robótica que implica una variedad de disciplinas como: electrónica, mecánica, programación, manufactura y control (por mencionar algunas). El comportamiento de cada configuración existente esta descrita por modelos matemáticos respectivamente, en el caso particular se presenta la configuración de un robot diferencial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se necesita obtener una estrategia de control, que basado en modelo permita mover el robot diferencial mediante punto a punto, que involucre su arranque, paro y frenado mediante pulsos, para con ello manipular su posición en el plano de referencia (XY).

OBJETIVO

General

Proponer una estrategia de control para un robot diferencial para llevarlo de un punto a otro en un espacio bidimensional mediante una secuencia de arranque, paro y frenado pulsante.

Específicos

- Deducir un modelo cinemático y dinámico.
- Presentar una estrategia de control de tracción y frenado pulsante que logre generar las trayectorias definidas.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Mediante el planteamiento del modelo dinámico que permitirá obtener por medio de fuerzas aplicadas un movimiento, esto previo al modelo cinemático [2][3] que se presenta a continuación en la ecuación 1:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \sin(\phi) & 0 \\ \frac{r}{2} \cos(\phi) & r \\ 0 & l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\omega_D + \omega_I) \\ (\omega_D - \omega_I) \end{bmatrix}$$

Ec. 1

Donde se observa (Ec. 1) que la velocidad tangencial esta descrita por las coordenadas (\dot{x}, \dot{y}) y la velocidad angular por $\dot{\phi}$.

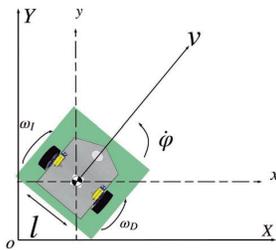


Fig. 1. Robot móvil diferencial en el plano cartesiano.

SIMULACIONES

Se realizan simulaciones para las velocidades angulares de las ruedas que están representadas por ω_D y ω_I y se observa que tiene dependencia a una variable u .

$$\begin{cases} \omega_D(u) = \frac{v}{r}(1+u) \\ \omega_I(u) = \frac{v}{r}(1-u) \\ -1 \leq u \leq 1 \end{cases}$$

Ec. 2

La variable u configura al robot móvil diferencial en su radio de curvatura y el sentido de giro. Y puede tomar los valores que se observan en la ecuación 2.

Se observa que la configuración de u debe estar en el rango de -1 a 1. Esto permite configurar el radio de curvatura de giro del robot diferencial como se puede observar en las simulaciones 1 y 2.

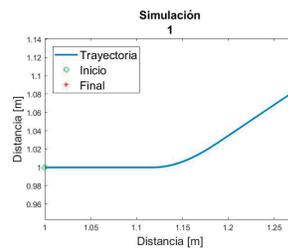


Fig. 2. Simulación de la configuración de la variable u .

En la simulación 1 de la figura 2 se observa que la variable manipulada u esta configurada como se muestra en la ecuación 3 y como se observa en la figura 4.

$$u(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq 4 \\ \frac{2}{20} & t = 4 \\ -\frac{1}{20}t + \frac{6}{20} & 4 \leq t \leq 6 \\ 0 & 6 \leq t \leq 8 \end{cases}$$

Ec. 3



Fig. 4. Configuración de la variable u .

Es importante mencionar que el valor positivo configura un giro en sentido antihorario y el valor negativo, sentido horario.



Fig. 5. Configuración de la variable u .

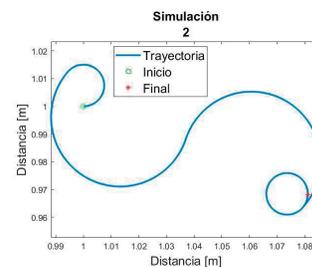


Fig. 3. Simulación de la configuración de la variable u .

En la simulación 2 de la figura 3 se observa que la variable manipulada u esta configurada como se observa en la ecuación 4 y es por eso que se obtiene una velocidad angular en diversos sentidos.

$$u(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 2 \\ 0.3 & t = 2 \\ 0.3 & 2 \leq t < 4 \\ -0.3 & t = 4 \\ -0.3 & 4 \leq t < 6 \\ -1 & t = 6 \\ -1 & 6 \leq t \leq 8 \end{cases}$$

Ec. 4

En este caso se observa que entre más cerca se esta de los limites de valores de la variable es menor el radio de curvatura de robot diferencial.

CONCLUSIÓN

El trabajo desarrollado muestra gráficamente como al configurar una variable manipulada en este caso u , es posible configurar el comportamiento de la trayectoria de robot diferencial, en trabajo posteriores se pretende realizar el acoplamiento de la parte dinámica mediante las ecuaciones de movimiento de Euler – Lagrange.

REFERENCIAS

- [1] Ortigoza, R. S., Marcelino-Aranda, M., Ortigoza, G. S., Guzmán, V. M. H., Molina-Vilchis, M. A., Saldana-Gonzalez, G., Herrera-Lozada, J. C., and Olguin-Carbajal, M. (2012). Wheeled mobile robots: a review. IEEE Latin America Transactions, 10(6):2209-2217.
- [2] López Beltrán, R. and Patermina Arboleda, C. D. (2011). Análisis cinemático de un robot autónomo con ruedas. Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo, 9(9):113-127.
- [3] Mahu, S. K., & Majumdar, J. (2014). Kinematics, localization and control of differential drive mobile robot. Global Journal of Research In Engineering.



Inversor para un sistema fotovoltaico interconectado a red con funciones auxiliares.

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Departamento de Ingeniería Electrónica
Ing. Miguel Francisco Sabido Borges

Director: Dr. Jesús Darío Mina Antonio, Co-director: Dr. Humberto Raúl Jiménez Grajales

ANTECEDENTES/PROBLEMÁTICA

Con el aumento progresivo de los Recursos Energéticos Distribuidos (DER's, por sus siglas en inglés), entre los que se cuentan los Sistemas Fotovoltaicos (SFV), surgen problemáticas asociadas a la naturaleza del recurso renovable que se esté aprovechando. En el caso de los SFV se tienen problemas de sobrevoltaje en la red eléctrica. Esto ocurre durante las horas de mayor radiación solar ya que en esas horas existe una mayor inyección de potencia a la red, pudiendo volverla inestable y dañar equipos, además de un efecto adverso en la infraestructura de producción de potencia e incrementos en los costos de producción de la misma. Debido a ésta problemática, se requiere que los SFV interconectados a la red cuenten con ciertas capacidades que contribuyan a la estabilidad de la misma. Mencionando algunas de estas capacidades se tienen el bajo contenido armónico de la corriente inyectada, la capacidad de manejo de potencia reactiva y detección del "efecto isla", entre otros.

En éste inversor se implementará la capacidad de manejo de potencia reactiva para reducir el sobrevoltaje provocado por la inyección de potencia activa, así como un filtro de acoplamiento a la red tipo LCL, el cual permite una inyección de corriente con niveles de armónicos por debajo de los límites normados.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un inversor para un SFV que implemente Servicios Auxiliares que provean un soporte dinámico ante condiciones desfavorables en los valores de impedancia de red, condiciones de falla y variación de la tensión por fuera de los valores permitidos para mantener la estabilidad de la red.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Diseño de un Filtro LCL con un rizo de inyección de corriente menor al 10%.
- Diseño del Control Volt-VAR (CVV) para el manejo de potencia reactiva.
- Interconexión a la red eléctrica.

ALCANCES

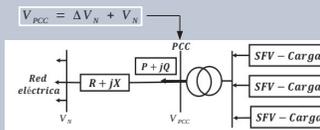
Hasta el momento, el diseño del inversor se encuentra en etapa de simulación mientras se realizan los preparativos para su implementación física. Todos los objetivos específicos se han cumplido a nivel de simulación y los resultados finales se alcanzarán hasta realizar pruebas con el prototipo interconectado a la red eléctrica o a una fuente trifásica.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Problemática:

La variación de la tensión de red en el PCC (Punto de Conexión Común) tiene sus causas en:

- Valores de impedancia de red.
- Cargas reactivas.
- Otros DER's interconectados.



Para contrarrestar estas variaciones en la tensión de la red, es necesario tener un control capaz de responder modificando la cantidad de potencia reactiva que inyecta a (o absorbe de) la red con el fin de mantener la estabilidad de la misma.

Tensión en el PCC.

$$V_{PCC} = \Delta V_N + V_N$$

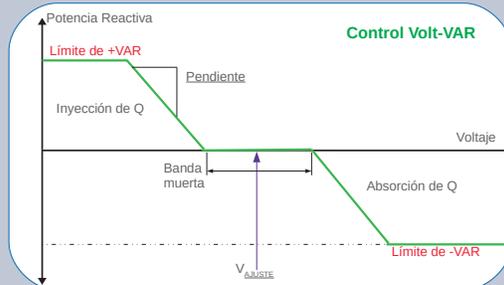
$$\Delta V_N = R_s \frac{P}{V_N} + X_s \frac{Q}{V_N}$$

Impedancia en el PCC: $R + jX$

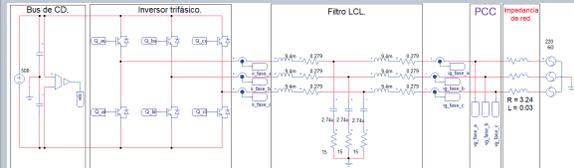
El Controlador Volt-VAR supervisa la tensión del terminal del generador fotovoltaico y utiliza el error de voltaje para controlar la salida de potencia reactiva del generador. Se caracteriza por medio de tres parámetros:

- Punto de ajuste (V_{AJUSTE}).
- Pendiente de inyección.
- Límites máximo y mínimo de potencia reactiva.
- Banda muerta.

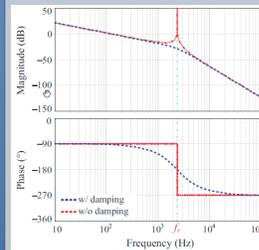
Se implementa el CVV, el cual regula la inyección o absorción de potencia reactiva en función del voltaje en el PCC.



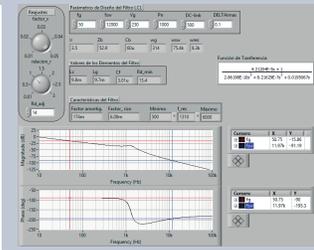
Con la finalidad de inyectar un mínimo de armónicos a la red, se implementa el filtro LCL como acoplamiento, el cual presenta un inconveniente al tener una frecuencia de resonancia. Dicha frecuencia de resonancia podría causar inestabilidad en el filtro por lo que se aplica la estrategia de **Amortiguamiento Pasivo** para minimizar tal efecto, la cual consiste en un resistor en serie con el capacitor cuya función es limitar la corriente a la frecuencia de resonancia.



Filtro LCL amortiguado y no amortiguado.



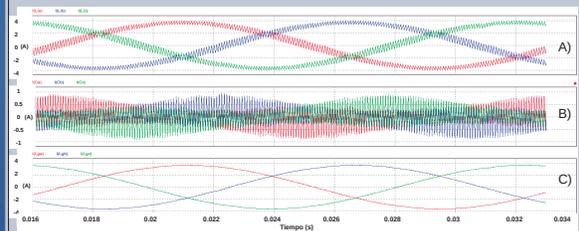
Algoritmo de diseño implementado en LabView.



RESULTADOS

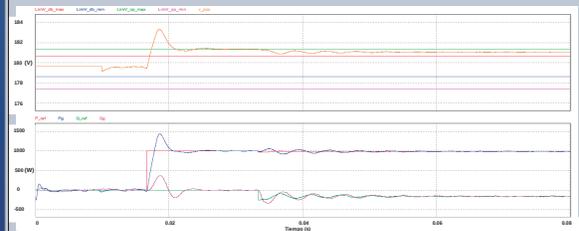
1 - Eficacia del Filtro LCL.

- A) Rizo de corriente en los terminales de L_f (inductor lado inversor).
B) Rizo de corriente fluyendo a través de C (capacitor).
C) Rizo de corriente en los terminales de L_g (inductor lado red).



2 - Eficacia del Control Volt-VAR.

La inyección de potencia activa provoca un incremento en el voltaje en el PCC e instantes después, al entrar en acción el CVV, se observa una reducción del voltaje.



CONCLUSIONES

El Filtro LCL ha demostrado su eficacia para atenuar la componente portadora de 10kHz y sus armónicos en corriente, lo cual permite interconectarse sin infringir las normas. En el caso del CVV demuestra una mayor eficacia cuando el valor de la reactancia es elevado en comparación con la resistencia (ambos componentes de la impedancia de red), comprobando su eficacia para mantener la estabilidad de la red.

REFERENCIAS

- [1] 519-2014 IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.
- [2] P. Kundur, "Power System Stability and Control," EPRI power system engineering series. p. 1176, 1994.
- [3] G. Liu, X. Cao, W. Wang, T. Ma, W. Yang, and Y. Chen, "Adaptive control strategy to enhance penetration of PV power generators in weak grid," Proc. 2014 Int. Power Electron. Appl. Conf. Expo. IEEE PEAC 2014, pp. 1217-1221, 2014.
- [4] M. Liserre and P. Bari, "Design and Control of an LCL-filter based Three-phase Active Rectifier," vol. 00, no. C, pp. 299-307, 2001.
- [5] J. W. Smith, W. Sandeman, R. Dugan, and B. Seal, "Smart inverter voltvar control functions for high penetration of PV on distribution systems," 2011 IEEE PES Power Syst. Conf. Expo. PSCE 2011, pp. 1-6, 2011.
- [6] H. Alatrash, R. A. Amarín, and C. Lam, "Enabling large-scale PV integration into the grid," 2012 IEEE Green Technol. Conf., no. Lv. 2012.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

“DISPOSITIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DE CALOR EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”

Landero Masté A. A., Baeza Carrillo J. A., Macías Melo E.V., Aguilar Castro K. M.



1. Antecedente/Problemática

Actualmente, se busca el confort higrotérmico en edificaciones, en las cuales el ambiente interior es controlado principalmente con sistemas de aire acondicionado, lo que da origen a un alto consumo de energía eléctrica. El confort térmico, es definido según ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) como aquella condición de la mente que expresa satisfacción con la temperatura ambiente. [1].

Por lo que, es importante buscar alternativas para la reducción del consumo eléctrico manteniendo condiciones de confort. Una de estas alternativas es la adecuada selección de materiales de construcción a través de conocer su coeficiente global de transferencia de calor y el coeficiente global de transferencia de masa.

Para un muro (Figura 1) se presenta un esquema del modelo de estudio con interacción en el ambiente que lo rodea ($T_{1\infty}$ y $T_{2\infty}$):

- Solo se han reportado coeficientes globales de transferencia de calor para materiales de construcción individuales [2].

- Por lo que, es de interés evaluar el muro en las condiciones en las que se ocupará en la realidad, para proporcionar al usuario información con mayor certidumbre para la adecuada selección de sus materiales de construcción.

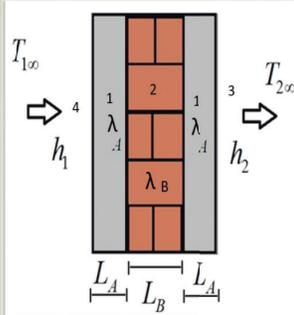


Figura 1. Diagrama esquemático de un muro construido de dos materiales diferentes. 1) Repello del muro, 2) block macizo, 3) fluido en contacto con la parte exterior del muro y 4) fluido en contacto con el interior del muro.

2. Motivación/Justificación

La selección adecuada de los materiales de construcción tiene un impacto satisfactorio en las condiciones climáticas extremas, como en el caso de Tabasco donde se cuenta con una temperatura promedio anual de 27°C [3], bajo condiciones de clima cálido-húmedo, lo cual ocasiona altos consumos de energía eléctrica por el uso de sistemas de aires acondicionados. Por lo que, el conocimiento de los coeficientes de transferencia de calor en los materiales de construcción típicos en el estado permitirá al usuario seleccionar el que más le convenga por costo y beneficio.

3. Objetivo

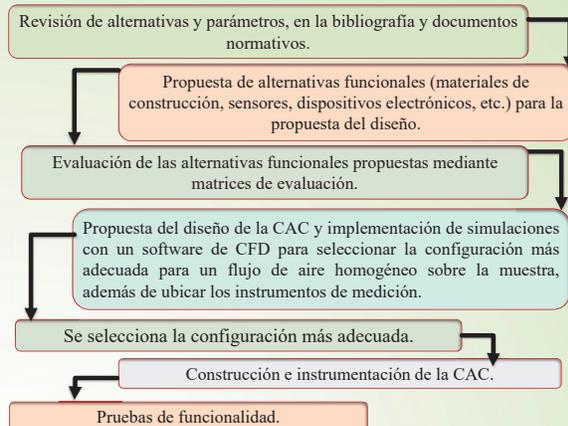
Desarrollar un dispositivo experimental de una Cámara de Ambiente Controlado (CAC) para determinar los coeficientes globales de transferencia de calor y masa de muestras de muros simples y compuestos bajo diferentes condiciones ambientales considerando la norma ASTM 1363 [4].

6. Conclusiones

Se obtuvo una CAC con la capacidad de evaluar muestras de muro de hasta 1 m x 1 m, con espesor máximo de 30 cm. En el dispositivo se pueden realizar pruebas con temperatura de ambiente de 10 a 35°C, y se trabaja actualmente para establecer el intervalo de humedad relativa disponible. En la prueba de funcionalidad del dispositivo se observó que el estado permanente se alcanzó en 2.5 horas. La siguiente etapa del proyecto es la calibración del dispositivo y posteriormente la evaluación de las muestras de muros de vivienda.

4. Propuesta de solución

Para el desarrollo de la CAC se siguió el siguiente procedimiento:



En la Figura 2 se presenta el modelo experimental de la CAC, la cual, permite proveer en la Cámara 1 condiciones de ambiente exterior y en la Cámara 2 condiciones de ambiente interior.

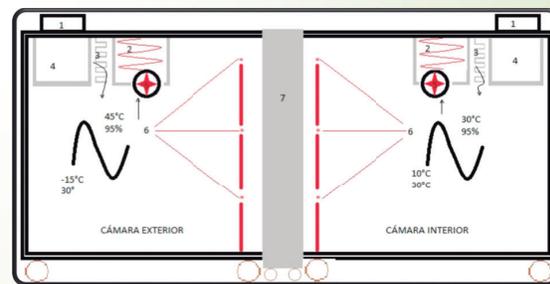


Figura 2. Diagrama esquemático de una Hot box. 1) Chiller, 2) evaporador, 3) calentador, 4) unidad vaporización, 5) ventilador, 6) sensores de temperatura y humedad relativa, y 7) Muro de prueba.

5. Resultados experimentales y numéricos

En la Figura 3 se presenta una fotografía de la CAC obtenida del diseño, así como, el comportamiento del fluido en el interior de la cámara, donde se observa una distribución homogénea del aire sobre la muestra.

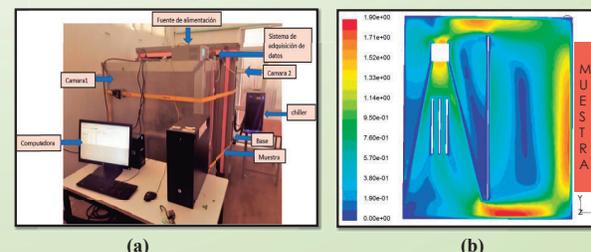


Figura 3. CAC, (a) fotografía con las componentes y (b) Comportamiento del fluido, 0-1.9 m/s.

Referencias

[1] Dennis J. Wessel. (2017). 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) (1er edición).USA Jeanne Baird, Associate Editor.
[2] Collet F., Pretot S. 2014. Experimental highlight of hygrothermal phenomena in hemp concrete Wall. Building and Environment 82: 459-466.
[3] INEGI. (2010). cuéntame INEGI. Clima Tabasco. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27>.
[4] ASTM C1363-11, Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org.