REVISTA

TECNOLOGÍA DIGITAL

"Semillero de Investigadores"

ISSN: 2007-9400

"Tecnología para la sociedad"

Índice LatIndex: Folio 23658

www.revistatecnologiadigital.com

Volumen 9 Número 2

Desde 2011

Año 2019

CONSEJO EDITORIAL.

Presidente. Dr. Héctor Guerra Crespo.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
hgcrespo@hotmail.com

Secretario. M.C. Walter Torres Robledo.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
waltertorres@elgrupo.mx

Editor M.C. Imelda Valles López.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
imevalles@yahoo.com.mx

Editor traductor. Dr. Daniel Samayoa Penagos.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
samadaniel@hotmail.com

Editor traductor. Dra. Magdalena Guerra Crespo.
Instituto de Biotecnología de la UNAM, Cuernavaca Morelos.
magdagmx@hotmail.com

Editor traductor. Dra. María Candelaria Gutiérrez Gómez.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
mgutierrez@ittg.edu.mx

Colaboración para la emisión de este número con el **Colegio de Ingeniería en Tecnología y Sistemas Computacionales A.C.**
www.cisc-tuxtla.org

Revista Tecnología Digital.

Índice LatIndex: 23658.
ISSN: 2007-9400.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
Carretera Panamericana Km. 1080.
C.P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
Departamento de Sistemas y Computación.
01-961-6150461 Ext. 319
www.revistatecnologiadigital.com

Editor Responsable.

Editorial Tecnología Didáctica®.
Dr. Héctor Guerra Crespo.
Registro del padrón de editores: 970-94054 de fecha 22-junio-2004.
Palenque 139 Col. ISSSTE, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
C.P. 29060, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
www.tecnologiadidactica.com

COMITÉ DE ARBITRAJE.

Dr. Alejandro Medina Santiago.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, Cinvestav-IPN, Unidad México.

Dr. Antonio Orantes Molina.
Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapan de León, Oaxaca.
Doctor en Sistemas Automáticos, Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA), Toulouse, Francia

Dr. Emilio Camahort.
Universidad Politécnica de Valencia, España.
Doctor of Philosophy (PhD), The University of Texas at Austin, Austin, TX, USADr.

Dr. Enrique Guzmán Ramírez.
Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapan de León, Oaxaca.
Doctor en Ciencias de la Computación, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

M.C. Eva Valdez Alemán.
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, México.
Maestra en Ciencias de la Educación, Universidad del Valle de México. Campus Lomas Verdes.

Dr. Francisco José Abad Cerdá.
Universidad Politécnica de Valencia, España.
Doctor en Informática, Universidad Politécnica de Valencia.

Dr. Gustavo Alberto Rovelo Ruiz.
Universidad Politécnica de Valencia.
Máster en Inteligencia Artificial. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Dr. Iván Antonio García Pacheco.
Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapan de León, Oaxaca.
Doctor en Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software, Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid.

Dr. Jorge Luis Camas Anzueto.
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
Dr. en Ciencias con especialidad en Óptica, INAOE, Puebla, México.

Dr. Luis Enrique Colmenares Guillen.
Universidad Autónoma de Puebla.
Dr. en Ciencias con especialidad en Sistemas Distribuidos por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona España.

Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya
Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Michoacán, México.
Dr. en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Revista Tecnología Digital. Año 9, Volumen 9, Número 2 de 22 de diciembre de 2019 es una publicación anual on-line www.revistatecnologiadigital.com editada por Héctor Guerra Crespo oficinas en Palenque 139 Col. ISSSTE Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México C.P. 29060. correo-e hgcrespo@hotmail.com Editor responsable: Héctor Guerra Crespo. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2014-022811040300-203 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-9400. Responsable de la última actualización de este número Dr. Héctor Guerra Crespo, Presidente del consejo editorial, Palenque 139 Colonia ISSSTE Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29060, fecha de la última modificación, 22 de diciembre de 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor responsable. Índice LatIndex: 23658.

Índice.

Página.

Algoritmo de optimización colonia de hormigas para la generación automática de horarios. 1

Algoritmos criptográficos ligeros para aplicaciones de seguridad en expediente clínico electrónico. 13

Aproximación de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos. 27

Arquitectura de gestión de un almacén de datos (Data Warehouse) para la fiscalización del impuesto predial en el Gobierno de la Ciudad De México. 41

Diseño y construcción de un jaguar Animatronic. 55

Diseño y elaboración de presupuestos empresariales de una PYME manufacturera utilizando plataforma web y su comparación con el método tradicional. 67

DWR2NoSQL: Herramienta para transformar data warehouses relacionales a data warehouses noSQL. 77

Prototipo optomecatrónico para controlar microdesplazamiento con aplicación en procesamiento de fibras ópticas. 91

Sistema de control de acceso para el nivel educativo preescolar implementando tecnología de reconocimiento biométrico dactilar. 101

Sistema de inmersión-emersión y estabilización para un vehículo submarino autónomo, manipulado mediante un algoritmo de control retroalimentado. 113

Sistema web para la automatización del modelo FPEIR en la evaluación del impacto ambiental en el cambio de uso del suelo. 127

Algoritmo de optimización colonia de hormigas para la generación automática de horarios.

Colony of optimization algorithm for the automatic generation of schedules.

Oswaldo de Jesús Chacón Pérez (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
oswaldochacon1606@gmail.com.

Jennifer Vanessa Aguilar Padilla (2). Estudiante, I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
jennifer.aguilar.padilla@gmail.com.

Octavio Ariosto Ríos Tercero* (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
oriost@ittg.edu.mx.

Rosy Ilda Basave Torres (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
rbasave@ittg.edu.mx.

Roberto Cruz Gordillo (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
rcruz@ittg.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 12, 2019; aceptado en diciembre 10, 2019.

Resumen.

El presente trabajo aborda un problema de horarios en donde se pretende programar una serie de proyectos para un foro de propuestas de proyectos de investigación para poder ser expuestos y evaluados por un jurado en un periodo de tiempo disponible. El método utilizado fue una variante del algoritmo de optimización colonia de hormigas (ACO por sus siglas en inglés) llamado Max-Min Ant System. Se realizó un análisis del problema para identificar las variables y los factores que intervienen en el proceso. El algoritmo ACO cuenta con una fórmula, por lo que fue necesario entender y darle un significado a cada uno de los elementos que lo conforman y asociarlos con las variables del problema planteado. Los resultados obtenidos indican que es posible solucionar el problema de asignación de horarios mediante el algoritmo ACO logrando así una solución factible, en un tiempo de procesamiento bastante corto.

Palabras clave: Optimización colonia de hormigas, *Max-Min Ant System*, solución factible.

Abstract.

This paper addresses a problem of schedules which aims to schedule a series of projects for a forum of research projects proposals, this in order to be exposed and evaluated by a jury in a period of available time. The method used was a variant of the Ant Colony Optimization algorithm (ACO) called Max-Min Ants System. An analysis of the problem was carried out to identify the variables and factors involved in the process. The ACO algorithm has a formula, so it was necessary to understand and give meaning to each of the elements that make it up and associate

them with the variables of the posed problem. The obtained results indicate that it is possible to solve the problem of assigning schedules using the ACO algorithm achieving a feasible solution, in a fairly short processing time.

Keywords: Ant colony optimization, Max-Min Ant System, feasible solution.

1. Introducción.

El problema de asignación de horarios es un tipo de problema de programación que todo centro educativo presenta periódicamente debido a que en ella se pretende programar las actividades que se realizarán a lo largo del periodo escolar; consiste básicamente en programar un evento (clase, examen, etc) en una cantidad limitada de espacios de tiempo en donde pueda desarrollarse dicho evento, cumpliendo con las restricciones que el problema conlleva. Las restricciones implicadas pueden ser clasificadas en restricciones duras (restricciones que no deben ser violadas por ninguna circunstancia, por ejemplo, el empalme de horas de un evento) y restricciones suaves (restricciones que se desean satisfacer pero no son obligatorias).

Dentro de la literatura podemos encontrar que este problema ha sido tema de interés desde hace ya algunos años (Schaerf, 1999), debido al grado de dificultad que el proceso representa y es que forma parte de los problemas de tipo NP-Hard (Dorigo & Stützle, Ant Colony Optimization, 2004) (NP es el conjunto de problemas que pueden ser resueltos en tiempo polinómico por una máquina de Turing no determinista y NP-Hard son problemas que son al menos tan difíciles como los problemas más difíciles en NP).

Por ello se han realizado numerosas investigaciones y se han propuesto diferentes métodos para encontrar soluciones que satisfagan la mayor cantidad de restricciones presentadas y reducir el tiempo de ejecución del proceso. La mayoría de los métodos que se han propuesto son algoritmos metaheurísticos que incorporan conceptos de muchos y diversos campos como la genética, la biología, la inteligencia artificial, las matemáticas, la física y la neurología, entre otros. Algunos ejemplos de los algoritmos metaheurísticos más conocidos son: Algoritmos Genéticos (Peñuela, Toro, & Franco, 2008), Búsqueda Tabú (Peñuela, Toro, & Franco, 2008), Recocido Simulado y Optimización Colonia de Hormigas (Peñuela, Toro, & Franco, 2008) (ACO por sus siglas en inglés); estos algoritmos tienen como resultado una solución factible, mas no siempre una solución óptima.

En este trabajo se hará más énfasis al algoritmo de optimización colonia de hormigas, se hablará sobre en qué consiste dicho algoritmo y de qué manera trabaja, además de explicar cómo puede ser implementado en el problema de asignación de horarios para un foro de propuestas de proyectos de investigación, en donde un conjunto de proyectos deberán ser asignados a un espacio de tiempo y a un salón para poder ser presentado y evaluados por un jurado, empezando por entender la formula con la que cuenta y brindarle una interpretación en base en el problema, además de realizar las pruebas pertinentes que demuestren que el problema se ha resuelto con una solución factible.

2. Métodos.

2.1 Algoritmo de optimización Colonia de Hormigas.

El algoritmo de optimización Colonia de Hormigas, es un método metaheurístico introducido por Marco Dorigo a principios de 1990 (Dorigo & Blum, Ant colony optimization theory: A survey, 2005), el algoritmo está inspirado en el comportamiento natural de las hormigas en la búsqueda de sus alimentos. Dicha búsqueda consiste en explorar alrededor de la colonia de manera aleatoria (ya que las hormigas no cuentan con una buena visibilidad) para encontrar alguna fuente de alimento. Una vez que han encontrado la fuente de alimento regresan al nido; durante ese regreso, las hormigas van depositando por el camino una sustancia llamada feromona (la feromona es una sustancia química que algunos animales segregan de ellos mismos y que cuya liberación puede llegar influenciar el comportamiento de los demás animales de la misma especie) y dicha feromona sirve para auxiliar al resto de las hormigas a seguir el mismo camino y encontrar la misma fuente de alimento. Cabe mencionar que el camino que las hormigas seguirán es el que mayor cantidad de feromonas tiene. Sin embargo, ¿cómo un camino podría tener mayor cantidad de feromona que

otra? considerando la distancia que existe entre la fuente de alimento y la colonia, entre más corto sea el camino, mayor cantidad de feromonas habrá en él porque habrá mayor cantidad de hormigas recorriéndola en comparación al camino más largo en un mismo lapso de tiempo. Se debe considerar que entre más tiempo transcurra sin que una hormiga pase por algún camino, la evaporación hará que ese camino sea cada vez más indeseable**.** Esta característica de las hormigas es la que permite que pueda ser propuesta como una manera de solucionar problemas de optimización reduciendo el tiempo de ejecución.

2.2 Descripción del algoritmo.

El algoritmo trabaja a partir de hormigas artificiales, que serán las encargadas de generar por cada iteración una solución factible al problema que se pretende resolver. Cada una construye su solución a partir de un grafo en donde cada nodo representa las posibles opciones que la hormiga podría elegir. La conexión que existe entre dos nodos, contiene información que las hormigas deben utilizar para poder elegir una de ellas, las cuales son (Dorigo & Stützle, Ant Colony Optimization, 2004):

- Información heurística: representa la información a priori sobre la instancia del problema o información en tiempo de ejecución proporcionada por una fuente diferente de las hormigas.
- Información de rastros de feromonas artificiales: se mide la deseabilidad aprendida en el movimiento de un nodo a otro, lo cual busca imitar la feromona real que depositan las hormigas naturales. Esta información es modificada mientras que se ejecuta el algoritmo dependiendo de las soluciones encontradas por los insectos.

2.2.1 Probabilidad de elegir un nodo.

Para poder elegir un nodo es necesario calcular las probabilidades que tiene cada uno y para ello, el algoritmo cuenta con la siguiente fórmula para calcularlo:

$$P_{ij}^{k} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}\,[n_{ij}]^{\beta}}{\sum l \in N_i^k\,[\tau_{il}]^{\alpha}[n_{il}]^{\beta}} \quad \text{Sí } j \in N_i^k \tag{1}$$

donde τ_{ij} = es el valor del rastro de feromonas en la arista del nodo i al nodo j, $n_{ij} = 1/d_{ij}$ es un valor heurístico que está disponible a priori, d_{ij} representa la "distancia" que existe entre dos nodos (la distancia puede tomar diferentes interpretaciones según el problema), α y β son dos parámetros (α con valor de [0,1] y $\beta > 0$) que determinan la influencia relativa del rastro de feromonas y la información heurística respectivamente, y N_i^k es el nodo factible de la hormiga k cuando se encuentra en el nodo i, es decir, el conjunto de nodos que la hormiga k aún no ha visitado.

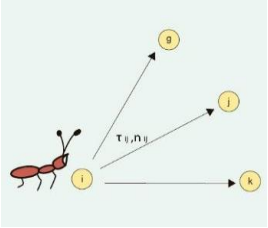


Figura 1. Una hormiga estando en el nodo i, a punto de elegir un nodo para visitar. Dorigo, M., Birattari, M., Stützle, T. (2006). Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. [Figura].

2.2.2 Actualización de feromonas.

Una vez que todas las hormigas hayan creado su propia solución, es necesario efectuar el depósito de feromonas por los caminos que han recorrido (conexión de nodos) con su respectiva evaporación cumpliendo con los principios del algoritmo.

$$\tau_{ij}=(1-\rho)\tau_{ij} \quad (2)$$

donde $0 < \rho \leq 1$ es la velocidad de evaporación de feromona. El parámetro ρ se utiliza para evitar la acumulación ilimitada de los rastros de feromona y permite que el algoritmo "olvide" las malas decisiones tomadas previamente. De hecho, si las hormigas no eligen una arista, su valor de feromona asociado disminuye exponencialmente en el número de iteraciones. Después de la evaporación, todas las hormigas depositan feromona en las aristas que han cruzado en su recorrido (Dorigo & Stützle, Ant Colony Optimization, 2004):

$$\tau_{ij}= \tau_{ij}+ \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij} \quad (3)$$

donde ΔT_{ij} es la cantidad de feromona depositada de la hormiga k en las aristas que ha visitado y se define de la siguiente manera:

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \begin{cases} \frac{1}{C^k} , & \text{si la arista(i,j) pertenece a } T^k \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (4)$$

Donde C^k es la distancia del recorrido T^k construida por la k-ésima hormiga y se calcula como la suma de las longitudes de las aristas que pertenecen a T^k.

La hormiga que contiene la mejor solución es aquella que ha recorrido la menor distancia. Es importante tomar en cuenta que la distancia recorrida puede tomar diferentes interpretaciones según el problema, ya que depende mucho el valor heurístico que se haya definido; por ejemplo, en el problema del viajero, dicho recorrido viene siendo la distancia recorrida que se efectuó de ir viajando de una ciudad a otra hasta recorrer todas una sola vez y llegar a la misma ciudad de donde inició.

Algoritmo 1. Optimización Colonia de Hormigas (Dorigo, Birattari, & Stützle, Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique, 2006)

Establecer parámetros, inicializar caminos de feromonas
mientras condición de terminación no se haya cumplido **hacer**
Construir Soluciones de Hormigas
Aplicar búsqueda local(opcional)
Actualizar Feromonas
Fin mientras

El pseudocódigo describe de manera general cómo el algoritmo de optimización trabaja para poder encontrar una solución factible a un problema determinado. Se inicia cargando los parámetros (cantidad de hormigas, número de iteraciones, valores de alfa, beta) e inicializando el camino de feromonas. Se mantendrá en ejecución mientras que el criterio de finalización no haya sido cumplido (cantidad de iteraciones). Una hormiga construye una solución al problema y de manera opcional es posible aplicar el método búsqueda local para mejorar la solución. Posteriormente la hormiga realiza el depósito de feromonas. Al final, se obtiene una solución factible.

2.3 Max-Min Ant System.

El método que se ha elegido para resolver el problema de asignación de horarios es una variante del algoritmo ACO llamado Max-Min Ant System (MMAS siglas en inglés) (Dorigo & Stützle, Ant Colony Optimization, 2004). Cuenta con 4 diferencias en comparación con Ant System que fue el primer algoritmo de optimización de colonia de hormigas en resolver problemas de optimización combinatoria. Esas diferencias son:

1. Solamente la mejor hormiga local o la mejor hormiga global es quien puede hacer el depósito de feromonas.

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{best} \quad (5)$$

donde $\Delta T_{ij}^{best} = 1/C^{best}$. La hormiga que tiene permitido hacer el depósito de feromonas puede ser la mejor hormiga encontrada desde la ejecución del algoritmo (mejor hormiga global), en ese caso $\Delta T_{ij}^{best} = 1/C^{bs}$ o la mejor hormiga de la iteración actual, en ese caso $\Delta T_{ij}^{best} = 1/C^{ib}$, donde C^{ib} es la duración del mejor recorrido de la iteración.

2. Limita el posible rango de valores de rastro de feromonas al intervalo.

$$\tau_{(e,t)} \begin{cases} \tau_{min} \text{if } \tau_{(e,t)} < \tau_{min} \\ \tau_{max} \text{ if } \tau_{(e,t)} > \tau_{max} \\ \tau_{(e,t)} \text{ de lo contrario} \end{cases} \quad (6)$$

3. Los rastros de feromona se inicializan en el límite superior del rastro de feromona, junto con una pequeña tasa de evaporación de feromona, esto se define: $\frac{1}{\rho}$.
4. Los rastros de feromonas se reinician cada vez que el sistema se acerca al estancamiento o cuando no se ha generado un recorrido mejorado para un cierto número de iteraciones consecutivas.

2.4 Descripción del problema.

El problema que se abordó es el problema de asignación de horarios para un foro de propuestas de proyectos de investigación. El problema consiste en programar una serie de presentaciones de proyectos (eventos), en las que cada evento debe ser ubicado en un espacio de tiempo y un aula disponible en una o más fechas determinadas. El nivel de complejidad del problema depende de dos aspectos:

- Cada uno de los proyectos debe ser presentado ante un jurado conformado por 3 docentes, por lo que al asignar más de un proyecto en un mismo espacio de tiempo en diferentes aulas, los docentes que conforman el jurado deben ser diferentes, ya que ningún maestro debe estar en más de un aula en un mismo espacio de tiempo (ya que representaría un empalme de horas).
- Cada docente tiene su propio horario de trabajo dentro de la institución (horario disponible), por lo que se pretende que los eventos sean programados en un espacio de tiempo en donde los docentes que conforman el jurado para un evento específico, tengan la misma disponibilidad en el horario asignado para dicho evento.

2.5 Interpretación del problema.

Para poder llevar acabo el uso del algoritmo de optimización colonia de hormigas al problema de asignación de horarios, fue necesario analizar y formular el problema, además de identificar los factores que intervenían en el proceso. Se determina que el problema está formulado por cuatro tuplas (E, T, J, A) en donde:

- E: Es el conjunto de eventos $E = \{e_1, e_2, e_3, \ldots, e_n\}$ que se deben presentar.
- T: Es el conjunto de espacios de tiempo $T = \{t_1, t_2, t_3, \ldots, t_n\}$ que representa el periodo disponible donde un evento puede ser asignado. Por ejemplo el espacio de tiempo t_1 puede representar el periodo: 9:00 am – 10:00 am de un día Lunes.
- J: Es el conjunto de jurados $J = \{j_1, j_2, j_3, \ldots, j_n\}$ que representa a los docentes que evaluarán el evento $j_1 = \{m_1, m_2, m_3, \ldots, m_n\}$.
- A: Es el conjunto de aulas disponibles $A = \{a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n\}$ en donde un evento podría ser asignado para poderse presentar.

Y sus factores (restricciones) son:

- Un docente no puede ser asignado en un mismo espacio de tiempo en dos aulas diferentes (restricción dura).
- Un evento no puede ser asignado en más de un espacio de tiempo (restricción dura).

- La cantidad de tiempo disponible del docente, debe ser compatible con la cantidad de espacios de tiempo requerida para los proyectos que debe evaluar (restricción dura).
- Un evento debe tener al menos un espacio de tiempo en común entre los docentes que conforman el jurado (restricción dura).
- Programar un espacio de tiempo de receso, en el que no debe programarse ningún evento (restricción suave).
- Los docentes deben ser asignados a un espacio de tiempo que se encuentre dentro del horario disponible (restricción suave).

Posteriormente en base en lo anterior se empieza a analizar la fórmula del algoritmo, para poder dar una interpretación sobre cada elemento que lo conforma y relacionarlo con alguna de las tuplas identificadas anteriormente. Concluido eso se obtiene que:

- P_{ij}^{k} = Probabilidad de elegir un espacio de tiempo j para el evento i.
- T_{ij} = Cantidad de feromona en la arista que une el evento i con el espacio de tiempo j.
- d_{ij} = Cantidad de violaciones suaves entre el evento i con el espacio de tiempo j.
- N_{i}^{k} = Espacios de tiempo disponibles para la hormiga k.

2.6 Representación de solución.

Cada vez que una hormiga asigna un evento a un espacio de tiempo, éste es almacenado dentro de un vector en donde la posición del elemento (índice) representa la posición del evento almacenado en otro vector que contiene todos los eventos que se desean programar. Los eventos están ordenados de manera ascendente tomando en consideración la cantidad de espacios en común que existe entre los docentes que conforman el jurado.

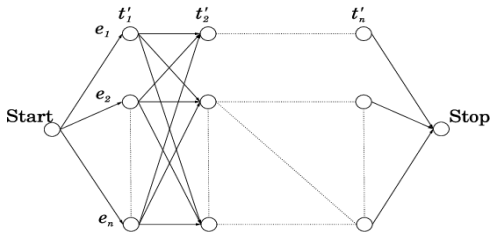


Figura 2. Cada hormiga sigue una lista de eventos, y para cada evento e Є E, una hormiga elige un espacio de tiempo t Є T. Rubio, J., Jonhson, F.,Crawford, B. (2008). ACO Hypercube Framework for Solving a University Course Timetabling Problem. [Figura].

En este problema específico la elección del aula de exposición es independiente de las características propias del aula, ya que se asume que cualquiera de ellas cumple con los requerimientos necesarios para el evento. Por lo tanto, un mismo espacio de tiempo puede ser elegido la misma cantidad de veces como la cantidad aulas disponibles, por lo que los espacios de tiempo por la cantidad de aulas (T X A) debe ser mayor o igual que la cantidad de proyectos a participar.

La solución del problema se almacena dentro de una matriz bidimensional M de tamaño T X A (T es el conjunto de espacios de tiempo y A es el conjunto de aulas disponibles), en donde una entrada en $M_{(i,j)}$ representa un evento asignado a un espacio de tiempo i en la sala j.

Tabla 1. Representación de la matriz M.

ET/Aulas	1	2
1	e_5	e_6
2		
3		e_8
4		

Algoritmo 2. Max-Min Ant System para resolver el problema de asignación de horarios (Rubio, Johnson, & Crawford, 2008)

Entrada: Cargar instancia I del problema
$\tau_{max} = \frac{1}{\rho}$
$\tau_{(e,t)} = \tau_{max}\ \forall\ (e,t) \in E \times T$
$E_{sorted} = sort(E)$
mientras condición de terminación no se haya cumplido **hacer**
    para k = 1 hasta m **hacer**
        A = Ø
        para i = 1 hasta |E| **hacer**
            elegir un espacio de tiempo **t** usando la influencia de la feromona y la información heurística para el evento $\mathbf{e_i}$ en E_{sorted}
            A {(ei, t)}
        fin para
        C = matching_algorithm (A_n)
        $C_{best_iteration}$ = best C and $C_{best_iteration}$
    end for
    $C_{best_iteration}$ = aplicando búsqueda local a $C_{best_iteration}$
    C_{global_best} = el major de $C_{best_iteration}$ y C_{global_best}
    Actualización global de feromonas para τ usando C_{global_best}, τ_{max} y τ_{min}
fin mientras
Salida: Una solución candidata optimizada C_{global_best} for I

En el pseudocódigo se representan los pasos necesarios para la implementación del algoritmo Max-Min Ant System para dar solución al problema planteado en la sección 2.3. Al comienzo del proceso se cargan las instancias del problema y se inicializan los parámetros que el algoritmo necesita (τ_{max}, τ_{min}, la matriz de feromonas). Posteriormente los proyectos son ordenados de manera ascendente tomando como criterio la cantidad de espacios de tiempo en común que tienen los docentes que conforman el jurado en cada uno de los proyectos. Se mantendrá en ejecución mientras que el criterio de finalización aún no se haya cumplido; todas las hormigas crean una solución por cada iteración y se elige la mejor tomando como criterio la que menor violación de restricciones haya hecho; la hormiga con la mejor solución se le aplica búsqueda local para quitar todas las restricciones duras y suaves que se tengan (las restricciones duras deben eliminarse por completo, caso contrario el proceso se termina), se hace una comparación entre la solución de la mejor hormiga local y la mejor hormiga global para determinar cuál es la hormiga con la mejor solución desde la ejecución del algoritmo para realizar el depósito de feromonas. Al final de la ejecución, se obtiene la solución factible, proveniente por la mejor hormiga global.

3. Desarrollo.

Para poder comprobar que este problema de asignación de horarios puede ser resuelto a través de este método metaheurístico, fue necesario desarrollar una aplicación en Java y simular un foro.

Como parte de la simulación del foro, se establecieron dos fechas para presentar todos los proyectos en un horario de 8:00am a 2:00 pm (horario para ambas fechas). La cantidad de proyectos participantes será de 37; la cantidad de docentes participantes será de 22 y a cada maestro se le asigna las horas que tendrá disponible para participar en el foro, a partir de los 22 docentes participantes, se empiezan a crear los jurados para posteriormente asignarlos a un proyecto. Cada proyecto tiene como límite de tiempo 30 minutos. Por lo tanto la cantidad de espacios de tiempo es de 24 (existe una diferencia de 6 horas entre la hora de inicio y la hora final, multiplicado por 2 que es el resultado de dividir 60 minutos (cantidad de minutos en una hora) entre el límite de tiempo para presentar el proyecto, en este caso 30 minutos, multiplicado por la cantidad de fechas).

Tabla 2. Instancias del problema

Parámetros	Instancias
Proyectos	37
Espacios de tiempo	24
Maestros	22
Aulas	2

3.1 Implementación del algoritmo.

La figura 3 muestra el diagrama de clases del programa desarrollado para este fin, en notación UML. A continuación se explica cada una de las clases y de los métodos relevantes.

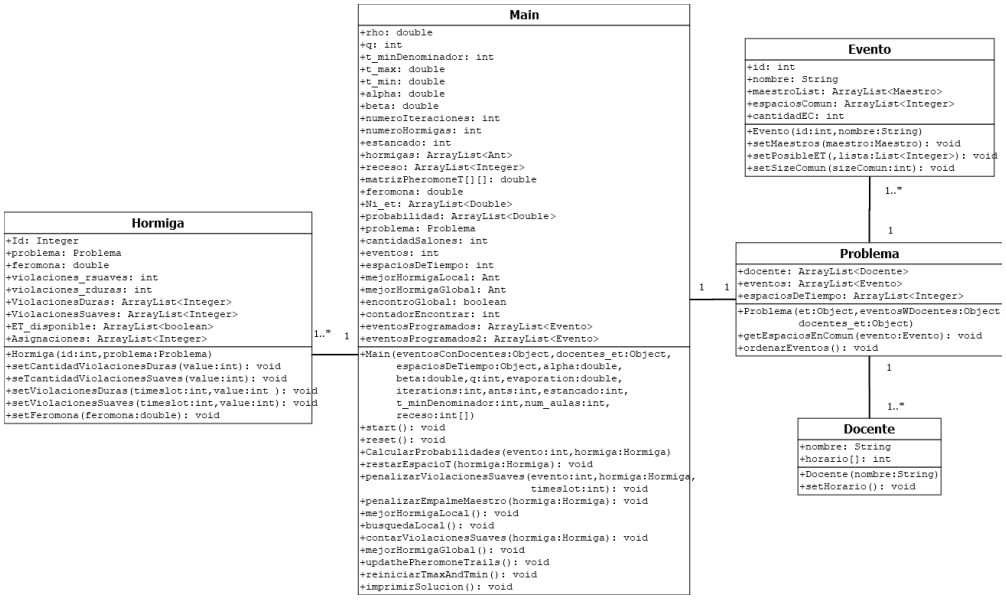


Figura 3. Diagrama UML de las clases utilizadas para el desarrollo del proyecto en Java.

3.1.1 Hormiga.

Cada instancia de la clase hormiga, representa las hormigas artificiales del algoritmo, son las que crearán una solución al problema de horarios.

3.1.1.1 Métodos.

- *setCantidadViolacionesDuras()*: Asigna un valor para el atributo “violaciones_rsuaves”. Representa la cantidad total de violación de restricciones duras existentes en todos los espacios de tiempo.
- *setCantidadViolacionesSuaves()*: Asigna un valor para el atributo “violaciones_rduras”. Representa la cantidad total de violación de restricciones suaves existentes en todos los espacios de tiempo.
- *setViolacionesDuras()*: Penaliza con +1 el espacio de tiempo elegido para un evento en caso de violar una restricción dura.
- *setViolacionesSuaves()*: Penaliza con +1 el espacio de tiempo elegido para un evento en caso de violar una restricción suave.

- *setFeromona()*: Asigna al atributo “feromona” la cantidad de feromona que una hormiga depositará en las aristas que ha visitado.

3.1.2 Evento.

Clase en donde cada instancia representa a un proyecto al cual se le necesita asignar un espacio de tiempo y un aula.

3.1.2.1 Métodos.

- *setMaestros()*: Agrega al atributo “docenteList” los docentes que conformaran el jurado para cada proyecto.
- *setPosiblesEspaciosT()*: Agrega al atributo “espaciosComun” los espacios de tiempo que tienen en común los docentes que conforman el jurado de cada proyecto.
- *setSizeComun()***:** Asigna al atributo “cantidadEC” la cantidad de espacios de tiempo en común que tiene el jurado en cada proyecto.

3.1.3 Docente.

Clase en donde cada instancia representa a un maestro, quien podría estar involucrado en al menos un proyecto.

3.1.3.1 Métodos.

- *setHorario()*: Agrega al atributo “horarios” los espacios de tiempo disponible de cada docente.

3.1.4 Problema.

Clase que represente el problema de horarios, contiene instancias de la clase evento, la clase maestro. Además contiene las fechas y las horas donde los eventos podrán ser asignados.

3.1.4.1 Métodos.

- *getEspaciosEnComun()*: Selecciona cuales son los espacios de tiempo en común que tienen los docentes que conforman el jurado en cada proyecto.
- *ordenarEventos()*: Ordena los eventos que están almacenados en la variable “eventos” de manera ascendente considerando el atributo “cantidadED” de la clase evento.

3.1.5 Main.

Clase principal que contiene la lógica del algoritmo Max-Min Ant System y otras funciones que fueron fundamentales para el buen funcionamiento del algoritmo.

3.1.5.1 Métodos.

- *Start()*: Inicializa el programa.
- *Reset()*: Reinicia los atributos de “probabilidad” y “ET_disponible” de la clase hormiga, para olvidar los cálculos generados en las iteraciones anteriores.
- *CalcularProbabilidades()*: Calcula las probabilidades de elegir un espacio de tiempo para un proyecto.
- *restarEspacioT()*: Cuenta la cantidad de veces que ha sido elegido un espacio de tiempo determinado durante la ejecución. Si la cantidad de veces es igual a la cantidad de aulas disponibles, cambia el estado de falso a verdadero en el atributo “ET_disponible” del espacio de tiempo elegido, indicando que en ese espacio de tiempo ya no hay aulas disponibles; por lo tanto no podrá ser elegido nuevamente.
- *penalizarViolacionesSuaves()*: Penaliza con +1 si el espacio de tiempo elegido para un evento viola alguna restricción suave.
- *penalizarEmpalmeMaestro()*; Penaliza con +1 si los proyectos asignados a un mismo espacio de tiempo genera un empalme de horas entre los maestros involucrados.

- *mejorHormigaLocal()*: Elige la hormiga con la mejor solución tomando en consideración la cantidad de violación de restricciones suaves.
- *busquedaLocal()*: Mejora la solución de la mejor hormiga local disminuyendo las violaciones de restricciones suaves y duras.
- *contarViolacionesSuaves()*: Cuenta la cantidad de violación de restricciones suaves generadas en la solución.
- *mejorHormigaGlobal()*: Compara dos hormigas, la hormiga con la mejor solución de la iteración actual y la hormiga con la mejor solución creada desde la ejecución del programa, la hormiga que tenga la solución con menor cantidad de violación de restricciones suaves será definida como mejor hormiga global.
- *updatePheromoneTrails()*: La hormiga declarada como mejor hormiga global, deposita la cantidad de feromonas por las aristas que ha recorrido durante la construcción de solución.
- *reiniciarTmaxAndTmin()*: Reinicia los valores de la matriz de feromonas tomando en consideración la formula númro (6) descrita en la sección 2.3.
- *imprimirSolucion()*: Muestra la solución construida por la mejor hormiga global, almacenada en la matriz bidimensional M.

3.2 Pruebas.

Se realizaron diferentes pruebas con las mismas instancias del problema, pero con variaciones en los parámetros del algoritmo. Los resultados son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados obtenidos de las pruebas con diferentes valores en algunos parámetros.

Prueba	α	β	Hormigas	ρ	Iteraciones	Violaciones suaves	Tiempo de ejecución (seg)
1	1	2	5	0.1	100	3	2
2	1	2	5	0.1	150	1	3
3	1	2	5	0.1	200	0	4
4	0.1	2	5	0.1	200	8	5
5	0.8	2	5	0.1	200	2	4
6	0.5	2	5	0.9	200	4	4
7	0.1	1	10	0.1	1000	5	59

Conclusiones.

A través de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se concluye que es posible resolver un problema de asignación de horarios a través de la variante Max-Min Ant System del algoritmo de optimización colonia de hormigas junto al método de búsqueda local. Sin embargo la calidad de la solución depende demasiado de los valores de algunos parámetros que se establecen, del tamaño del problema y algunos valores que pertenecen a las instancias del problema (por ejemplo la cantidad de espacios en común que tienen los docentes que conforman el jurado de un proyecto). Se observó que la solución factible al problema puede ser encontrada con un menor número de iteraciones si $\alpha = 1$ y $\rho = 0.1$; si un proyecto solo tiene un espacio en común, será necesario incrementar el número de iteraciones.

Referencias Bibliográficas.

Dorigo, M., Birattari, M., & Stützle, T. (Noviembre de 2006). Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE*, 28-39.

Dorigo, M., & Blum, C. (Noviembre de 2005). Ant colony optimization theory: A survey. *Theoretical Computer Science, 344*, 243 – 278.

Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). Ant Colony Optimization. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: MIT Press.

Peñuela, C. A., Toro, E., & Franco, J. F. (Junio de 2008). Colonia de hormigas aplicada a la programación óptima de horarios de clase. *Scientia et Technica*(38), 49-54.

Rubio, J. M., Johnson, F., & Crawford, B. (2008). ACO Hypercube Framework for Solving a University Course Timetabling Problem. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, I.* Hong Kong.

Schaerf, A. (1999). A Survey of Automated Timetabling. *Artificial Intelligence Review 13, 13*, 87–127.

Socha, K., Sampels, M., & Manfrin, M. (s.f.). Ant Algorithms for the University Course Timetabling Problem with Regard to the State-of-the-Art.

Información de los autores.

Oswaldo de Jesús Chacón Pérez, es alumno del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y se especializa en el desarrollo de aplicaciones móviles y tecnologías web. Sus principales intereses son: desarrollo de aplicaciones web y aplicaciones android.

Jennifer Vanessa Aguilar Padilla, es alumna del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y se especializa en el desarrollo de aplicaciones móviles y tecnologías web.

Octavio Ariosto Ríos Tercero, Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales egresado del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET. Su experiencia en docencia es en el área de ingeniería de software. Profesor de tiempo completo con perfil Promep, actual Jefe de Proyectos de Investigación en el Departamento de Sistemas y Computación del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.

Rosy Ilda Basave Torres. Maestra en Ciencias en Ciencias de la Computación egresada del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Es profesora en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, es miembro del cuerpo académico ITTUXG-CA-7, colabora en la línea de investigación ITFTGTZ-LIE-2018-0163, tiene el reconocimiento al perfil deseable y es miembro del Sistema Estatal de Investigadores.

Roberto Cruz Gordillo es Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 1996 y Maestro en Ciencias en Diseño Asistido por Computadora (CAD) por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en 2003, actualmente es profesor de medio tiempo del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde enero de 2004, asignado al Departamento de Sistemas y Computación, se especializa en matemáticas.

Algoritmos criptográficos ligeros para aplicaciones de seguridad en expediente clínico electrónico.

Light cryptographic algorithms for security applications in electronic clinical records.

Luis Alberto Espinosa Calvo (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.
luisespinosacalvo@gmail.com.

Miguel Morales Sandoval (2). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Tamaulipas. mmorales@tamps.cinvestav.mx.

Aida Guillermina Cossío Martínez* (3). Instituto Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.
acossio_m@yahoo.com.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 11, 2019; aceptado en diciembre 09, 2019.

Resumen.

En la actualidad la mayoría de las instituciones médicas están tendiendo hacia el uso de los expedientes clínicos electrónicos, estas instituciones en su mayoría cuentan con equipos computacionales limitados y con características que si no obsoletas, son bajas. El manejo electrónico de los expedientes requiere de dos consideraciones muy importantes la seguridad y el consumo computacional; en este sentido existen algoritmos criptográficos ligeros que permiten alcanzar algunas características de seguridad como autenticación, integridad, y confidencialidad de la información teniendo como objetivo también utilizar la mínima cantidad de recursos posibles.

Palabras clave: algoritmos criptográficos ligeros, consumo computacional, expediente clínico electrónico, desempeño, seguridad.

Abstract.

Nowadays, the most medical institutions are tending to the use of electronic health records, these institutions mostly have limited computer equipment with features that if not obsolete, they are low. The electronic handling of the records requires two very important considerations; namely security and computational consumption; In this sense, there are lightweight cryptographic algorithms that allow us to achieve certain security features such as authentication, integrity, and confidentiality of the information, and aiming to use the minimum amount of possible resources.

Keywords: light cryptographic algorithms, computational consumption, electronic health record, performance, security.

1. Introducción.

De acuerdo al sistema nacional de salud en el manual del expediente clínico electrónico se define al expediente clínico electrónico "como el conjunto de información ordenada y detallada que recopila cronológicamente todos los aspectos relativos a la salud de un paciente y a la de su familia en un periodo determinado de su vida".

Cuando se habla sobre expedientes clínicos electrónicos (ECE), se hace referencia al envió de la información a través de internet bajo la estructura cliente servidor usado para resguardar, accesar, modificar y compartir la información del seguimiento de cada uno de sus pacientes los cuales emplean algoritmos criptográficos convencionales, en algunos casos, consiguiendo un menor desempeño y una mala eficiencia.

Encontrando como alternativa el uso de los algoritmos criptográficos ligeros que permiten tener una mejor eficiencia y un menor consumo computacional, dichos algoritmos usados en el presente trabajo están regidos por la National Institute of Standards and Technology (NIST) que evalúa y estandariza a los algoritmos criptográficos ligeros para dispositivos limitados existentes en el mercado consiguiendo con el uso de ellos como confidencialidad, integridad y autenticación.

Según el senado de la republica coordinación de comunicación social en un boletín emitido el 27 de enero del 2019 nos dice que la información electrónica de los pacientes está disponible únicamente en la Ciudad de México, Morelos, Colima, Mexicali, Monterrey y Guadalajara, teniendo cada una de estos un sistema de operaciones propio.

Actualmente los hospitales llevan un control digital de la información de sus pacientes para lo cual se usa el estándar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) para el cuidado de la salud e intercambio de datos, publicado por Health Level Seven International (HL7).

De acuerdo con el estándar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) que se refiere al acceso del expediente clínico electrónico, éste debe estar limitado por mecanismos de seguridad entre los que se encuentra la autenticación y cifrado. Con fines de intercambio de información entre Prestadores de Servicios de Salud los Sistemas de Información de Registro Electrónico para la Salud (SIRES) deben implementar mecanismos de autenticación, de cifrado y de firma electrónica avanzada para mantener la seguridad del API RESTful (International, 2018).

En este proyecto y en apego a la estándar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR), se busca explorar la pertinencia de usar cifrado criptográfico ligero para garantizar los servicios de seguridad del expediente clínico electrónico (ECE), de forma que el despliegue de una aplicación segura de manipulación del expediente clínico electrónico (ECE) bajo un contexto de computo móvil sea viable y tenga un bajo overhead.

El uso e implementación del expediente clínico electrónico ha sido impulsado por gobierno federal y estatal, sin embargo, a la fecha aún no se ha conseguido que éste se use ampliamente en los distintos sistemas de salud del país. Por ejemplo, en el estado de Tamaulipas en Cd. Victoria entre los años 2019 y 2022 será implementado el "Expediente Clínico Electrónico" el cual permitirá digitalizar los expedientes médicos de la Secretaria de Salud de Tamaulipas de modo que estos puedan ser consultados de manera simultánea tanto en centros de salud como hospitales, de acuerdo con lo revelado por la secretaria de salud de Tamaulipas, Jesús Molina Gamboa (Echartea, 2018).

El proyecto de estudio de algoritmos criptográficos ligeros para aplicaciones de seguridad en el expediente clínico electrónico será usado por cualquier persona que necesite el medio por el cual se puedan evaluar futuras propuestas de seguridad.

Para evaluar se usará una aplicación de software que modele la operación de un sistema de expedientes clínicos electrónicos (ECE) que al mismo tiempo permitirá agilizar diversos procesos de los sistemas de salud con el cual se pondrán a pruebas los puntos de seguridad en la creación, almacenamiento y uso del mismo, para garantizar la seguridad de los datos de sus pacientes reduciendo al mismo tiempo el consumo producido en el equipo de cómputo.

El prototipo ayuda en los siguientes puntos:

- Para el análisis de algoritmos de seguridad y será el medio para evaluar nuevas propuestas de seguridad de datos.
- Manipular el expediente clínico electrónico por distintos actores de un sistema de salud (pacientes, enfermera, medico, especialista, farmacia, entre otros muchos), ubicados posiblemente en distintos lugares geográficos.
- Gestionar y registrar las transacciones de un expediente clínico electrónico (ECE), bajo en entorno de operación distribuido.
- Operar con recursos computacionales bajos.

2. Método.

Algoritmos criptográficos ligeros.

Los algoritmos criptográficos ligeros usados para el desarrollo del prototipo de expediente clínico electrónico están diseñados para trabajar con dispositivos de bajo rendimiento, dichos algoritmos buscan asegurar la información sin perder el óptimo desempeño y asegurar un consumo computacional bajo.

Los datos utilizados para hacer las pruebas de rendimiento para cada uno de los algoritmos criptográficos ligeros están conformados por los datos del paciente y el reporte diagnóstico contenido en el expediente clínico electrónico.

Los datos contenidos del paciente son los datos demográficos e información relevante acerca del paciente, los datos contenidos en el reporte diagnostico son las interpretaciones diagnosticas, que incluye el contexto clínico.

De acuerdo al proyecto se consideraron algoritmos criptográficos ligeros que trabajan con el cifrado por bloques como son el caso de XTEA, Blowfish, AES, GOST25147 los cuales nos proporcionan tamaños de bloques más pequeños que los algoritmos criptográficos convencionales, tamaños de llaves mas pequeños que van desde los 80 bits pero de acuerdo a lo establecido en la NIST se usaron llaves de 112 bits, rondas más simples con una preferencia de S-box de 8 bits y programar llaves más simples que generan sub claves sobre la marcha que impiden el aumento de memoria, la latencia y el consumo de energía.

Dichos algoritmos son usados en el prototipo para cifrar la información JSON que es generada de forma automática por HAPI FHIR con los datos obtenidos de las interfaces de usuario de manera que la información pasa por el algoritmo regresando datos alfanuméricos como se muestra en la
figura 6 en el apartado de “content” que sirven como una representación del cifrado para observar el cambio de los datos enviados.

Tipos de algoritmos criptográficos ligeros.

Los algoritmos criptográficos se dividen en tres grandes familias: Primitivas criptográficas (sin clave), criptografía de clave simétrica, criptografía de clave pública como se muestra en la
figura **1**.

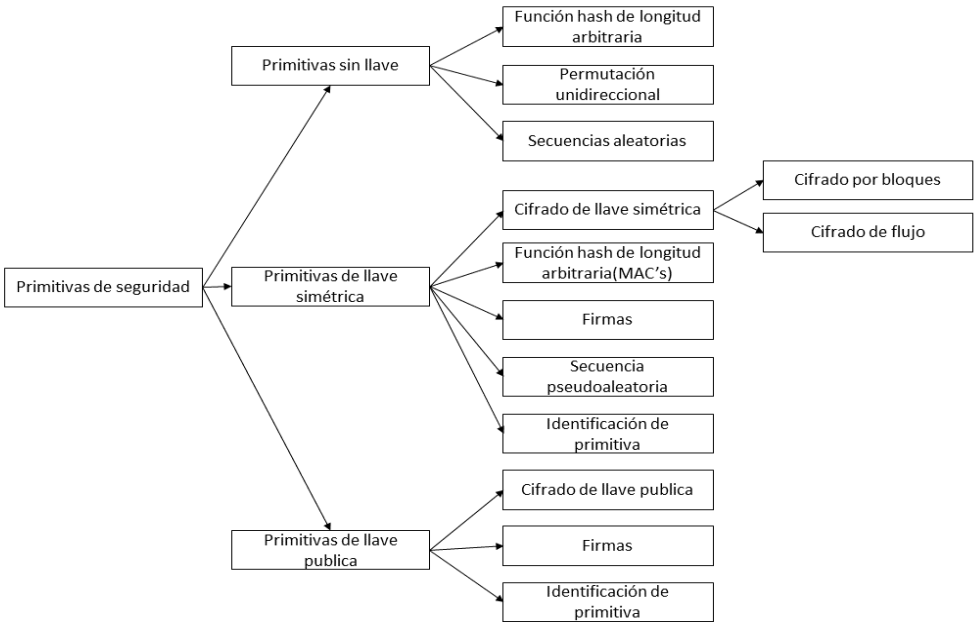


Figura 1. Vista general de la familia de algoritmos criptográficos.

Cada una de las tres grandes familias son evaluadas bajo los siguientes criterios:

1. Nivel de seguridad: A menudo se mide en términos de del tamaño de las claves usadas en los algoritmos criptográficos, en número de bits. Actualmente, el nivel de seguridad recomendado para un algoritmo simétrico o de clave privada es de 128-bits, para un algoritmo asimétrico o de clave pública es de 2048-bits y para una primitiva criptográfica como las funciones hash, el tamaño de su salida debe ser de 256-bits.
2. Funcionalidad: Se refiere al tipo de servicio de seguridad que el algoritmo ofrece. En el caso de los algoritmos simétricos o de clave probada, éstos ofrecen solo el servicio de confidencialidad. Los algoritmos asimétricos o de clave pública ofrecen el servicio de autenticación, integridad y no repudio. Las primitivas criptográficas como las funciones hash pueden proveer el servicio de confidencialidad.
3. Métodos de operación: Está determinado por la forma en la que los algoritmos procesan los datos de entrada. Generalmente, todos los algoritmos criptográficos son iterativos, operan mediante distintas rondas y en cada una se aplican algoritmos no determinísticos. Los cifradores pueden operar por bloques (los datos se dividen en bloques de tamaño fijo y cada uno se procesa a la vez) o por flujo (los datos se procesan al vuelo, por ejemplo, en las comunicaciones tipo streaming). De igual forma, existen diversos modos de operación, principalmente en los cifradores simétricos, por ejemplo, el modo CBC usa el resultado del bloque cifrado previo para cifrar el bloque siguiente.
4. Desempeño: esta hace referencia al rendimiento del algoritmo criptográfico, por ejemplo, cuantos bits por segundo puede procesar.
5. Facilidad de implementar: hace referencia a la dificultad de implementar el algoritmo a nivel de software y hardware.

- **Primitivas sin clave o hash.**

  El hash es la transformación de una cadena de caracteres generalmente más corto que la cadena original. Estas primitivas tienen como entrada un conjunto de elementos, que suelen ser cadenas de bits que pasan por un algoritmo matemático que asigna datos de tamaño arbitrario a una cadena de bits de longitud fija, y de tal forma que a partir de dicha cadena no se pueden recrear los datos de entrada.

a) **Propiedades:** Las funciones criptográficas hash se utiliza para mantener la seguridad de los datos y reducirlos a un tamaño razonable para posteriormente validar la misma información (Nathan Landman, Christopher Williams, & Eli Ross, 2019).

Cumpliendo con las siguientes propiedades mencionada por Reyna García Belmont para considerarse seguras:

- Unidireccional: Imposibilidad de encontrar el mensaje a partir del hash.
- Compresión: El mensaje de cualquier longitud se reduce a una longitud fija al ser convertido en un hash.
- Facilidad de cálculo: facilidad de calcular la función hash a partir del mensaje.
- Difusión: Complejidad en la función de todos los bits del mensaje evitando modificaciones en los bits, en caso de presentar modificaciones la mitad de sus bits se ve afectado.
- Colisión débil: se refiere a encontrar una segunda entrada que que tenga la misma salida que la primera entrada es decir x para encontrar $x' \neq x$ tal que $h(x) = h(x')$.
- Colisión fuerte: Se refiere a encontrar dos entradas distintas x, x' que se agrupa en la misma salida, es decir, que $h(x) = h(x')$.

b) **Ventajas:** La salida de los caracteres siempre tiene la misma longitud, por lo que esto se puede tener en cuenta al procesar o almacenar el resumen del mensaje. Algo que se resalta es que la salida es mucho más corta que la entrada, por lo que el procesamiento y el almacenamiento se pueden hacer mucho más rápido.

c) **Desventajas:** Una de las desventajas de estos algoritmos son que las colisiones hash son inevitables, esto es, que dos mensajes generen el mismo código hash. A medida que la longitud del código hash es más grande, es menos probable que exista una colisión. Durante mucho tiempo se usó la función hash SHA-1, la cual genera códigos hash de 160-bits. Esto supone que se pueden calcular 2^{160} distintos códigos hash o, dicho de otra forma, que la función hash solo soporta un máximo de 2^{160} mensajes diferentes antes de que inevitablemente exista una colisión. Actualmente, la longitud de hash recomendada para evitar colisiones es de al menos 224-bit y recomendablemente, de 256-bits.

- **Primitivas de clave simétrica.**

Se considera un esquema de cifrado que consiste en los conjuntos de transformación de datos cifrados y datos descifrados $\{E_e : e \in K\}$ y $\{D_d : d \in K\}$ donde de K denota a un conjunto llamado espacio clave (key space), y donde cada elemento $e \in K$ únicamente determina un bisección de M (el espacio del mensaje) a C(el espacio de texto cifrado) denotado por E_e donde $E_e$es llamada un función de cifrado, siendo E_e únicamente reservado para recuperar texto plano de cada texto cifrado distinto. Para cada $d \in K$, D_d denota una bisección de C (el espacio del texto cifrado) a M (el espacio del mensaje), (ejemplo. $D_d : C \rightarrow M$) donde D_d es llamado una función de descifrado (A. Menezes, 1996).

a) **Propiedades:**
Las primitivas de claves simétricas son:

- Ligeras.
- Rápidas.
- Compacto.

b) **Ventajas:**
A continuación, se dirán algunas de las ventajas de las primitivas de clave simétrica:

- Los criptosistemas que usas cifrados simétricos son más rápidos.

- Los datos cifrados son más seguros, a un que los datos sean interceptados no podrán ser legibles si no se obtiene la llave, la posibilidad de descifrado es nula.
- Utiliza autenticación de contraseña para comprobar la identidad del receptor en los criptosistemas simétricos.
- El mensaje solo es accesible a un solo tipo de llave.

c) **Desventajas:**
La desventaja principal es el establecimiento de los secretos compartidos que deben usar tanto el emisor como el receptor. Estas claves pueden establecerse off-line, pero es altamente inviable hacer esto. La otra opción es establecer las claves por un canal seguro. De hecho, unos de los problemas mayores de la criptografía simétrica es encontrar un método eficaz para estar de acuerdo en el intercambio de claves seguras. Este problema se le llama el problema de distribución de claves.

- **Primitivas de clave pública o asimétrica.**

Este tipo de cifrado se usa un par de claves relacionadas entre sí, de tal forma que la clave privada invierte la operación realizada con la clave pública y viceversa. La generación de esta pareja de claves debe ser tal que a partir de la clave privada se puede crear la clave pública, pero no al revés. La relación entre la pareja de claves es de forma matemática. Un mensaje cifrado con la clave pública solo puede ser descifrado con la clave privada, la cual debe mantenerse siempre segura.

a) **Propiedades:**
Normalmente se manejan dos tipos de llaves una privada y otra publica, la pública es conocida por todo el mundo y la privada únicamente por el propietario, entonces no importa si se conoce la llave publica o el texto cifrado no se podrá obtener la clave privada que es independiente de la clave pública o del texto cifrado.
El cifrado asimétrico proporciona:
- Confidencialidad
- Integridad
- Autenticación
- No repudio

b) **Ventajas:**
Algunas de las ventajas de usar el cifrado asimétrico son los siguientes:
- No es necesario intercambiar llaves, por lo tanto, se elimina el problema de distribución de llaves.
- Las claves privadas no necesitan ser transmitidas o reveladas a alguien.

c) **Desventajas:**
La desventaja de las primitivas de clave pública es la relación matemática que debe existir entre la pareja de clave pública y privada y la dificultad para que a partir de la clave pública no se pueda derivar la clave privada, hace necesario usar problemas matemáticos difíciles y tamaños de llave relativamente grandes. Todo esto implica mayor tiempo de procesamiento para generar las claves, para las operaciones de cifrado y descifrado y para el almacenamiento. Para un nivel de seguridad similar, la longitud de una clave en cifrado de clave pública puede ser hasta 20 veces más grande que una clave en el cifrado simétrico.

3. Desarrollo.

El actual prototipo de expediente clínico electrónico fue desarrollado para tratar el tema de seguridad en un ambiente médico, una falla de acceso no autorizado permite a terceros modificar los datos del paciente que podría traer consecuencias tales como un tratamiento equivocado debido a que su historial médico fue alterado poniendo en riesgo la integridad y salud del paciente.

El proyecto se desarrolló en 4 etapas:

- Fase de inicio: En esta fase se identifican todas las entidades externas (personas y sistemas) que interactúan con el sistema y definir las interacciones.
- Fase de elaboración: desarrollo de la compresión del problema, establecer un marco de trabajo arquitectónico para el sistema, desarrollar el plan del proyecto. Al terminar la fase debemos de tener el modelo de requerimientos del sistema, una descripción arquitectónica y un plan de desarrollo del software.
- Fase de construcción: comprende el diseño del sistema, la programacion y las pruebas.
- Fase de transición: se ocupa de poner en un entorno abierto a diferentes circunstancias.

El prototipo desarrollado cifra la información para asegurar que no se tenga acceso no autorizado, consiguiendo resguardar la información mediante el uso de algoritmos criptográficos ligeros los cuales permiten obtener seguridad y un mejor rendimiento. Que a diferencia de los algoritmos convencionales estos permiten generar bloques de información más pequeños.

De los algoritmos criptográficos ligeros usados se obtiene el tiempo que se tarda en generar el expediente clínico electrónico como primera variable y hemos usado el consumo computacional como segunda variable.

A continuación, se describen las características del servidor con las que fueron hechos las pruebas son las siguientes:

- Dual-Core AMD Opteron(tm) Processor 2220
- 4 GB RAM
- 1 TB
- Ubuntu 14.06 LTS

Las características del cliente con las que fueron hechas las pruebas son las siguientes:

- Windows 10
- Procesador Intel Celeron
- Java 1.8
- 2 GB RAM

Se desarrollaron interfaces para obtener los datos del paciente para crear un expediente clínico electrónico digital usando HAPI FHIR.

Estas interfaces permitirán introducir información que posteriormente se cifrará utilizando cada uno de los algoritmos criptográficos y será enviada al servidor para así comprobar el tiempo en generar el expediente y el consumo computacional.

A continuación, se describen los pasos a seguir para introducir los datos del paciente a las interfaces desarrolladas:

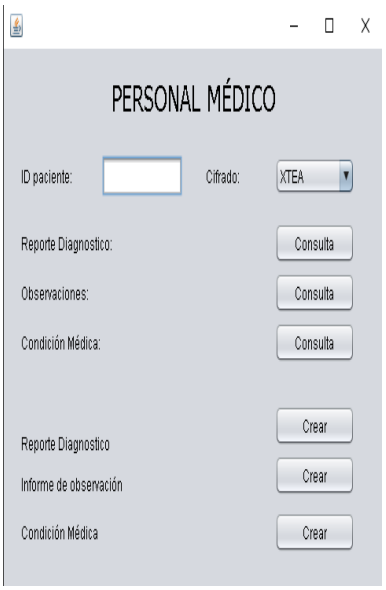


Figura 2. Menú de Personal Médico.

Como primer paso para usar el menú de personal médico debemos de presionar sobre el botón de crear reporte diagnostico sin asignar el ID del paciente en caso contrario este mostrara una pestaña para registrar los datos del paciente correspondientes al reporte diagnóstico.

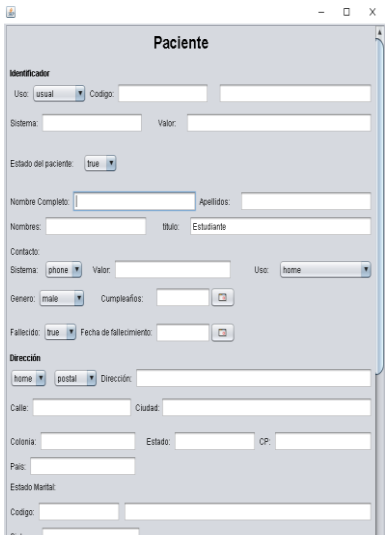


Figura 3. Formulario para registrar datos del paciente.

Una vez que la pestaña del paciente es mostrada, se llenará el formulario con los datos del paciente, los códigos requeridos serán introducidos de acuerdo a lo marcado por el estándar FHIR y se presionará siguiente para seguir con el formulario de reporte diagnóstico.

Figura 4. Interfaz gráfica de usuario.

Una vez que es mostrado el formulario de reporte diagnóstico se llenará con los datos pertenecientes al paciente y los códigos requeridos serán introducidos de acuerdo a lo marcado por el estándar FHIR, concluido el formulario se presionara al botón de enviar para generar el JSON y enviar al servidor.

El JSON generado durante el envío contendrá toda la información recolectada en los formularios como se muestra en la siguiente figura cuya estructura es dada automáticamente por HAPI FHIR.


```
{
  "resourceType": "DiagnosticReport",
  "id": "4955",
  "meta": {
    "versionId": "1",
    "lastUpdated": "2019-10-03T03:24:07.936-05:00"
  },
  "text": {
    "status": "generated",
    "div": "<div xmlns=\"http://www.w3.org/1999/xhtml\"><div class=\"hapiHeaderText\"> Acyclovir [Susceptibility] </div><table class=
\"hapiPropertyTable\"><tbody><tr><td>Status</td><td>APPENDED</td></tr><tr><td>Issued</td><td>03 octubre 2019 00:00:00</td></tr><tr><td
>Conclusion</td><td>conclusion del reporte diagnostico</td></tr></tbody></table></div>"
  },
  "contained": [
    {
      "resourceType": "Patient",
      "id": "1",
      "active": true,
      "name": [
        {
          "use": "usual",
          "text": "Luis EC",
          "family": "Espinosa",
          "given": [
            "Luis"
          ],
          "prefix": [
            "Estudiante"
          ],
          "period": {
            "start": "2019-10-03T00:00:00-05:00"
          }
        }
      ],
      "telecom": [
        {
          "system": "phone",
          "value": "1233080539",
          "use": "mobile",
          "rank": 1,
          "period": {
            "start": "2019-10-03T00:00:00-05:00"
          }
        }
      ],
```


Figura 5. Datos de Paciente y Reporte Diagnóstico.

Dicha estructura JSON es generada por HAPI FHIR nos permite seguir el estándar FHIR para posteriormente cifrar los datos del expediente clínico electrónico con los algoritmos criptográficos ligeros como XTEA, AES, Blowfish y GOST25147 transformándolo en un binario que contiene al paciente y al reporte diagnostico obteniendo un JSON de la siguiente manera para ser enviado al servidor como se muestra en la figura 6.


```
{
  "resourceType": "Binary",
  "id": "4954",
  "meta": {
    "versionId": "1",
    "lastUpdated": "2019-10-03T00:19:06.336-05:00"
  },
  "contentType": "application/json+fhir",
  "content": "BCLm6X62hYUJL937BDqW9aGnBu87/CLKizfyqhK8+QkXVtY37IJI+mFiXQ2d+77ASN2NXwrS7EvwqG3LbZcR8RPvRaS4Qb2dJRQNPKISgM/HQ7tvkT88sKrW
qN7otm9cGbcw9h8W/YBSbVYrQxLx8ilcALDK29s3iIuNAQlV+HB9eKUnGQnrGXxU50gEqLzeVDu4EBukt0cJKMO87fx6Om403dcgWFM5+KYT3FDn0DlmaMyYooaZ++KdBob79e
6KRJfvS/ABLittTEZ6/e8JRtSV9WLeGWucTnc/F2CQNu0tLLLeWhnBvxviL8NMKdaV38aI9pRmjje/9Vgbotl0S3XjtvugnsFKvz3R9Q+O1KmfZVvfaqt2/7WhYjT2mDSzsKnb
kvS2YUC404/HiYa0u36LBCoViyqhiIuNAQlV+HA51TxxuPnZ6UWK1ZblZcmk0y5rkoJSvUtfCSXZmLY9I9/GiPaUZo43v/VYG6LZdEtI47b7oJ7BSr890fUPjtSpn2Vb32qrdv
+XmQna7CSBBLjere4zo+qyU8/yI6s3D4WdipS7osEJ3i2yoZm16Ja097GxMHiLJmRPqbFjVsSarMTZ9WTmiG0WLbKhmbXolrTuRmo9TTfZmwFiEoh89yuy8SaLw75ZcKsWOst2
6RFS82FiXQ2d+77AgsHpBZbk5JspyH1gridaplPXPrKGBAtDyhEUxdMjLNLWNyGcz98W6xF/kcMDq+VzMbnOTsT2hifLtqR2MejXvkLpPnmzPS8RF+7kD2M74pcmObk9Kn304l
r6NHppsv9DfMZkcqyfERCPaUTb1ep6d+m9/MzwGQWFfsMZIuJCw1r1yeT1GNz0aef4YKnXA2QTB/IQ+ZOQjmH29Y8pK2afT+f3HE72jPFWE+9FpLhBvZ3NeTtvgix3LTgn0Nrw
iORv6RQFKR0aJqLvA88c3QJTzOyB4FJOSHUHyBBCexaY9Wi7JKpCIPrwr9VgZAvqwft2b3cPhhfncPfcA4fiZJAUoJdb9S7fOVw2vYPeQWnSLiAT+DAxhtIvKb7QzuLBfztUWB
h3gf9JP9/qszB0o412LdTNcdNFCdLJyhEUxdMjLNIbCA2P6yHaXctdciJcggyYBln+hMLVDX7HlrfxbQGcqtPL7yVuwAqtexmJ7xlfUHNDnXPGAzoDYLqKPyk82/IeEveJ7tld
XX6SqoOuqpyfP2VhQlOq/OPvCABcTH0/T7HREeBRx/5aJEHZmYrG4U8GwJq8+h75QfsphT+zeda2+pP0NeSPpVinFOOECx+EC757Xzcf9bhCGftVKnEc/hApYSt/NIAwR1iYYz
j+lcGVrJ44DQ4JP0rK3UpypNk/ehNZJcgoWDnJGJA5cK5KzB/Thlnqwr+r+4gzf1BMTqQEvnxHMN/0w355fiBzKYAmt04pZEIwvlA0Jhsqq7NRYdxgQyo9BcBm3FP/jT8jvSCg
QHMynBJEHF/J6b2TcnDypNNPYWV7a2ROHQ=="
}
```


Figura 6. Datos cifrados del expediente clínico electrónico.

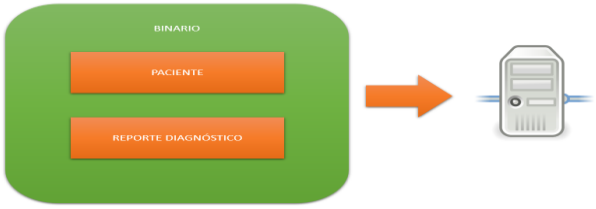


Figura 7. Representación gráfica del contenido binario enviado al servidor.

A continuación, se muestra los datos del tiempo que se tarda en generar el expediente clínico electrónico, recurso computacional consumido y el tamaño del expediente clínico electrónico que son enviados al servidor.

Tabla 1. Resultados de rendimiento del Expediente Clínico Electrónico.

Peso extra (MB)	Tipo de cifrado	Tiempo de latencia (milisegundos)	Consumo computacional (MB)	Tamaño del Expediente (MB)
0	Sin cifrar	4091	51	2.59
	AES	4688	47	2.59
	Blowfish	4794	47	2.59
	XTEA	5453	71	2.59
	GOST25147	5444	71	2.59
5	Sin cifrar	4748	314	11.8
	AES	5944	318	11.8
	Blowfish	5775	318	11.8
	XTEA	6293	322	11.8
	GOST25147	7672	369	11.8
10	Sin cifrar	4972	607	23.7
	AES	6135	611	23.7
	Blowfish	6121	611	23.7
	XTEA	6786	621	23.7
	GOST25147	8371	564	23.7
15	Sin cifrar	Tiempo excedido	-	35.5
	AES	Tiempo excedido	-	35.5
	Blowfish	Tiempo excedido	-	35.5
	XTEA	Tiempo excedido	-	35.5
	GOST25147	Tiempo excedido	-	35.5
	Sin cifrar	Tiempo excedido	-	47.4
	AES	Tiempo excedido	-	47.4

20	Blowfish	Tiempo excedido	-	47.4
	XTEA	Tiempo excedido	-	47.4
	GOST25147	Tiempo excedido	-	47.4

Como se puede observar en la tabla 1 debido a las limitaciones de nuestro gestor de base datos con la perdida de memoria en expedientes clínicos electrónicos con pesos superiores a 24 MB hemos podido observar que Blowfish es uno de los algoritmos que mejor rendimiento obtiene a medida que el expediente clínico electrónico es de mayor tamaño.

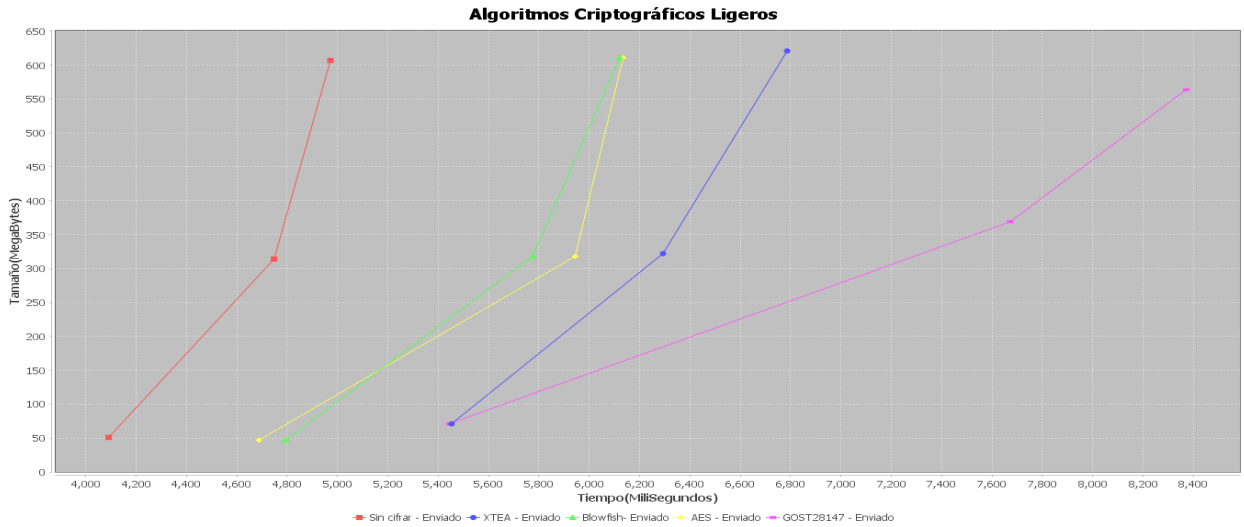


Figura 8. Grafica de resultados de los algoritmos criptográficos ligeros.

Y como se muestra en la figura 8 el algoritmo de mayor desempeño que se muestra en la gráfica es Blowfish teniendo un menor tiempo en procesamiento y un menor consumo computacional en comparación con los demás algoritmos criptográficos ligeros.

Conclusiones.

Los algoritmos criptográficos ligeros aseguran la información, pero elevan el consumo computacional a medida que el expediente clínico electrónico se eleva en tamaño notando que algunos de ellos no tienen un consumo tan elevado permitiendo asegurar la información sin tener que perder el desempeño original de la aplicación, observando que el cliente depende de la capacidad del servidor y los recursos disponibles para trabajar los datos de los pacientes, una limitación encontrada es el gestor de base de datos el cual solo nos permite trabajar con expedientes clínicos electrónicos de tamaños menor a 25 MB.

Por eso es importante considerar la robustez del sistema manejador de base de datos para no tener limitaciones como es el caso de Jetty el cual con datos superiores a 20 MB hay perdidas de memoria con la información recibida y almacenada en la base de datos.

Créditos.

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional por permitirme desarrollar este proyecto.

Agradecimientos.

Le extiendo mi principal agradecimiento al Dr. Miguel Morales Sandoval y a la M.C. Aida Guillermina Cossio Martínez por el apoyo que me han brindado durante el desarrollo del proyecto.

Referencias Bibliográficas.

A. Menezes, P. v. (1996). *Handbook of Applied Cryptography.* no disponible: CRC Press.

Echartea, A. (20 de septiembre de 2018). Harán ´Expediente Clínico Electrónico´. Permitirá digitalizar documentos médicos. *El mañana*, pág. 1.

International, H. (27 de Diciembre de 2018). Obtenido de HL7 FHIR: https://www.hl7.org/fhir/security.html.

Nathan Landman, Christopher Williams, & Eli Ross. (19 de July de 2019). *BRILLIANT*. Obtenido de BRILLIANT.ORG: https://brilliant.org/wiki/secure-hashing-algorithms/

Información de los autores.

Luis Alberto Espinosa Calvo, Estudiante de ingeniería en sistemas computacionales, desarrollo de tesis en el CINVESTAV unidad Tamaulipas. Área de interés seguridad informática y desarrollo de software sobre plataformas Linux y Windows.

Miguel Morales Sandoval, es Doctor en Ciencias Computacionales, con líneas de investigación en Seguridad Informática, Esquemas y algoritmos criptográficos, Ingeniería de Software y de Hardware (FPGAs), Sistemas de información y Bases de Datos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2010, actualmente Investigador Nacional Nivel 1 (vigencia hasta 2019), con experiencia en docencia (licenciatura y posgrado), direcciones de tesis de posgrado y desarrollo de proyectos con financiamiento. Miembro adherente de la Academia Mexicana de Computación.

Aida Guillermina Cossío Martínez, es Maestra en Ciencias en Administración por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2002. Es profesora de tiempo completo del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales desde 1994. Se especializa en la formulación y evaluación de proyectos, así como el emprendimiento y desarrollo de planes de negocio.

Aproximación de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos.

Approach of a non-invasive prototype for the detection of knee injuries using myoelectric sensors.

Carlos Jonas Rosas Pérez (1).
Estudiante, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, carlosjonas01@gmail.com.

Luis Enrique Colmenares-Guillén* (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, lecolme@gmail.com.

Elsa Chavira Martínez (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, elsachavira56@hotmail.com.

José Luis Hernández Ameca (4). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, amecajl@hotmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 12, 2019; aceptado en diciembre 20, 2019.

Resumen.

La Condromalacia Rotuliana se define como la consecuencia de un tipo de lesión con causas multifactoriales. Se caracteriza por la degeneración del cartílago en la rótula y con dolor de ubicación difusa, retro o peripatelar. Las lesiones aumentan con la actividad física, al doblar la rodilla, o al ascenso y descenso de escaleras. Se propone una herramienta no invasiva para detectar el desgaste del cartílago en la lesión. La importancia de esta herramienta debe ser utilizada para complementar el diagnóstico del profesional fisioterapeuta al evaluar la lesión llamada Condromalacia Rotuliana o Patelar. El profesional fisioterapeuta, determinará el grado de la lesión en la rodilla, utilizando la lectura de impulsos electromiográficos de músculos, ligamentos y tendones. Consiste en colocar 8 de sensores, modelo SEN_13723 con electrodos de almohadilla, integrados a modo de rodillera en las ubicaciones siguientes: en el vasto medial, vasto lateral, vasto intermedio, fascia lata, músculos gemelos, músculo sartorio, músculo tibial anterior y músculo peroneo largo. Con el propósito de detectar señales mioeléctricas de los músculos y así ayudar al profesional fisioterapeuta para realizar la terapia adecuada, haciendo uso de las tecnologías actuales.

Palabras clave: Condromalacia patelar, sensor, electromiográfico, cartílago, no invasivo.

Abstract.

Chondromalacia Rotuliana is defined as the consequence of a type of lesion with multifactorial causes. It is characterized by degeneration of the cartilage in the patella and with pain of diffuse, retro or peripatelar location. Injuries increase with physical activity, when bending the knee, or when ascending and descending stairs. A non-invasive tool is proposed to detect cartilage damage in the lesion. The importance of this prototype should be used to complement the diagnosis of the professional physiotherapist when evaluating the lesion called Chondromalacia

Rotuliana or Patelar. The professional physiotherapist will determine the degree of knee injury, using the reading of electromyographic impulses of muscles, ligaments and tendons. It consists of placing 8 sensors, model SEN_0708 with pad electrodes, integrated as a kneepad in the following locations: in the medial vastus, vastus lateralis, fascia can, twin muscles, sartorius muscle, anterior tibial muscle and long peroneal muscle. With the purpose of detecting myoelectric signals of the muscles and thus help the professional physiotherapist to perform the appropriate therapy, using current technologies.

Keywords: Chondromalacia patella, electromyographic, sensor, cartilage, non-invasive.

1. Introducción.

Para analizar la condromalacia patelar, se debe tener conocimiento de las posibles causas, siendo una de ellas, el sobrepeso, la mala alimentación y falta de ejercicio, causando el aumento de peso y baja condición física, lo cual genera alto impacto en las rodillas, incapaces de soportar adecuadamente el peso. Otros factores son los deportes que generen impactos en la rodilla (p/e: ciclismo, atletismo, etc.), la alineación de la rodilla y falta de vascularización del hueso debajo del cartílago. El sobrepeso (Organización Mundial de la Salud, 2018) y sedentarismo (Secretaría de Salud México, 2015), ya sea voluntario o por cuestiones laborales, propician a que las personas tengan este tipo de padecimientos y no puedan tener actividades físicas adecuadas para una óptima calidad de vida, aunado a ello, la mala alimentación contribuye de manera significativa, ya que, a falta de una cultura adecuada de la alimentación, se solventan dichos problemas. Basándose en estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), las lesiones más frecuentes que desencadenan la condromalacia patelar se clasifican de la siguiente manera:

- Deportivas.
  - Síndrome de Estrés Rótulo-Femoral (rodilla de corredor) (Moloney 2016).
  - Luxación Aguda de Rótula (Álvarez López 2009).

- Por edad.
  - Artrosis. (Márquez Arabia 2014).

- Traumatismos.
  - Artrosis de rodilla asociada a traumatismos severos. (Márquez Arabia 2014).
  - Lesión de los ligamentos colaterales. (Hernández Hermoso 2012).

    Se clasifica en tres grados de acuerdo a la severidad anatómica de la lesión (ver Figura 1):
    - Grado I: Reblandecimiento o aspecto ampolloso.
    - Grado II: Fibrilación superficial o fisuras leves en el área afectada.
    - Grado III: Fibrilación profunda con fisuras que afectan a más de la mitad del espesor del cartílago.
    - Grado IV: Erosión del cartílago hasta el hueso subcondral (exposición del hueso subyacente).
  - Lesión del ligamento cruzado anterior (LCA).

    Por un traumatismo directo en cara lateral de la rodilla con pie fijo a causa de:
    - Caída violenta con apoyo monopodal.
    - Hiperextensión de la rodilla.

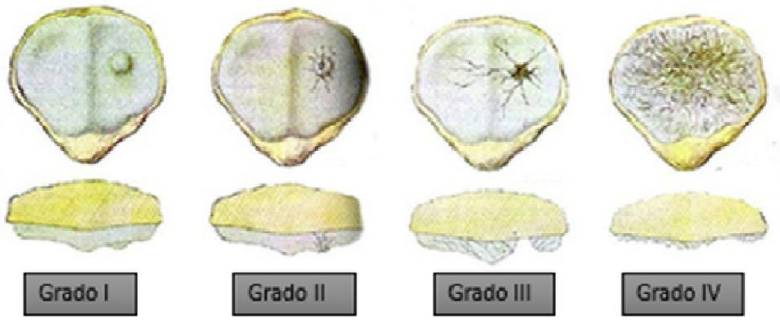


Figura 1. Grados de lesión y desgaste cartilaginoso en la rótula.

Existen distintas pruebas para evaluar el grado de lesión en una rodilla y para diagnosticar algún tipo de enfermedad musculo esquelética, entre las cuales están las pruebas de laboratorio usadas de manera complementaria, por mencionar las siguientes (Villa-Forte 2017):

- La velocidad de sedimentación globular. Empleado para detectar la presencia de inflamación debida a causas como infecciones, tumores o enfermedades autoinmunes.
- Determinar los niveles de creatinquinasa. Utilizado para detectar y monitorizar un daño muscular; para establecer el diagnóstico de enfermedades asociadas a daño muscular.
- Artritis Reumatoide**.**

Existen otros estudios con imágenes para el diagnóstico de trastornos musculo esqueléticos y lesiones, tanto invasivos como no invasivos, los cuales son:

- Rayos X (Umivale 2011).
- Densitometría ósea o DMO (Hernández Martín 2014).
- Tomografía computarizada (TC) o Tomografía Axial Computada (Umivale 2011).
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (García Peñalvo & García Holgado 2018).
- Ecografía (Díaz Rodríguez 2007).
- Gammagrafía ósea (RadiologyInfo.org. 2018).
- Artrocentesis (Suárez Martín 2016).
- Artroscopia (Morales Piñeiro 2016).
- Cintigrama Óseo (CO) (Humeres Apra 2002).

La desventaja de la mayoría de estos estudios mencionados anteriormente es su carácter invasivo para el paciente, de difícil acceso para ciertos sectores de la sociedad de un gran tamaño, de difícil portabilidad y el usar métodos radiactivos en ciertos estudios resulta perjudicial en un determinado tiempo.

La electromiografía de superficie (Ibarra Lúzar 2005) actualmente se usa en distintas áreas del sector médico, debido a la facilidad al colocar los electrodos de forma no invasiva. En la parte de la captación de las señales musculares, se debe tomar en cuenta que los cambios electroquímicos de la fibra muscular producen campos eléctricos variables en el tiempo que pueden ser detectados por electrodos de superficie. Por un lado, existe la ventaja en los electrodos de tener fácil colocación al ser no invasivos, sin embargo, hay que tomar en cuenta la sensibilidad respecto a su respectiva ubicación en la parte de la piel, teniendo un efecto evidente en la amplitud de la señal obtenida.

Para la captura de una señal electromiográfica, existen los sensores electromiograficos (EMG) (Villamizar Pinzón 2012) los cuales permiten registrar la actividad eléctrica generada por los músculos esqueléticos cuando realizan algún movimiento, de este modo la señal registrada (analógica) puede ser utilizada para controlar diversos dispositivos como prótesis, sillas de ruedas y robótica, por mencionar algunas y con el uso de estos sensores junto a un diseño ergonómico, favorecen el desarrollo de instrumentos más fáciles de usar y portar.

Existen tecnologías con sensores no invasivos, usando sensores EMG, por ejemplo, la pulsera/brazalete MYO de Thalmic Labs (Oyanedel 2013). La pulsera Myo es un dispositivo desarrollado por la compañía Thalmic Labs, con el propósito de controlar diferentes dispositivos con gestos de los brazos, dirigido principalmente a desarrolladores.

Figura 2. Pulsera MYO, compañía Thalmic Labs con sus respectivos componentes internos.

Es un dispositivo portátil compuesto de ocho electrodos electromiográficos, una unidad de medición inercial de 9 ejes y un módulo de transmisión. Envía los datos relacionados con las señales detectadas, a través de la tecnología Bluetooth "Low Energy" a otros dispositivos electrónicos que los procesan y actúan en consecuencia, dependiendo de cómo estén programados. Se coloca en el antebrazo debido a que en este punto se pueden recibir los movimientos del brazo, la muñeca y los dedos, teniendo amplias posibilidades para configurar el dispositivo a conveniencia del usuario. Con esta tecnología basada en sensores no invasivos, además de usarse para monitoreo aéreo mediante drones, también es utilizada en el sector médico, por ejemplo, en la robótica enfocada al control de prótesis en el cuerpo humano, en el sector industrial y para el desarrollo de una gran variedad de aplicaciones tecnológicas.

La necesidad de proponer el diseño y análisis de una herramienta no invasiva es debido al actual crecimiento tecnológico que permite crear herramientas más sofisticadas de apoyo para nuestro beneficio, en este caso, el área de la salud y movilidad.

El uso de estos sensores, junto a un diseño ergonómico, favorece el desarrollo de herramientas más fáciles de usar y portar.

2. Métodos.

Un modelo evolutivo (Boehm 2006) se adapta a la evolución que sufren los requisitos del sistema en función de un tiempo determinado, dividiéndose en estas categorías:

- Incremental.
- Iterativo.
- En Espiral.

El Prototipado Evolutivo forma parte de los Modelos Evolutivos y posee las siguientes características:

- Enfoque de desarrollo que se utiliza cuando no se conoce con seguridad lo que se quiere construir, para este proyecto se conoce lo que se requiere construir y aun se analiza su alcance.
- Se comienza diseñando e implementando las partes más destacadas del sistema.
- La evaluación del prototipo proporciona la realimentación necesaria para aumentar y refinar el prototipo.
- El prototipo evoluciona y se transforma en el sistema final.

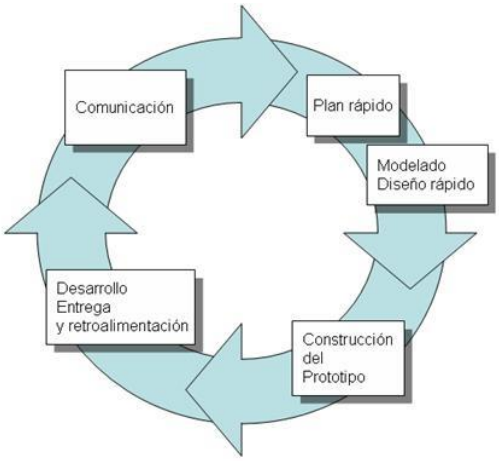


Figura 3. Etapas de desarrollo en el Prototipado Evolutivo.

Plan rápido.

Se realiza el análisis y diseño de una estructura organizacional para la solución del problema, uniendo conocimientos del área computacional y médica, teniendo la hipótesis inicial y con la respectiva investigación, ir mejorando las diferentes versiones hasta que se obtenga la versión del proyecto esperado. Se planea usar el "Prototipado Evolutivo" para el desarrollo del proyecto, consistiendo en el concepto del desarrollo de una implementación inicial, aplicando los cambios necesarios y refinándola a través de las diferentes versiones hasta desarrollar el sistema adecuado.

Modelado de Diseño Rápido.

El objetivo del diseño de esta propuesta es funcionar como un instrumento tecnológico de apoyo al fisioterapeuta para un diagnóstico más preciso al evaluar la lesión en el paciente que provoque la condromalacia patelar. El instrumento tecnológico propuesto debe mostrar, mediante la adquisición de una señal electromiográfica en un sensor, unas gráficas comparativas de una articulación sana con la lesión del paciente.

Se han realizado investigaciones en el área médica relacionadas al proyecto propuesto:

- Estructura de la rodilla.
- Componentes principales.
- Mecánica de la rodilla.

En el área tecnológica se ha investigado algunos tipos de mecanismos y herramientas de evaluación en lesiones en rodillas y la forma de plasmar dichos datos en un dispositivo.

Construcción del prototipo.

Realizar un método de desarrollo basado en Prototipado Evolutivo, y obtener una herramienta con los resultados planeados.

a. Uso del IDE correspondiente, realizando pruebas alámbricas y después realizar una conexión inalámbrica con una tarjeta de desarrollo (Arduino, Raspberry, NVIDIA Jetson).
b. Después del uso de la tarjeta de desarrollo (Arduino, Raspberry, NVIDIA Jetson) junto con los sensores, como trabajo a futuro se plantea desarrollar una tarjeta personalizada y adecuada al proyecto a realizar.
c. Interfaz gráfica. Teniendo en cuenta la adquisición de la señal electromiográfica, su respectiva lectura e interpretación del potencial eléctrico, se mostrará en computadora por medio de gráficas, mediante comparación en mediciones de articulaciones sanas con la del paciente evaluado.

Desarrollo, entrega y retroalimentación.

Con el trabajo de investigación realizado, el análisis del planteamiento de la herramienta a desarrollar, comparando los resultados obtenidos con las tecnologías y soluciones existentes para la evaluación de lesiones en rodillas, posteriormente la elaboración de la propuesta, se espera realizar pruebas evaluativas con pacientes sanos y con lesión, para comparar y guardar los datos obtenidos. Si se encuentra base de datos sobre lesiones se compararía, si no, realizar propia base de datos, con pacientes sanos y con pacientes lesión.

Comunicación.

En base a las correcciones y aclaraciones correspondientes con los especialistas en el área médica para detallar el prototipo final. La dinámica del funcionamiento general de la propuesta puede explicarse en el siguiente diagrama de bloques funcional, visuaizar la figura 4:

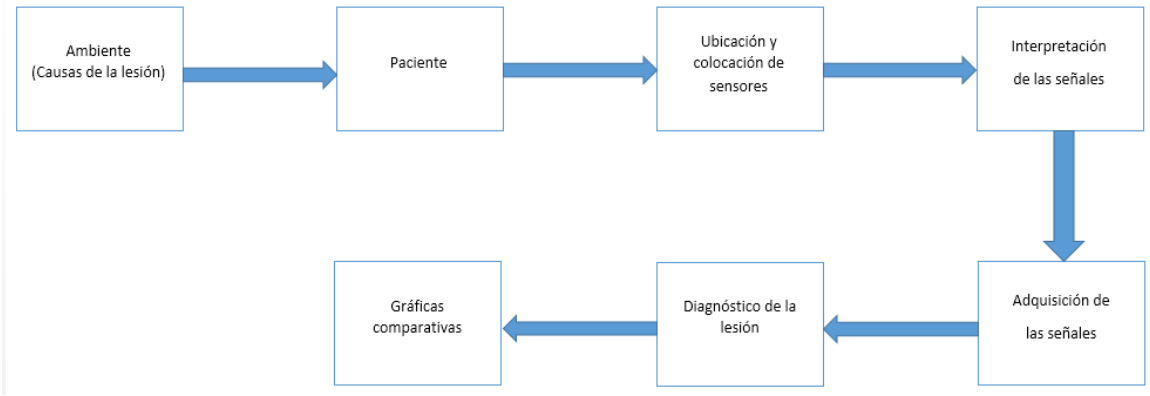
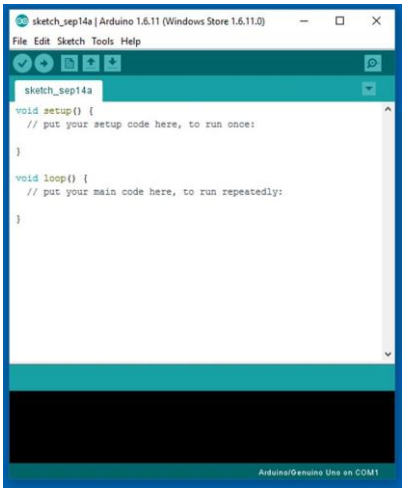


Figura 4. Diagrama de bloques funcional.

3. Desarrollo.

En la figura 5 se muestran las capturas de pantalla de la tarjeta de desarrollo y su entorno de la plataforma electrónica de código abierto Arduino, que se utilizará para el procesamiento y lectura de los sensores.

(a)



(b)

(c)

Figura 5. Materiales propuestos a usar.
(a) Placa Arduino (Tecmikro, 2019).
(b) Entorno de desarrollo IDE Arduino (Microsoft Store 2016).
(c) Sensor electromiográfico SEN_13723 SPARKFUN. (Sparkfun. (2018).

Generalmente se definen a los músculos como un tejido blando que puede contraerse mediante impulsos nerviosos, generando movimiento y permitiendo realizar trabajos mecánicos.

Se pueden clasificar como sigue:

- Músculo esquelético.
  Recubren los huesos del cuerpo humano y están unidos a éstos mediante tendones, permitiendo el movimiento voluntario controlados por el Sistema Nervioso Somático.
- Músculo liso.
  Recubre los órganos internos, el tracto digestivo, las glándulas secretoras contraídos más lentamente a comparación de los músculos esqueléticos, sin movimientos voluntarios y siendo controlados por el Sistema Nervioso Autónomo
- Músculo cardíaco.
  Son los que forman parte del corazón mostrando conductividad y excitabilidad muy por encima del resto de tejidos musculares.

Los músculos esqueléticos están formados por fibras constituidas de miofibrillas, que a su vez están formadas por miofilamentos. Los miofilamentos son pequeños hilos hechos de dos proteínas distintas: la miosina y la actina. La actina se entrelaza con la miosina, formando enlaces, sirviendo para tirar de los filamentos y contraer el músculo.

Los impulsos nerviosos enviados por el cerebro liberan iones de calcio (Ca++)**,** cambiando la configuración, desplazando a la troponina y la tropomiosina, este proceso realizado permite que los miofilamentos de actina formen puentes con los de miosina **y** se desplacen sobre ellos, acortando la longitud de las fibras musculares, lo que contrae el músculo.

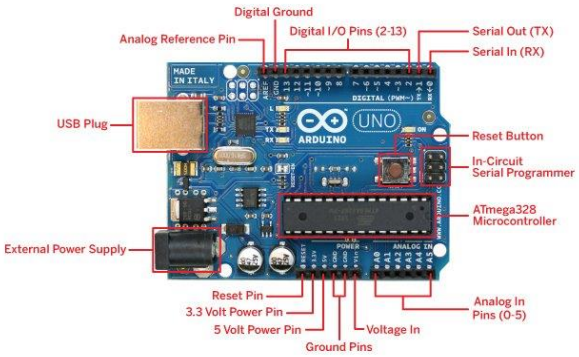


Figura 6. Placa Arduino UNO, mapa de pines (Crespo 2016).

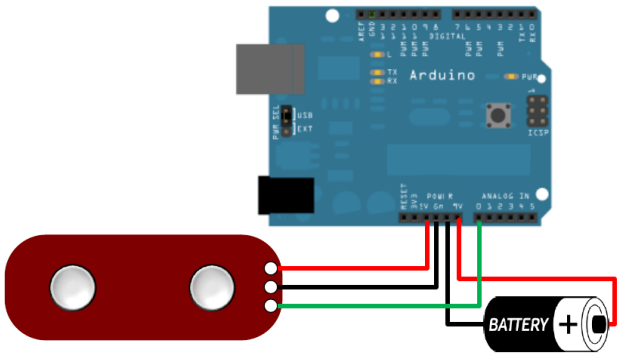


Figura 7. Conexiones necesarias del sensor a la tarjeta de desarrollo Arduino (Lang A 2017).

Con el uso de sensores electromiográficos no invasivos en la propuesta del prototipo, a continuación, se muestra en la figura 8, la colocación propuesta de los electrodos del sensor EMG en los músculos de la pierna.

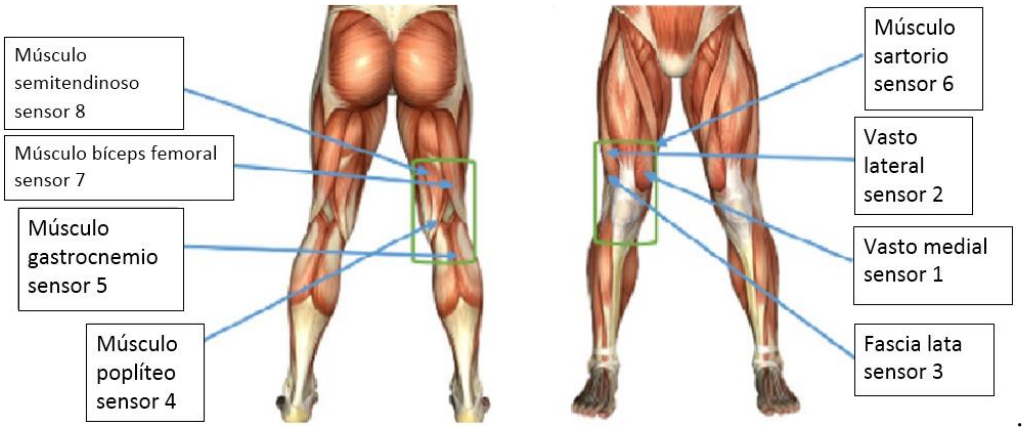


Figura 8. Propuesta de ubicación de los 8 sensores electromiograficos no invasivos.

La articulación de la rodilla es una de las más complejas en el cuerpo humano, compuesta de las siguientes estructuras: huesos, músculos, ligamentos y tendones, teniendo estas estructuras a su vez una composición también compleja.

Existen músculos y tendones utilizados en rodilla que ayudan a los movimientos de flexión y extensión, divididos en dos grupos: extensores y flexores.

El más importante músculo extensor en la rodilla son los cuádriceps femorales, formados por el recto anterior, vasto interno, vasto externo y vasto intermedio, junto con la fascia lata. Por el lado de los músculos flexores, se encuentra compuesto músculo semitendinoso y semimembranoso, bíceps femoral, músculo gastrocnemio, poplíteo, entre otros, por ende, en la investigación realizada, se eligieron los músculos mencionados en la figura 8, como propuesta inicial, ya que son unos de los principales músculos involucrados en la mecánica del movimiento en la rodilla (Queipo de Llano Giménez 2016; De Leonardo Girard 2008).

El siguiente ejemplo de código fuente para Arduino.

Código 1. Control de una señal electromiográfica.

```
/*
MyoWare_TwoEMG
Reads an analog input on pin 0 and converts it to voltage,
and prints the result to the serial monitor.
Attach the center pin of the board to pin A0,
and the outside pins to +5V and ground.
*/
int iA0;
int maA0;
float voltagesmoothA0;
float totalA0;

void setup() {
// initialize serial communication at 9600 bits per second:
Serial.begin(9600);
iA0=0;
totalA0=0;
maA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}

void loop() {
// read the input on analog pins 0 (hand) and 1 (wrist):
int sensorValueA0 = analogRead(A0);
// Convert the analog reading (from 0 - 1023)to(0 - 5V):
float voltageA0 = sensorValueA0 * (5.0 / 1023.0);
// print out the value you read:
//Serial.println(voltage);

//Data Smoothing Hand
if (iA0&amp;amp;lt;20){
//smoothing by five values
totalA0 = totalA0 + voltageA0;
voltagesmoothA0=totalA0/20;
iA0++;
}
else if (iA0==20){
//reset counter to zero
//Serial.println(voltagesmooth);
iA0=0;
totalA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}

//Serial.println(total);
//Serial.println(voltagesmooth);
//Serial.println(i);

//See if there is an activation
if (voltagesmoothA0 &amp;amp;gt; 4 &amp;amp;amp;&amp;amp;amp; maA0 == 0){
Serial.print(&amp;amp;quot;Muscle Activated: Open Hand \n&amp;amp;quot;);
Serial.println(voltagesmoothA0);
maA0 = 1;
delay(2000);
iA0=0;
totalA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}
if (voltagesmoothA0 &amp;amp;gt; 4 &amp;amp;amp;&amp;amp;amp; maA0 == 1){
Serial.print(&amp;amp;quot;Muscle Activated: Close Hand \n&amp;amp;quot;);
Serial.println(voltagesmoothA0);
maA0 = 0;
delay(2000);
iA0=0;
```

```
totalA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}
}
```

La salida en el IDE Arduino con la configuración del código 1, sería como la siguiente figura 9.

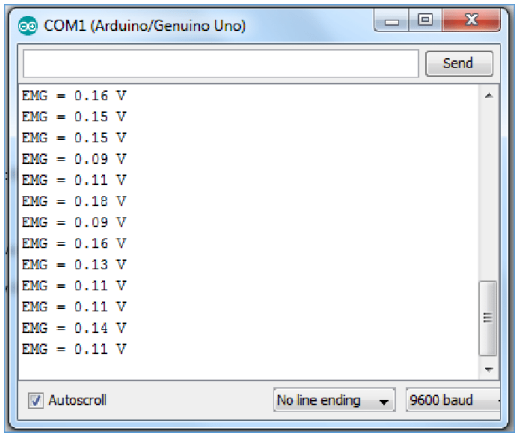


Figura 9. Salida de una señal en Arduino (Ahmed, 2016).

Se obtiene una señal electromiográfica procesada, integrada y rectificada, como en la figura 10, para determinar una posible clasificación de señales.

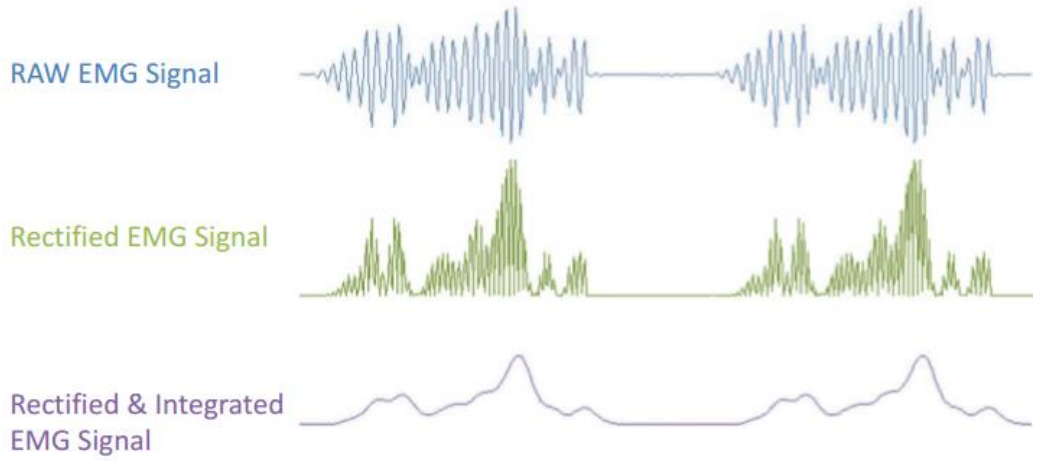


Figura 10. Señal EMG procesada (Advancer Technologies, 2015).

Una vez teniendo la placa Arduino con el sensor EMG con la señal (Fig.10) se espera clasificar las señales electromiográficas en los rangos adecuados y así determinar que lesión o lesiones generan la condromalacia patelar.

Conclusiones.

En esta propuesta de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos, se generó un diagrama de bloques funcional, para tener la visión sistémica del problema. Se propusó la ubicación de

los sensores electromiograficos en la rodilla basado en la experiencia de los profesionales fisioterapeutas. Se realizó el primer código para identificar las señales electromiográficas en los músculos sincronizando con los sensores y tener una aproximación con los músculos, tendones o ligamentos. Se obtuvieron las primeras gráficas de las señales para detectar la condromalacia patelar.

Obteniendo los datos necesarios para identificar lesiones, se realizaría una base de datos y generar estadísticas del hallazgo clínico, así poder mejorar la calidad de vida del paciente y sanar de mejor manera la lesión en la rodilla.

Referencias Bibliográficas.

Advancer Technologies. (2015). MyoWare™Muscle Sensor (AT-04-001) DATASHEET. Diciembre 8 2019, de Sparkfun Electronics Sitio web: https://cdn.sparkfun.com/assets/a/3/a/f/a/AT-04-001.pdf

Ahmed, S. (2016). Intelligent Bio-Detector. Open Journal of Applied Sciences, 6, 903-937.

Álvarez López A., García Lorenzo Y., Casanova Morote C., Muñoz Infante A. (Nov-Dic 2009*)*. Luxación aguda de la rótula. Revista Archivo Médico de Camagüey, Volumen 13, num. 6, Páginas: 9. Diciembre 2018, De SciELO Base de datos.

Boehm B. (May 25, 2006). A View of 20thand 21stCentury Software Engineering. University Park Campus, Los Angeles: ICSE 2006 Keynote Address.

Crespo J.E. (Junio 27 2016). Arduino Uno a fondo. Mapa de pines. Diciembre 8 2019, de Aprendiendo Arduino WordPress Sitio web: https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/#comments

De Leonardo Girard L. M. (Mayo 2008). Capítulo 2. Biomecánica de la rodilla. En Tesis: Diseño y construcción de prototipo de prótesis de rodilla (páginas: 29 a 44). Universidad de las Améicas Puebla: Bibliotecas UDLAP.

Díaz Rodríguez N., Garrido-Chamorro R. P. & Castellano-Alarcón J. (agosto 2007). Metodología y técnicas. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico, Medicina de Familia. SEMERGEN, Volumen 33. Num. 7, Páginas 362-369. Febrero 2018, De Elsevier.es Base de datos.

García Peñalvo F. J. & García Holgado A. (20-2-2018). Ingeniería de Software I, Tema 3: Modelos de proceso. 06/12/2019, de Departamento de Informática y Automática Universidad de Salamanca Sitio web: https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/1142/1/IS_I%20Tema%203%20-%20Modelos%20de%20Proceso.pdf

Ibarra Lúzar JI., Pérez Zorrilla E. & Fernández García C. (noviembre 2005). Electromiografía clínica. Servicio de Rehabilitación. Fundación Jiménez Díaz. Madrid., Vol. 39. Núm. 6., Páginas 265-276.

Hernández Hermoso J. A. & Monllau García J. C. (2012). Lesiones ligamentosas de la rodilla. Recuperado Diciembre 8 2019, de Marge Médica Books - Valéncia Sitio web: http://equilae.com/wp-content/uploads/2016/03/lesiones-ligamentosas-rodilla.pdf

Hernández Martín A. D., Puerto Noda I., Falcón Hernández A. (2014). Utilidad de la medición de la densidad mineral ósea en pacientes reumáticos, Diciembre 2018, de Revista Cubana de Reumatología. Sitio web: http://scielo.sld.cu/pdf/rcur/v16n2/rcur06214.pdf

Humeres Apra P. (2002). Medicina nuclear: aplicación en patología osteoarticular. Revista chilena de radiología, v8. no.2, Paginas: 6.

Lang A. (Junio 21 2017). Myoware muscle sensor circuits from Sparkfun and others. Diciembre 8 2019, de Langster Blogspot Sitio web: https://langster1980.blogspot.com/2017/06/myoware-muscle-sensor-circuits-from.html

Márquez Arabia J. J., Márquez Arabia W. H. (Ene-Jun 2014). Artrosis y actividad física, Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología, Vol.28 no.1, Páginas: 28. Octubre 2018, De Scielo Base de datos

Moloney Johns, A. (2016). Síndrome de Estrés Rótulo-Femoral [rodilla de corredor]. Agosto 2018, de University of Chicago Medicine Sitio web: http://healthlibrary.uchospitals.edu/content/adult-diseases-and-conditions-v0/sand237ndrome-de-estrand233s-rand243tulo-femoral-rodilla-de-corredor/

Organización Mundial de la Salud. (16-02-2018). Obesidad y sobrepeso. 30-07-2019, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Microsoft Store. (Septiembre 15 2016). Arduino IDE. Diciembre 7 2019, de Microsoft Sitio web: https://www.microsoft.com/es-mx/p/arduino-ide/9nblggh4rsd8?activetab=pivot:overviewtab#

Morales Piñeiro S., Lennox Warner D., Mata Cuevas R & Morera Estévez L. (ene.-mar. 2016). Valor de la artroscopia de rodilla en el adulto mayor. Medicentro Electrónica, Vol. 20, No. 1., páginas: 11.

Oyanedel, J. P. (2013, 25 febrero). Thalmic Labs MYO: Un brazalete para controlar gadgets a través del movimiento. Recuperado 29 octubre, 2019, de https://www.fayerwayer.com/2013/02/thalmic-labs-myo-un-brazalete-para-controlar-gadgets-a-traves-del-movimiento/

Queipo de Llano Giménez A., Queipo de Llano Aguado G., Serrano Arias J. M., Sánchez Caballero A. (2016). Síndrome Patelofemoral, Tratamiento rehabilitador, Madrid, España: GRÜNENTHAL PHARMA S.A.

RadiologyInfo.org. (2018). Gammagrafía ósea (de hueso), Febrero 2018, de Radiological Society of North America, Inc. Sitio web: https://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=bone-scan

Secretaría de Salud México. (29 de agosto de 2015). ¿Qué es el Sedentarismo?, Enero 2018, de Gobierno de México Sitio web: https://www.gob.mx/salud/es/articulos/que-es-sedentarismo.

Sparkfun. (2018). MyoWare Muscle Sensor. Diciembre 6 2019, de SparkFun Electronics Sitio web: https://www.sparkfun.com/products/13723.

Suárez Martín R., Martínez Larrarte J. P., Reyes Pineda Y., López Mantecón A. M. & Hernández Muñiz Y. (enero-abril 2016.). Artrocentesis e inyecciones intra y periarticulares con corticoesteroides, Revista Cubana de Reumatología, Volumen 18, Número 1, Paginas 45-61. Enero 2018, De Scielo Base de datos.

Tecmikro. (2019). Placa Arduino Uno. Diciembre 7 2019, de TECmikro Ecuador Sitio web: https://tecmikro.com/arduino/618-placa-arduino-uno.html

Umivale. Personal Sanitario Umivale. (2011). *Patología de la Rodilla, Guía de Manejo Clínico,* Febrero 2019, de UMIVALE Sitio web: https://umivalesalud.files.wordpress.com/2011/09/guia_rodilla_2011.pdf

Villa-Forte A. (diciembre 2017). *Pruebas para el diagnóstico de trastornos musculoesqueléticos.* Diciembre 8 2019, de Merck Sharp & Dohme Corp., una subsidiaria de Merck & Co., Inc., Kenilworth, NJ., USA Sitio web: https://www.msdmanuals.com/es-mx/hogar/trastornos-de-los-huesos,-articulaciones-y-m%C3%BAsculos/diagn%C3%B3stico-de-los-trastornos-musculoesquel%C3%A9ticos/pruebas-para-el-diagn%C3%B3stico-de-trastornos-musculoesquel%C3%A9ticos

Villamizar Pinzón J., Padilla Mayorga R. & Cabrera Hurtado G. (diciembre 2012). Brazo robótico controlado por electromiografía. Universidad Tecnológica de Pereira, Vol. 2 No.52, Págs. 165-173.

Información de los autores.

Carlos Jonas Rosas Pérez, estudiante de la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Actualmente es integrante del laboratorio de Cómputo Forense, realizó su servicio social en este laboratorio. En el presente año participó con exposición de carteles y conferencias en los congresos: X Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud (CONTACS).

Luis Enrique Colmenares Guillén, realizó sus estudios de la Licenciatura en Computación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La Maestría en la Universidad de las Américas Puebla. El doctorado fue realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona España. Actualmente es profesor investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP. Pertenece a un cuerpo académico PRODEP consolidado, el cual es su representante. Es miembro del Registro CONACYT de Evaluadores Acreditados (RCEA). Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a dos redes temáticas CONACYT. Pertenece al padrón de Investigadores y de Consultores de la BUAP. Actualmente tiene publicaciones nacionales e Internacionales, además tiene cuatro patentes registradas y dos títulos de patente. En la Facultad de Ciencias de la Computación ha impartido las cátedras de Sistemas Operativos, Administración de proyectos, Sistemas Distribuidos, Procesamiento Digital de imágenes, Sistemas de tiempo real. Actualmente ha desarrollado algoritmos y sistemas clasificadores para el área de la Inteligencia artificial y reconocimiento de patrones.

Elsa Chavira Martinez, Licenciatura en Física, BUAP (1978), Maestría en Ciencias en Física del Estado Sólido en el Instituto de Física, BUAP (1982), Doctorado en Ingeniería Biomédica, UAPEP (2012), Posgrado de Excelencia PNP, CONACYT. Como científica e investigadora ha trabajado en: Física de Superficies, Materiales Semiconductores, es especialista en el crecimiento de Silicio monocristalino por la técnica Czochralski, en el campo de la Microelectrónica, ha diseñado diversos Circuitos Integrados de Aplicación Específica, (Application Specific Integrated Circuits, ASIC's), entre los que destacan: el Microprocesador de 8 bits BRAMEX-1 (Brasil- México) y el diseño y desarrollo de la Unidad Lógica Aritmética del ILA9200. Ha desarrollado, diseñado y fabricado celdas fotovoltaicas de alta eficiencia con calidad espacial, para el satélite experimental mexicano en comunicaciones SATEX.1, además de desarrollar, diseñar y construir el COMPA, que es un Circuito Integrado protegido contra radiación cósmica, para suministrar la demanda de los voltajes y corriente del subsistema de potencia del SATEX.1. En Ingeniería

Biomédica diseñó, desarrolló y construyó de Sistemas Micro Electro- Mecánicos Bio Químicos (BioMEMS), también conocido como un Micro Laboratorio, Lab-on-a-Chip. Ha publicado más de cien artículos científicos y divulgación científica. Ha obtenido dos premios por parte de la Academia Mexicana de Cirugía del Aparato Digestivo, AMCAD. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) en la BUAP, como Profesora–Investigadora Titular A Tiempo Completo.

José Luis Hernández Ameca. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico del Instituto Tecnológico de Puebla en 2001. En 2005 recibió el título de Maestro en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). En 2017 obtuvo el título de Doctor en Planificación Estratégica y Gestión de la Tecnología de la Universidad Popular Autónoma de Puebla (UPAEP). De 2002 a 2004 trabajó como Ingeniero en el departamento de implementación de proyectos de la empresa digital IUSACEL. Trabaja como Profesor en la facultad de Ciencias de Computación de la BUAP desde 2007, donde su línea de investigación es la robótica y aprendizaje.

Arquitectura de gestión de un almacén de datos (Data Warehouse) para la fiscalización del impuesto predial en el Gobierno de la Ciudad de México.

Data warehouse management architecture for the property tax control in Mexico City Government.

Raúl Estrada Ramírez (1).
TNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
raul.estram@gmail.com

Abraham Jorge Jiménez Alfaro (2), TNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, ajja_mx@yahoo.com

Édgar Corona Organiche (3), TNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,
organiche2003@yahoo.com.mx

Noel Enrique Rodríguez Maya* (4), TNM / Instituto Tecnológico de Zitácuaro, noel.rm@zitacuaro.tecnm.mx

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 20, 2019; aceptado en octubre 30, 2019.

Resumen.

En este artículo se presenta la arquitectura de gestión para el desarrollo de un almacén de datos, Data Warehouse, dirigido a la evasión del impuesto predial en el Gobierno de la Ciudad de México, el cual procesa alrededor de 75 millones de registros de 30 fuentes de información distintas. Con la arquitectura de gestión propuesta se ha obtenido el procesamiento de la Fiscalización del Impuesto predial en un 62% de eficiencia en tiempo real.

Palabras Clave: Arquitectura de gestión, almacenes de datos (Data Warehouse), impuesto predial.

Abstract.

This article refers a Data Warehouse Management Architecture, focused to the evasion of control taxes in the Mexico City Government, which process around 75 millions of registers of 30 sources of different information. With this proposal of architecture the taxes management it has obtained the processing of property taxes control in a 62% of efficiency in a real time.

Keywords: Management architecture, Data Warehouse, Property taxes.

1. Introducción.

La evasión del impuesto predial asciende a miles de millones de pesos en todo el país, su fiscalización es compleja debido a las diversas fuentes heterogéneas de información existentes en cada entidad gubernamental y el burocrático procedimiento de su remisión. Hacer accesible la información de ayuda a la toma de decisiones, de manera instantánea, a los responsables de la gestión del impuesto predial en las entidades gubernamentales, constituye, en definitiva, el objetivo intrínseco de Data WareHouse (DWH). Cuando se construye adecuadamente el *DWH*, en unión con un

conjunto adecuado de aplicaciones de soporte a la toma de decisiones, proporciona de manera natural la integración de los servicios, un mejor conocimiento de la evasión y la orientación adecuada al esfuerzo de la supervisión (Kimball,2010).

En la actualidad el Gobierno de la Ciudad de México presenta problemas en cuanto a la fiscalización y cálculo correcto de recaudación fiscal por contribuyente, sea este persona física o moral; lo anterior debido a las distintas fuentes heterogéneas de información (cerca de 30 fuentes). El formato, el tipo de dato, la longitud de dato, el nombre del dato, los contenidos, la localización, entre otros, dificultan y retardan el proceso de recaudación. Para solventar esta problemática, se desarrolló una arquitectura de gestión de un almacén de datos (DWH), enfocado y dirigido hacia la Fiscalización del Impuesto Predial en el Gobierno de la Ciudad de México y evitar la evasión de este impuesto; en primer instancia se partió del análisis de requerimientos de información sobre la cual los mandos medios y altos toman decisiones, en segunda instancia el volumen y características de la información que se tiene en el Gobierno para poder conformar los indicadores con entrevistas de 30 usuarios operativos y 5 gerenciales, y finalmente en base a este estudio se diseña, desarrolla, implementa y prueba el almacén de datos que integra 30 fuentes de información para cumplir con los requerimientos de cada uno de los usuarios y los procedimientos que giran alrededor de esta fiscalización.

2. Materiales y métodos.

Arquitectura de gestión.

Poder transformar los datos en conocimientos es un proceso complejo (Imon, 2005). Un DWH es mucho más que simplemente copiar datos de un lugar a otro, de los sistemas operacionales a una base de datos informacional independiente. Un *DWH* es una arquitectura que debe servir como infraestructura para proporcionar una solución completa a las organizaciones (Kimball, 2008). Basados en los análisis de Kimball (2010) e Inmon (2005) los elementos que integran la arquitectura de Gestión del *DWH* para la fiscalización del impuesto predial en el Gobierno de la Ciudad de México son:

1. **El componente de diseño**, para el diseño de la base de datos del *DWH*.
2. **El componente de adquisición de datos**, para la captura de datos (procedentes de los sistemas fuente, limpieza, transporte y carga de las 30 fuentes diferentes de datos) en la base de datos del *DWH*.
3. **El componente de gestor de datos**, para la creación, gestión y acceso a los datos del *DWH*.
4. **El componente de gestión**, para la administración global de en las operaciones del *DWH*.
5. **El componente de directorio de información**, para proporcionar información de los metadatos, los contenidos y significado de la información incluida en el *DWH*.
6. **El componente de acceso a datos**, proporciona a los administradores las herramientas necesarias para acceder y analizar la información del *DWH*.
7. **El componente Middleware**, proporciona las herramientas de reporteo de información para de usuario final del *DWH*.
8. **El componente de distribución de datos**, para distribuir la información del *DWH* a otros sistemas.

La figura 1 muestra la arquitectura de gestión para el *DWH* considerando la situación particular del impuesto predial.

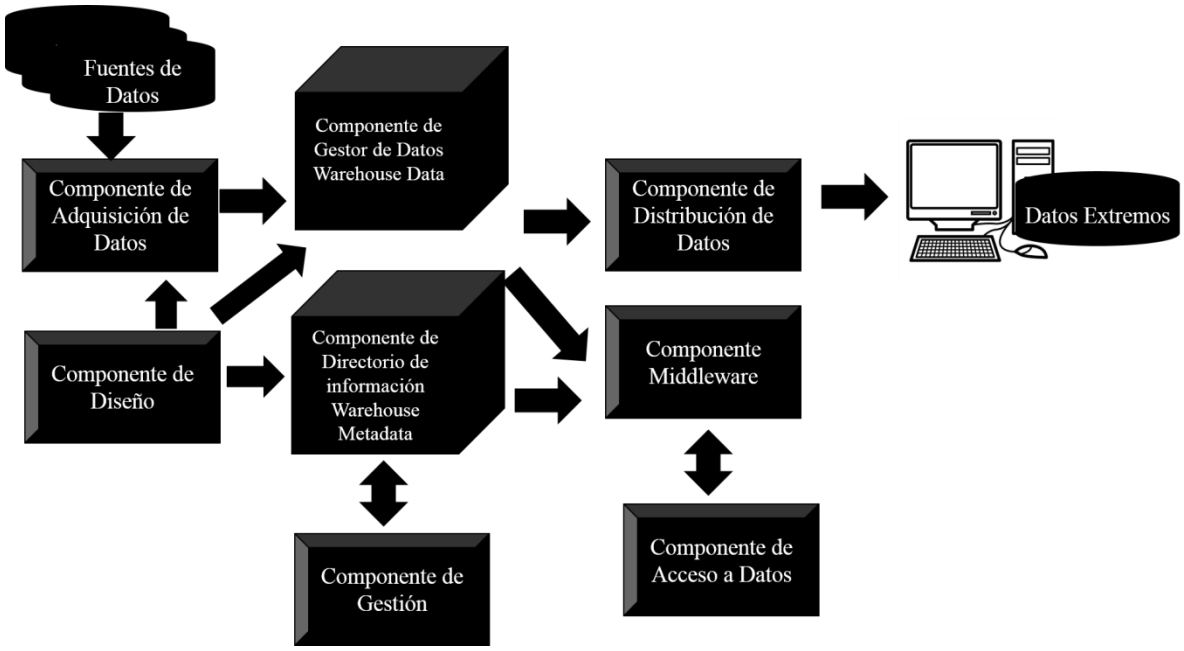


Figura 1. Arquitectura de gestión para el DWH del Gobierno de la Ciudad de México.

1) El componente de diseño. Es utilizado para proyectar la base de datos del DWH. En su diseño se consideran factores adicionales, en comparación con el diseño de bases de datos operacionales, como el tipo de modelado (estrella y copo de nieve), la desnormalización de tablas, la inclusión de información agregada, consolidada y el tratamiento temporal; los indicadores o métricas asociadas, la tabla de hechos y las tablas de dimensiones asociadas. Para el diseño del DWH habitualmente se emplean las herramientas automatizadas asociadas a la plataforma de implementación del sistemas gestor de base de datos.

2) El componente de adquisición de datos. El objetivo de este componente, también denominado a veces componente de integración y transformación, es desarrollar y ejecutar las aplicaciones de adquisición de datos que capturan la información procedente de las 30 fuentes de información de fiscalización del impuesto predial. Generalmente este proceso es conocido como extracción, transformación y carga (ETL Extraction, Transformation and Load), y es fundamental para el cargado de información del DWH. Las aplicaciones para la adquisición de datos se desarrollan siguiendo reglas identificadas en la fase de requisitos de la fiscalización. Estas reglas definen, principalmente, las fuentes de datos a partir de las cuales se obtendrá la información para el DWH, así como, la periodicidad de los procesos de adquisición, los formatos esperados de los datos y la calidad de los mismos.

3) El componente de gestor de datos. Este componente es utilizado para crear, gestionar y acceder a los datos y metadatos residentes en el DWH. El gestor de datos empleado por el sistema DWH se basa una base de datos relacional construida de las diversas fuentes heterogéneas de información de fiscalización. Los factores clave a considerados son la escalabilidad (tamaño de la base de datos, complejidad de las consultas y número de usuarios) y el rendimiento (aplicaciones de administración y procesamiento de consultas complejas).

4) El componente de gestión. Está formado por el conjunto de servicios de administración para el mantenimiento del entorno del DWH. Estos servicios incluyen la gestión de las operaciones de adquisición y carga de datos incremental o completa en el DWH, copias de seguridad y recuperación de la información, seguridad y autorizaciones de acceso, así como, las tareas de administración y ajuste asociadas. También se incluye la creación de metadatos sobre los procesos del sistema y la actividad de auditoría del uso que se hace del DWH.

5) El componente de directorio de información. Este componente tiene como función ayudar al personal de administración de tecnología y los usuarios del Gobierno de la Ciudad de México a acceder y explotar las capacidades

del sistema DWH. Para ello se dispone de un conjunto de herramientas para el mantenimiento y visualización de los metadatos del DWH asociadas al componente gestor de base de datos. El metadato debe ser creado por los desarrolladores y administradores del sistema durante el proceso de diseño y construcción, y/o puede ser importado de productos externos como el catálogo de sistema de la bases de datos externas.

6) El componente de acceso a datos. Este componente proporciona las herramientas de acceso a los datos que permiten a los usuarios finales consultar y analizar la información contenida en el DWH. Su organización está alineada de acuerdo a los términos fiscalización y las áreas temáticas definidas en el DWH, de manera que el usuario final puede trabajar en un entorno de conceptos que le son familiares. Existen distintas categorías de componentes, dependiendo del tipo de usuario al que esté enfocado:

En primer lugar, para los usuarios básicos se encuentran las aplicaciones que permiten realizar informes predefinidos que se ejecutaran de forma más o menos periódica. En este caso el interés del usuario se centra en disponer de una información determinada, probablemente que atiende a informes de indicadores de fiscalización, pero sin ir más allá en el análisis de la información.

En un segundo lugar están las aplicaciones que facilitan la ejecución de análisis elemental de los datos contenidos en el DWH. Se incluyen aquí las herramientas de análisis multidimensionales proporcionadas por los gestores de base de datos y aquéllas que permiten a los analistas interrogar al DWH y explorar los datos más desde la visión de la fiscalización.

En un tercer lugar se encuentran las aplicaciones que posibilitan la realización de análisis avanzados, en esta categoría se encuentran las herramientas de análisis estadístico y las de minería de datos que son proporcionadas por el sistema gestor de base de datos.

7) El componente de "middleware". El componente middleware proporciona la conectividad necesaria entre la base de datos del DWH y las herramientas de acceso de usuario final, como excel. El middleware proporciona una visión de negocio del DWH a los usuarios finales y supervisa y registra el acceso a la información del DWH.

8) El componente de distribución de datos. Es el responsable de distribuir la información del DWH a otras aplicaciones, como pueden ser otros almacenes de datos, hojas de cálculos, bases de datos locales, aplicaciones de bases de datos, entre otros, según se requiera en la fiscalización.

3. Desarrollo.

El desarrollo del almacén de datos es una tarea compleja, conlleva un conjunto de pasos a seguir ordenadamente, entre ellos se tiene que diseñar el almacén con la información necesaria y precisa, además de conocer, fondo el ramo de la Institución y cada uno de sus procesos y para poder definir junto con los usuarios los indicadores que se estén requiriendo (Kimball, 2010; Inmon, 2005). Para esta solución se tiene un DWH conformado por una tabla de hechos y cincuenta y un dimensiones, que almacenan aproximadamente 70 millones de registros.

El diseño del almacén se encuentra soportado en un 70% de tablas que fueron tratadas previamente mediante el proceso extracción, transformación y cargado, ETL, lo anterior debido a que las diferentes áreas propietarias de la información no proporcionan sus bases de datos normalizadas, muchas de estas fuentes de información se remiten en archivos de excel y texto plano que contienen la información de actos fiscales y de control.

En lo referente a los padrones fiscales y el estado de cuenta son remitidos en texto plano, estos últimos no se encuentran normalizados, bajo el contexto anterior, la integración del almacén de datos tiene un grado de complejidad importante; el principal problema presentado radica en las bases de datos remitidas y que se encuentran totalmente ausentes de toda normalización, problemas como archivos de excel donde en una celda pueden existir capturadas cientos de cuentas, tablas en las que existen varias columnas con datos repetidos, en muchas ocasiones se encontró que durante

varios ejercicios las áreas propietarias de la información remiten su información en distintos formatos, con distintas cantidades de información y en ocasiones hasta con inconsistencias.

Para poder solventar este tipo de problemáticas se realizó un análisis de todos los archivos remitidos considerando la periodicidad correspondiente tratando de homologar por ejercicio fiscal y realizar el proceso ETL para el almacén de datos, además de lo anterior, se encontraron archivos sin correspondiente diccionario de datos, para solucionar este obstáculo se acudió a los distintos sistemas que se tienen para poder identificar cada uno de los datos y en otras ocasiones mediante entrevistas con los usuarios propietarios de la información.

En la figura 2 se muestra el diagrama del almacén de datos con su respectiva tabla de hechos denominada factPadfis17, en esta tabla se encuentran todas las cuentas prediales que conforman el padrón fiscal, a partir de esta se encuentra todo un ambiente de dimensiones que afectan cualquier acción fiscal de un contribuyente y que debe ser tomada en cuenta antes de proceder con algún acto de fiscalización. Cabe destacar que el almacén de datos tiene 5 ejercicios fiscales como dimensiones de tiempo.

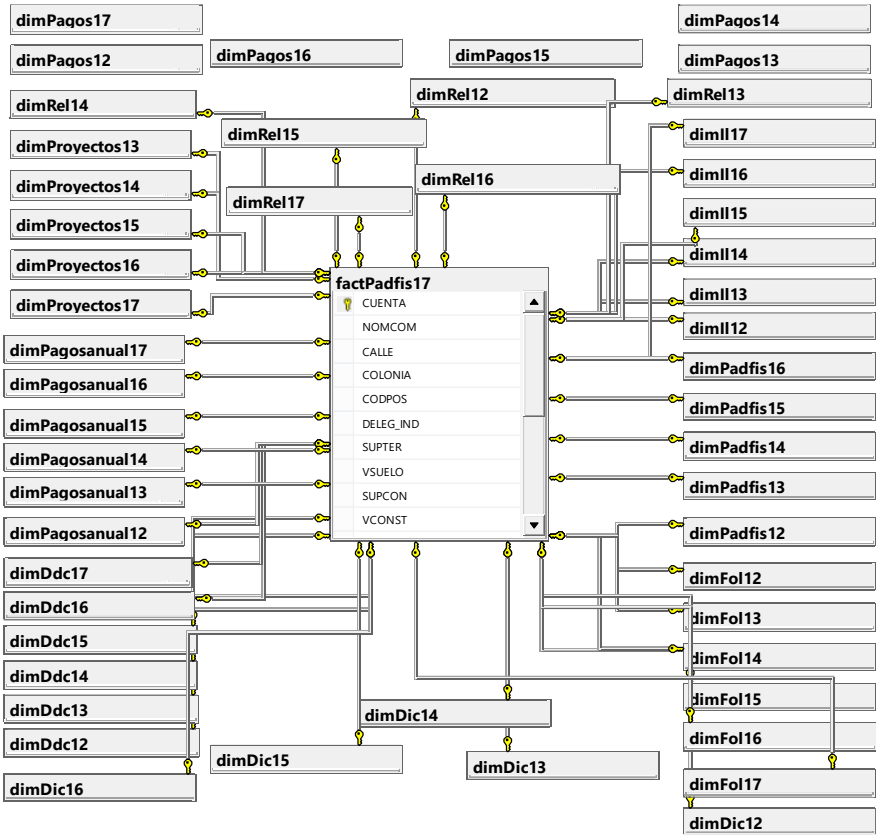


Figura 2. Diseño del almacén de datos para la solución de inteligencia institucional en la fiscalización del impuesto predial.

Integración de los datos.

La integración de la información es la tarea más importante del *DWH*, en primera instancia se realiza la extracción de los datos, desde las distintas localidades que se destinan para tal fin, estas localidades las determinan las áreas informáticas o las áreas propietarias de los datos, para este *DWH* la extracción de los archivos se conformó de dos formas principales:

1) Archivos extraídos en localidades de carpetas compartidas en equipos de escritorio: Determinantes de Crédito, Licencias de construcción y Requerimientos.

2) Archivos extraídos mediante un servidor de datos compartido: Órdenes de visita domiciliaria, Revisiones de gabinete, Dictámenes locales, Impuesto sobre adquisición de inmuebles, Folios de control, Subsidios, Prescripciones, Proyectos, Padrones fiscales y Padrón de pagos a detalle.

El segunda instancia es la transformación de los datos de acuerdo a las necesidades que establezca el almacén de datos, para tal cometido se realiza la transformación de las 51 dimensiones, dichas transformaciones se centran esencialmente en la conversión de datos de acuerdo a cada estructura de la tabla que le corresponde, se realizan las conversiones principalmente de tipo de dato y finalmente para la etapa final se realiza la carga al almacén de datos, dicha carga se realiza mediante inserción de datos (véase la Tabla 1 para el detalle de paquetes desarrollados).

Tabla 1. Detalle de los paquetes desarrollados.

No.	Paquete	Descripción	Bases cargadas	Flujos generados
1	Padrones Fiscales	Paquete para cargar los padrones fiscales	• dimPadfis12 • dimPadfis13…	6
2	Pagos Bimestrales	En este paquete se realiza el proceso de los pagos a detalle por cada uno de los ejercicios	• dimPagos12 • dimPagos13…	6
3	Pagos Anuales	En este paquete se sumarizan los pagos bimestrales para obtener un estado de cuenta anual	• dimPagosanual12 • dimpagosanual13…	6
4	DDC	Paquete en el cual se integran los archivos correspondientes a las determinantes de crédito	• dimDdc12 • dimDdc13…	6
5	IL	Paquete que involucra las órdenes de visita domiciliaria de las áreas ejecutoras.	• dimIL12 • dimIL13…	6
6	REL	Paquete que integra los archivos correspondientes a las revisiones de gabinete	• dimIL12 • dimIL13…	6
7	DL	En este paquete se realiza la carga de los dictámenes locales	• dimDic12 • dimDic13…	5
8	Proyectos	Paquete que carga los proyectos ejecutados por ejercicio para la fiscalización del impuesto predial	• dimProyecto12 • dimProyecto13…	5
9	Folios	Paquete a través del cual se cargan los archivos de control de los actos de revisión fiscal	• dimProyecto12 • dimProyecto13…	6
			Totales	52

La figura 3 muestra una instancia de los distintos paquetes que se realizaron, cada uno de ellos cumple con los tres pasos de un *ETL* que es la extracción, transformación y carga a la base de datos. Para la mayoría de los paquetes desarrollados, la extracción se hace de archivos de excel, uno de los primeros pasos es obtener una columna derivada para limpiar el campo de la cuenta por si tiene espacios en blanco a los lados. Después se le da formato para que sea compatible con la base de datos. Una vez terminado este paso, se realiza una búsqueda entre el archivo de excel y la tabla que le corresponda con la finalidad de encontrar registros e insertarlos en el almacén de datos.

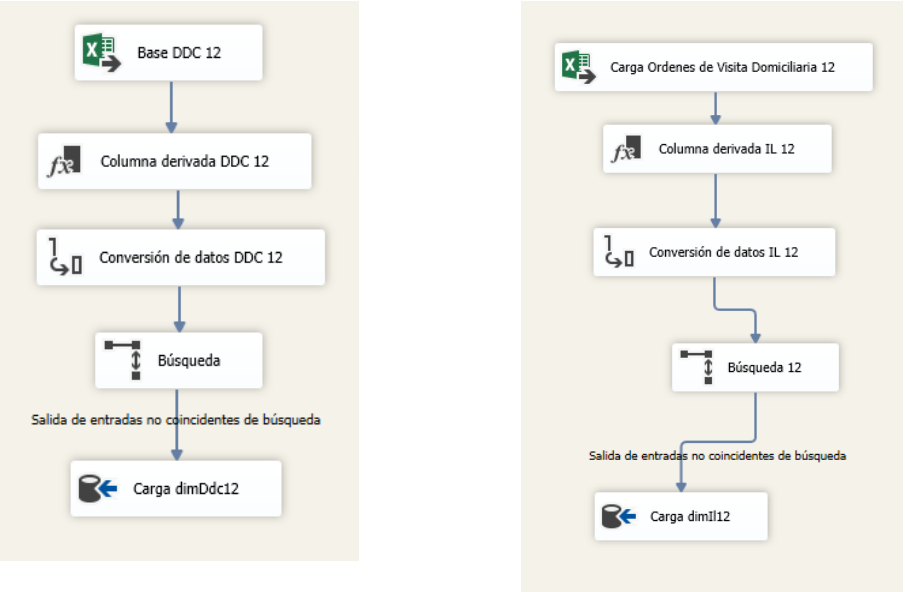


Figura 3. Paquetes desarrollados.

Como dato estadístico en la figura 4 se pueden observar los tiempos en días de acceso a las fuentes de datos de la fiscalización antes de la implementación del almacén de datos, los tiempos de demora son altos por la heterogeneidad de la información.

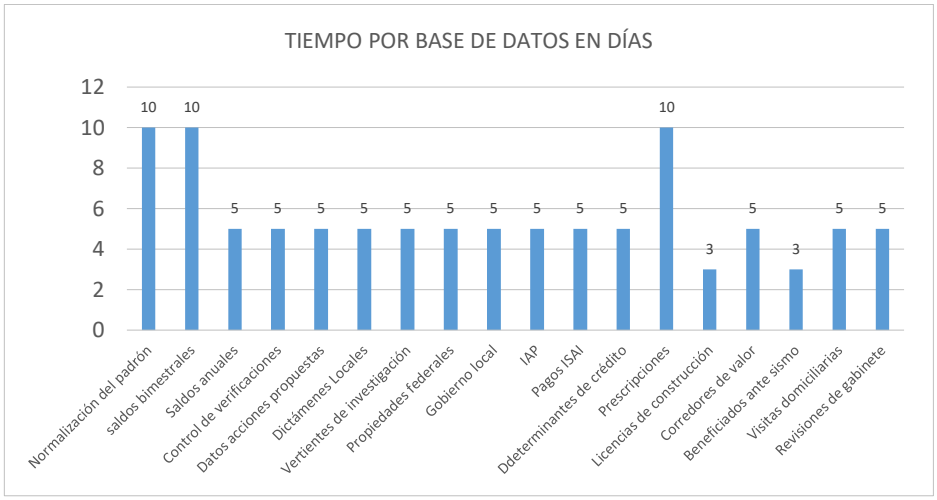


Figura 4. Tiempo de desarrollo en días por base de datos de las distintas fuentes para la fiscalización.

En la siguiente figura 5 se tiene el detalle del número de veces que se tiene que repetir el proceso de conformación por base de datos en el ejercicio fiscal provocando demoras sustanciales en la recaudación, cada una de estas repeticiones varía de acuerdo al tipo de base de datos, importancia y nivel de actualización.

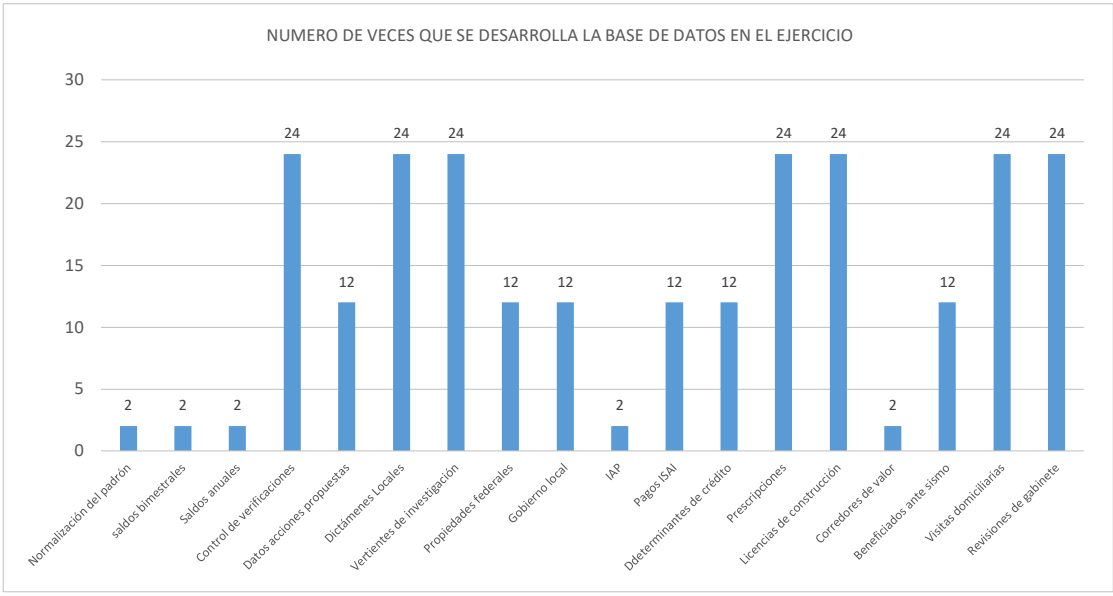


Figura 5. Número de veces que se realiza el desarrollo por ejercicio.

Una vez que se tiene la duración de cada una de las actividades, véase figura 4, y el número de repeticiones por ejercicio, véase figura 5, se tiene el estimado acumulado por días para cada una de las bases de datos empleadas por ejercicio fiscal, antes del *DWH*, y por repetición como se muestra en la Figura 6.

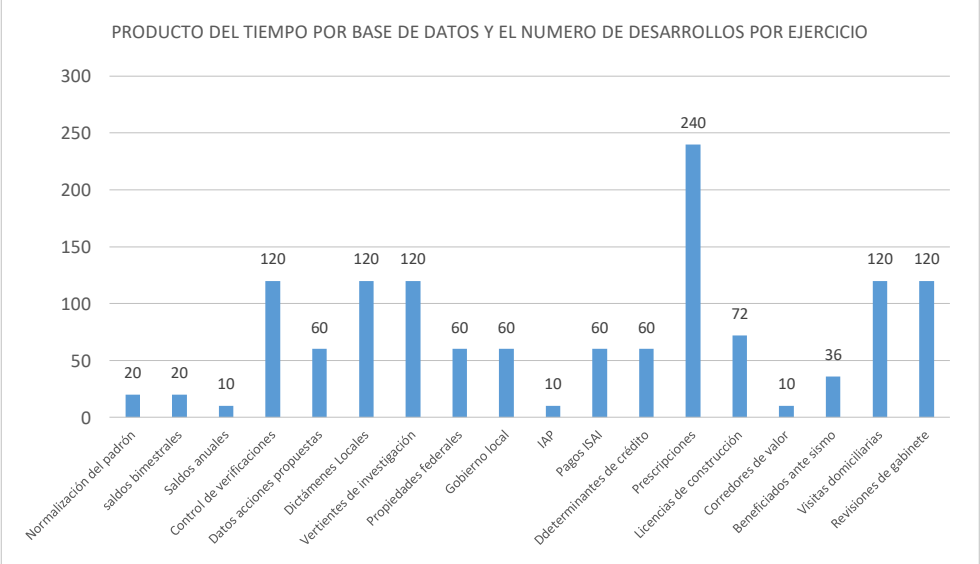


Figura 6. Tiempo total de desarrollo de cada base de datos por ejercicio fiscal en días.

Considerando la arquitectura de gestión del *DHW* y la implementación del proceso de extraer, transformar y cargar la información de las distintas fuentes, *ETL*; los tiempos en días se reducen sustancialmente como se muestra en la figura 7.

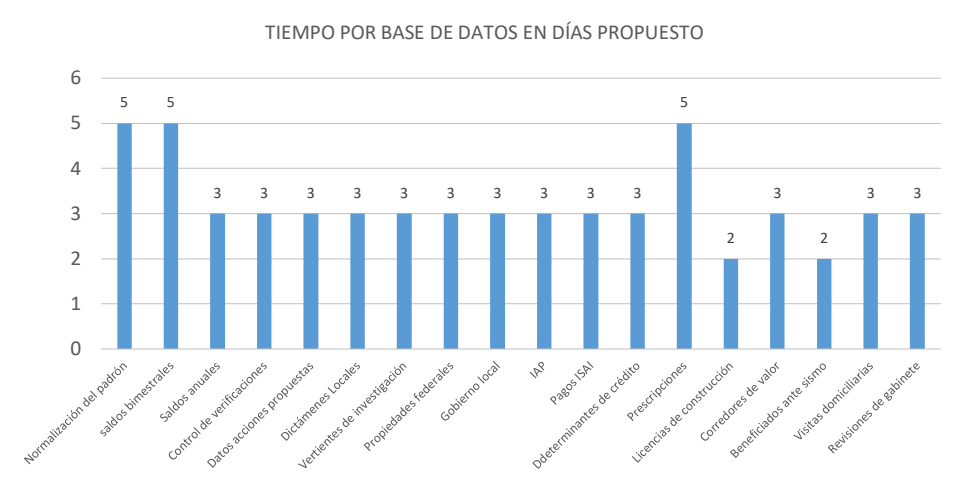


Figura 7. Tiempo propuesto para los desarrollos de bases de datos.

Considerando los tiempos reducidos, véase figura 7, en la figura 8 se pueden observar los tiempos de reducción en días por base de datos considerando el número de veces que se desarrolla por ejercicio.

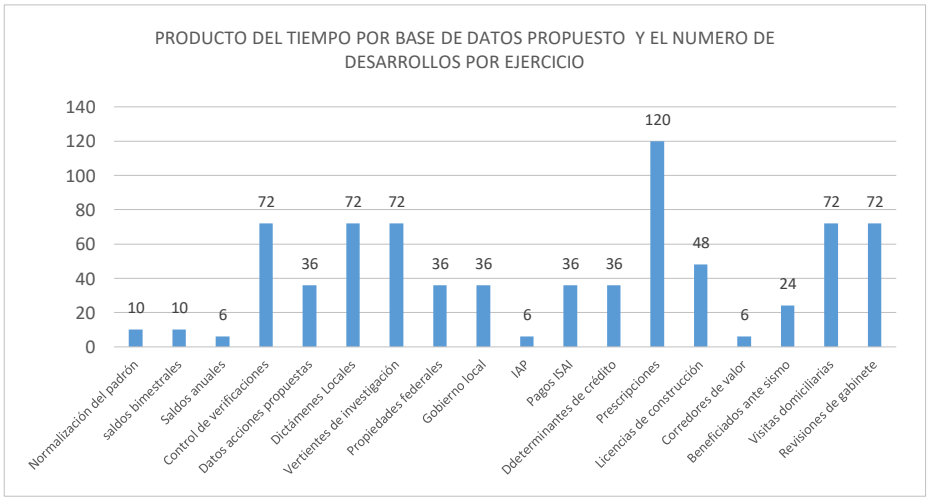


Figura 8. Producto del tiempo por base de datos propuesto y el número de desarrollos por ejercicio.

Al realizar la comparativa de tiempos, antes de la implementación del *DWH*, y después de la implementación del *DHW* como se muestra en la figura 9, se observa una diferencia es de 548 días ahorrados, lo que significa un 41.6% de ahorro.

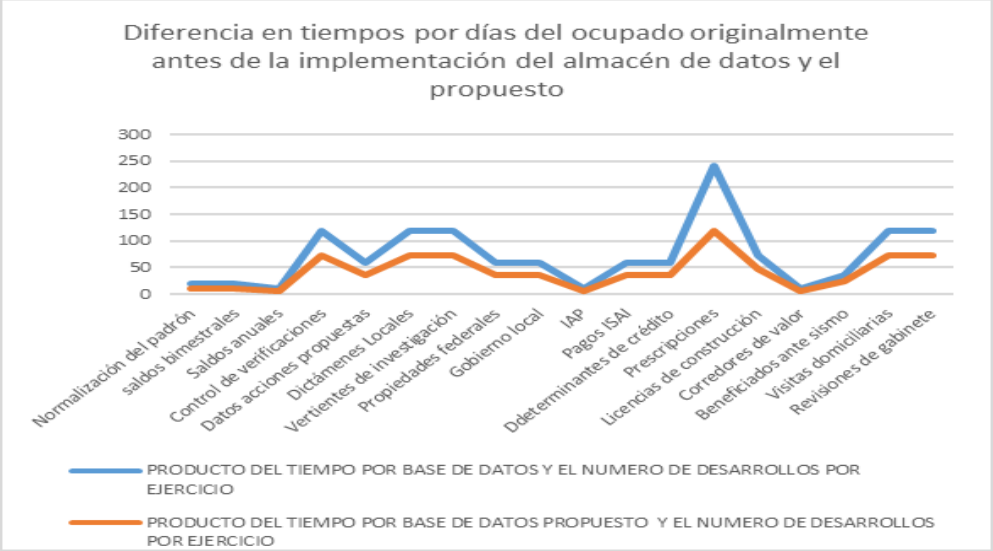


Figura 9. Diferencia en tiempos por días del ocupado originalmente antes de la implementación del almacén de datos y el propuesto

En el proceso de extracción, transformación y carga, *ETL,* de la información al almacén de datos, *DWH*, los tiempos se acortan en más de 270 días, esto debido a la robustez del equipo y rapidez del de Hardware, teniendo un ahorro total de 818 días. Lo anterior significa una eficiencia en tiempo real de 62%, tal comparación de tiempos se observa en la figura 10, con respecto al tiempo origen, el tiempo propuesto y el tiempo real.

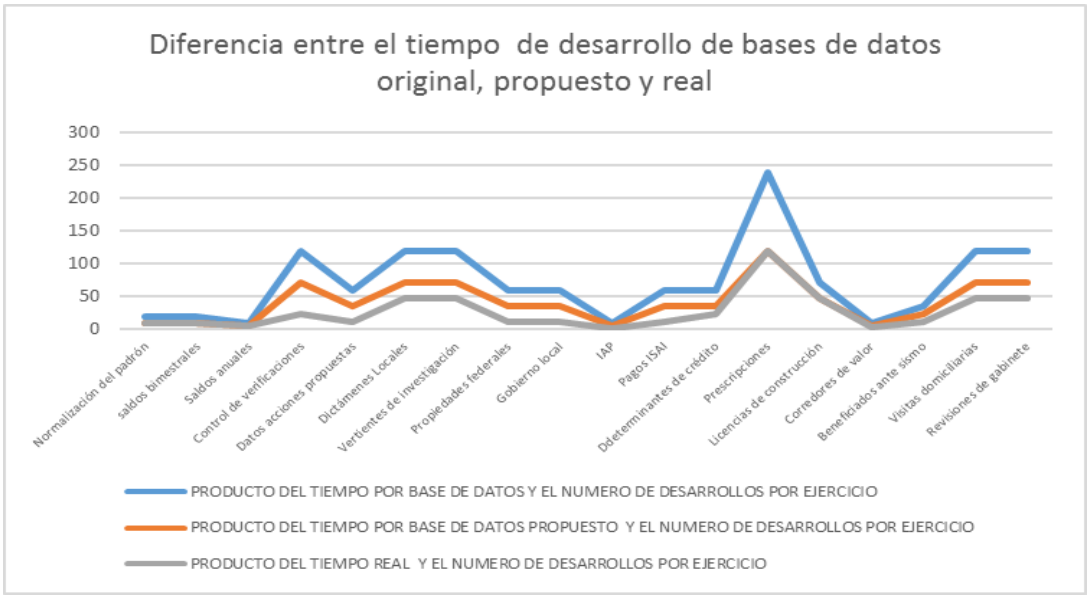


Figura 10. Diferencia en tiempos por días del ocupado originalmente, el propuesto y el tiempo real ya durante la operación.

Finalmente la tabla 2 muestra los registros en sus tres etapas donde se puede apreciar claramente el ahorro en tiempo de 818 días.

Tabla 2. Registro de tiempos en días del desarrollo de bases de datos, en tiempo original, tiempo propuesto y tiempo real de operación.

No.	BASES DE DATOS DESARROLLADAS	TIEMPO POR BASE DE DATOS EN DÍAS	NUMERO DE VECES QUE SE DESARROLLA LA BASE DE DATOS EN EL EJERCICIO	PRODUCTO DEL TIEMPO POR BASE DE DATOS Y EL NUMERO DE DESARROLLOS POR EJERCICIO	TIEMPO POR BASE DE DATOS EN DÍAS PROPUESTO	PRODUCTO DEL TIEMPO POR BASE DE DATOS PROPUESTO Y EL NUMERO DE DESARROLLOS POR EJERCICIO	PORCENTAJE	DÍAS REALES	PRODUCTO DEL TIEMPO REAL Y EL NUMERO DE DESARROLLOS POR EJERCICIO	TIEMPO REAL AHORRADO EN DÍAS
1	Normalización del padrón	10	2	20	5	10	50.00	5	10	10
2	saldos bimestrales	10	2	20	5	10	50.00	5	10	10
3	Saldos anuales	5	2	10	3	6	60.00	3	6	4
4	Control de verificaciones	5	24	120	3	72	60.00	1	24	96
5	Datos acciones propuestas	5	12	60	3	36	60.00	1	12	48
6	Dictámenes Locales	5	24	120	3	72	60.00	2	48	72
7	Vertientes de investigación	5	24	120	3	72	60.00	2	48	72
8	Propiedades federales	5	12	60	3	36	60.00	1	12	48
9	Gobierno local	5	12	60	3	36	60.00	1	12	48
10	IAP	5	2	10	3	6	60.00	1	2	8
11	Pagos ISAI	5	12	60	3	36	60.00	1	12	48
12	Ddeterminantes de crédito	5	12	60	3	36	60.00	2	24	36
13	Prescripciones	10	24	240	5	120	50.00	5	120	120
14	Licencias de construcción	3	24	72	2	48	66.67	2	48	24
15	Corredores de valor	5	2	10	3	6	60.00	2	4	6
16	Beneficiados ante sismo	3	12	36	2	24	66.67	1	12	24
17	Visitas domiciliarias	5	24	120	3	72	60.00	2	48	72
18	Revisiones de gabinete	5	24	120	3	72	60.00	2	48	72
	TOTALES	101	250	1318	58	770	58.42	39	500	818

Conclusiones.

Un DWH no se construye en una sola iteración, sino en conjuntos de iteraciones; el ámbito de cada iteración debe estar claramente definida (fuentes operacionales internas y externas, áreas de negocio involucradas, frecuencia y periodicidad de los análisis, objetivos del usuario, entre otros) debe ser controlable y proporcionar resultados tangibles en un periodo corto de tiempo. Para el caso del gobierno de la ciudad de México, la eficiencia del 62% en tiempo real, permite reducir la evasión del impuesto predial y considerar indicadores de búsqueda rápida de información pertinentes por tipo de usuario. La problemática que se tenía con las distintas fuentes heterogéneas, y la cantidad de información contenida se reduce sustancialmente a través del proceso ETL. La solución permite tener una óptica más amplia sobre el entorno que guardan las cuentas prediales en un ambiente de fiscalización. Bajo este contexto se pueden tener rápidamente las cuentas que cuenten con determinados criterios o indicadores marcados para una fiscalización y proceder a una revisión en sitio para evitar la evasión fiscal.

Referencias Bibliográficas.

Inmon, W.H. (2005). Building the Data Warehouse, 3rd edition. New York: Wiley.

Kimball et al. (2008). The Data Warehouse Lifecycle Toolkit. 2nd Edition. New York: Wiley.

Kimball & Ross (2010). The Kimball Group Reader; Relentlessly Practical Tools for Data Warehousing and Business Intelligence. Indianapolis: Wiley.

Información de los autores.

Raúl Estrada Ramírez es Ingeniero en Computación por la Universidad Nacional Autónoma de México, realizo estudios de Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Actualmente se desempeña como Subdirector de Análisis Estadístico en la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios Financieros (CONDUSEF). Sus áreas de desarrollo son: Análisis y Exploración de datos utilizando SAS ENTERPRISE, Modelamiento de Procesos con BPMN y BIZAGI y Software Development kit (SDK) Intelisis, entre otros Dirección de adscripción: Av de los Insurgentes Sur 762, Col del Valle Nte, 03100 Ciudad de México, CDMX.

Abraham Jorge Jiménez Alfaro es Lic. En Ciencias de la Informática y Sistemas por la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional, tiene una Maestría en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma Metropolitana Campus Azcapotzalco y cuenta con un Doctorado en Ciencias en Tecnologías de la Información y Comunicaciones Opción Ciencia de Sistemas e Ingeniería en Computación de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es Líder del Cuerpo Académico en Formación "Ciencias en Tecnologías de Información, Sistemas y Comunicaciones" del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Édgar Corona Organiche es Licenciado en Electrónica por la Universidad Autónoma de Puebla, tiene una maestría en Ciencia de Materiales por el Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas" de la Universidad Autónoma de Puebla y cuenta con estudios de Doctorado en Tecnología Avanzada en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es miembro del Cuerpo Académico en Formación "Ciencias en Tecnologías de Información, Sistemas y Comunicaciones" del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Noel Enrique Rodríguez Maya es Ing. en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Michoacán, tiene una Maestría en Ciencias Computacionales por el Laboratorio Nacional de Informática Avanzada A.C. de Xalapa, Veracruz, cuenta con un Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica opción Sistemas Computacionales por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es miembro del Cuerpo Académico en Formación "Sistemas Computacionales" del Instituto Tecnológico de Zitácuaro.

Diseño y construcción de un jaguar *Animatronic*.

Design and construction of an *animatronic* jaguar.

Raúl Moreno Rincón* (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México.
rmoreno@ittg.edu.mx.

Juan Luis Gómez Escandón (2). Estudiante del I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, jlescandon95@hotmail.com.

Álvaro Hernández Sol (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, ing_sol10@yahoo.com.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, jzepeda@ittg.edu.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, ogarcia@ittg.edu.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (6). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, aaguilarc@ittg.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en junio 24, 2019; aceptado en julio 16, 2019.

Resumen

En este artículo se explica el diseño y la construcción de un animatronic, (específicamente un jaguar) que simula la representación exacta del animal, la metodología que se decidió utilizar es la obtención de una unidad básica de medida que calcula cada uno de los huesos básicos que forman la estructura anatómica del animatronic de forma proporcional entre ellos, lo que permitirá que con el simple hecho de cambiar el valor de esta medida se pueda escalar el animal representado, al tamaño deseado sin perder su proporcionalidad. Al mismo tiempo y en conjunto con el sistema de mecanismos y control, se puede realizar la simulación de los movimientos básicos naturales del animatronic previamente programados. El mecanismo diseñado para cumplir con los movimientos deseados se centra en el uso de pistones neumáticos y sus respectivas electroválvulas y sensores, mientras que el sistema de control se basa en un controlador lógico programable (PLC). La sofisticación del sistema de mecanismos y del programa del PLC depende del uso o servicio que vaya a cumplir el animatronic.

Palabras clave: animatrónics, diseño asistido por computadora, PLC.

Abstract

This paper explains the design and construction of an animatronic, (specifically a jaguar) that simulates the exact representation of the animal, the decided methodology to use is to obtain a basic unit of measure that calculates each of the basic bones that form the anatomical structure of the animatronic proportionally between them, which will allow the represented animal to be scaled, simply by changing the value of this measure, to the desired size without losing its proportionality. At the same time and in conjunction with the mechanism and control system, simulation of the basic natural movements of the animatronic previously programmed can be performed. The mechanism designed to fulfill the desired movements focuses on the use of pneumatic pistons and their respective solenoid valves and sensors, while

the control system is based on a programmable logic controller (PLC). The sophistication of the mechanism system and the PLC program depends on the use or service that animatronic will fulfill.

Keywords: animatronics, computer-aided design, PLC.

1. Introducción.

Cuando se habla sobre Animatronic, se habla de la imitación de la vida animal, figuras animadas en tres dimensiones, ya sea un humano o un animal y, usualmente, del tamaño real. Cabe recalcar que estas figuras no son robots y generalmente no tienen total libertad ni recaban información de su alrededor. Los Animatronic´s son controlados y alimentados externamente y no tienen otro propósito más que entretenernos (Wesner, 2014).

Los animatronics fueron muy utilizados durante una época en la industria del cine, éstos se utilizaban para recrear criaturas mitológicas, animales y hasta seres humanos por si la escena que se deseaba filmar era muy peligrosa. Algunos ejemplos de películas que utilizaron los animatronics para sus efectos visuales son: Terminator 2, Aliens: El Octavo Pasajero, Gremlins y King Kong, por mencionar a las más populares (Astudillo y López, 2012).

Aunque en la actualidad estos dispositivos ya no son muy utilizados en la industria del cine (debido a los efectos por CGI) pueden ser utilizados en los museos o en los zoológicos, donde buscan exponer criaturas mitológicas o animales para imitar sus movimientos y comportamiento para el conocimiento y entretenimiento del público (Hernández, 2012).

2. Metodología.

Para el diseño de un Animatronic se requiere el uso de técnicas que en su totalidad cree un mecanismo que emule vida. Por lo tanto, es necesaria una investigación previa del personaje animado que se pretende crear. El análisis debe contemplar los movimientos del personaje, la movilidad de los músculos y la anatomía.

Una vez examinado el personaje se procede a las fases técnicas de creación: elemento mecánico, eléctrico y de control.

1.- La mecánica se encarga de crear la estructura y articulaciones que permitan realizar los movimientos deseados.
2.- La electrónica dota de energía al Animatronic y define los elementos de entrada y el comportamiento de las salidas.
3.- El control otorga los comandos necesarios que se deben usar para poder realizar la simulación del personaje en la vida real.

Para la creación de un muñeco de estas características se han de tener en cuenta los puntos vitales que lo pueden humanizar. Estos elementos son: la boca, los labios, los ojos, el cuello, etc., en definitiva, el movimiento muscular. Los movimientos específicos se consiguen mediante motores eléctricos, cilindros neumáticos o hidráulicos y mecanismos controlados por cable. El tipo de elemento a utilizar se decide en función de los parámetros del personaje, los movimientos concretos que se requieren y las limitaciones del proyecto.

Investigación bibliográfica.

La longitud del jaguar es de 1.70 a 2.30 m., alcanzando una altura aproximada de 0.63 a 0.76 m. cuando está parado en 4 patas, con un peso de 45 a 130 Kg. y tiene una longevidad de 20 años. Por lo que se decidió realizar una representación de 0.80 m. de largo, basados en una escala de 1 a 3 aproximadamente, esto para facilitar el transporte del proyecto a los lugares en donde fuera requerido, ver figura 1.

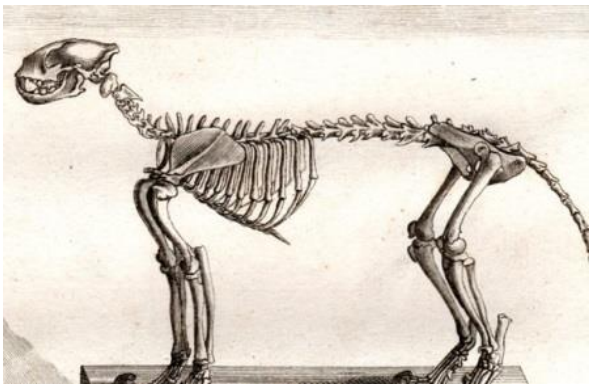


Figura 1. Fotografía del esqueleto real del jaguar.

Se diseñó una unidad de medida para representar las medidas de los huesos del esqueleto y cuidar las proporciones; Se tiene como referencia 54 unidades de largo correspondiente a 80 cm de largo del jaguar a diseñar.

$$unidad\ de\ medida = \frac{80\ cm}{54\ unidades} = 1.48\ cm/unidades$$

Por lo anterior, se determinó en cada uno de los huesos a construir la medida de estos en valores de la unidad de medida diseñada (umd), en donde su valor real estaría dado por la siguiente ecuación:

$$Medida\ en\ centimetros = (Numero\ de\ unidades)x(unidad\ de\ medida)$$

Cabe recalcar que la finalidad fundamental de la umd, es la de establecerla en el diseño de cada uno de los huesos del jaguar en el software de solidwork, lo cual permitirá obtener la estructura del jaguar de diferente tamaño con solo cambiar el valor de la umd, es decir, para el jaguar a construir la umd es de 1.48 cm y para un jaguar de tamaño original seria de 1.48 cm x 3 igual a 4.44 cm, mientras que los huesos seguirían teniendo el mismo valor de umd. De donde se deduce, el jaguar original mediría en su totalidad 54 umd, pero esta sería de 4.44cm., lo que daría una longitud de 240 cm de largo, de acuerdo a la fórmula anterior y el jaguar a construir seria de 54 umd en su totalidad con un valor de 1.48 cm. y nos daría 80 cm de largo de acuerdo a la misma fórmula.

3. Desarrollo.

Procedimiento de construcción del exoesqueleto.

Se basó todo el diseño del exoesqueleto en aluminio de tipo cuadrado, puesto que es un material muy resistente, económico y ligero, características ideales para el proyecto.

Se diseñaron los 2 fémures y las 2 tibias del animatronic para formar las extremidades traseras del jaguar y los 2 humeros y los 2 radios del animatronic para formar las extremidades delanteras del jaguar cada una con perforaciones para espárragos de 3/8'' que serán los encargados de ensamblar las piezas a la estructura final. De igual forma se diseñaron 4 piezas más que ensamblan las extremidades con la columna vertebral y permitirán libertad de movimiento, estas equivalen a, en la parte delantera la clavícula y en la parte trasera la pelvis, otras 4 piezas extras son diseñadas para anclarse a la base y sean sobre ellas que se ancle el jaguar y que conforman las 4 patas del mismo, 2 piezas más son diseñadas para anclar las extremidades traseras del jaguar a las patas ancladas en la base con capacidad de movimiento tanto en los ensambles de las extremidades como en el ensamble de las patas dando una mayor libertad a los movimientos del jaguar y que equivaldrían al tobillo de un jaguar. Todos estos elementos anteriormente mencionados determinan la altura que el jaguar alcanzara. La columna vertebral se diseñó como una unidad sólida y sin movimiento, su principal función es que las 4 extremidades se ensamblen a ella formando de esta manera el cuerpo

del jaguar, en su extremo trasero se conectara la cola del jaguar la cual hasta el momento no se le considero ningún movimiento, y en su extremo delantero se le soldó un tramo del mismo material, pero en posición vertical (extensión de la columna vertebral) con la finalidad de soportar dentro de él, al pistón de movimiento de cabeza, arriba -abajo. También en el extremo delantero de la columna vertebral y con un tramo de traslape se colocó un hueso más que conformara las vértebras cervicales (cuello) que de acuerdo al ensamblaje en el extremo de la columna vertebral está anclada, pero con capacidad de movimiento de arriba-abajo y en el extremo bolado se ensamblo el pistón rotativo que conforma el cráneo del jaguar y da movimiento de izquierda-derecha.

Cada parte, hasta este punto ya está representada y se les dio mayor interés a las zonas en donde el Animatronic tendrá movimiento, esto es básicamente, lo que se describe como hombros, rodillas y el cuello, se diseñó una configuración que permite obtener los movimientos básicos deseados. Con líneas verticales dibujadas en el cuello se referencio los puntos en donde el cuello debía coincidir con la región del pecho a los ángulos de 0 grados y aproximadamente 30 grados cuando el cuello fuese erguido.

Como se observa en la figura 2. Al llegar a la parte final del diseño del exoesqueleto, este fue montado sobre una superficie plana de madera que sirve como base. El cuello y todos los demás movimientos propuestos con anterioridad ya pueden ser simulados de manera mecánica. Cabe destacar los movimientos en codos, rodillas, caderas y hombros, que son los principales puntos en donde se centró el diseño.

Figura 2. Exoesqueleto terminado.

Las herramientas de diseño de superficies avanzadas de SolidWorks aceleraron el proceso de diseño, por lo que se ahorró tiempo y costos de desarrollo, Fue aquí donde la propuesta del diseño de una unidad básica de medida permitió ajustar automáticamente el tamaño deseado del animatronic, ver figura 3.

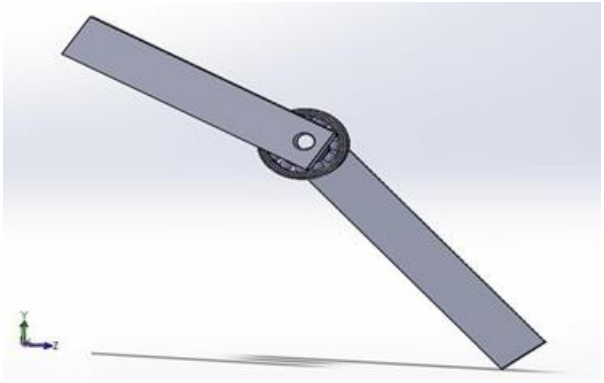


Figura 3. Diseño en solidworks del mecanismo del rodaje.

Movimientos en base a pistones.

Para el movimiento automatizado, en este caso se utilizaron dos pistones de doble efecto en forma de cruz: uno se encarga del movimiento de las patas traseras y el otro se encarga de mover las patas delanteras. Estos tienen la capacidad de mover los ejes hasta llegar a la poción de 90 grados.

También se implementó un pistón tipo rotatorio de doble efecto encargado del movimiento horizontal de la cabeza. Y un pistón de doble efecto más para el movimiento vertical de la misma, ver figura 4.

Por último, se consideró agregar un par de pistón en la articulación de las patas delanteras, para apoyo en el levantamiento del animatronic y tener una simulación natural, no considerado inicialmente.

Figura 4. Vista del exoesqueleto con el sistema neumático.

Diseño del recubrimiento con software cad (solidworks) e impresión 3D de las piezas:

Solidworks es un programa asistido por computadora que permite crear modelos mecánicos en 3D. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción, es así como se diseña cada una de las piezas que permitirá recubrir la parte del exoesqueleto del Animatronic, con la intensión de que este obtenga la forma anatómica que lo caracteriza. La medida de cada una de ellas dependió del hueso al que están cubriendo. Para el diseño de las piezas se utilizaron operaciones tales, como: superficie, planos, recubrimiento, extruir corte, redondeo, simetría, ver figura 5.

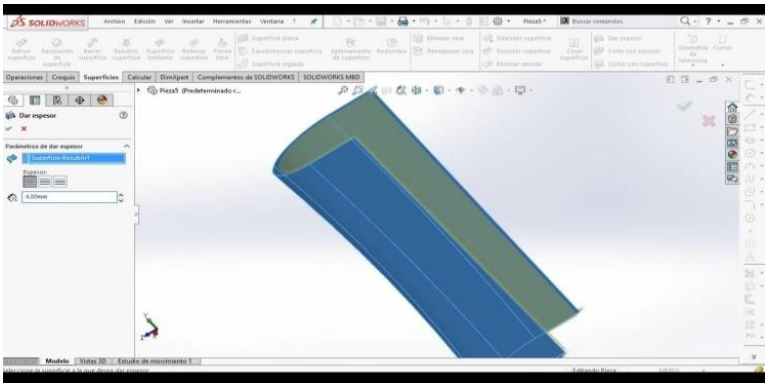


Figura 5. Diseño del recubrimiento del jaguar en solidworks.

Para llevar a cabo las impresiones de las piezas, se utilizó la impresora 3D colibrí, es una impresora hecha en México por Market trabaja con su propio software (constructor) que facilita su uso, acepta SSCAR, USB, y COM2, con una

cama de medidas X280 y Y210 mm y trabaja a una temperatura de 160°. El tiempo de impresión está de acuerdo al tamaño de la pieza, que variaron de entre 4 a 35 horas.

Como se observa en la figura 6, después de haber imprimido y limpiado las piezas fue necesario aplicar una pasta para obtener una mejor contextura. Por último, se aplicó un esmalte dorado antiguo para darle un color adecuado.

Figura 6. Producción de la cabeza del Jaguar.

Ensamblaje de las piezas y forrado.

Se realizó el proceso de ensamblaje de cada pieza impresa en su respectivo sitio para el que fue diseñado. Básicamente se llevó a cabo atornillándolos a distintos espárragos, quienes eran los encargados de darle la altura adecuada a las piezas dependiendo de su función. Por último, se agregó un forro a base de tela para darle una apariencia más realista, esta se fijó mediante un pegamento y se agregó también una tela en color verde sobre la base para simular el pasto, ver figura 7.

Figura 7. Jaguar ensamblado.

Programación del animatronic.

El animatronic del jaguar cuenta con cuatro posiciones básicas: parado, acostado, sentado y agazapado. Para cada posición se requiere la acción de dos pistones colocados en cruz en la parte delantera y trasera del animatronic, lo cual nos da hasta cuatro combinaciones posibles entre los dos (de ahí las cuatro posiciones básicas).

Se cuenta con un panel de interruptores (9 Interruptores) que tienen como objetivo enviar señales de control hacia el PLC, que posteriormente las procesara y accionara los pistones correspondientes para efectuar el movimiento programado.

La programación consta de dos modalidades: el modo manual y el modo automático (Interruptor I9 On/Off respectivamente). El modo manual consta de 8 Interruptores y cada interruptor a través del PLC accionará una electroválvula y por lo consiguiente el pistón asignado. Como se muestra en la siguiente tabla y la figura 8.

Tabla 1. Relación entre el panel de interruptores – PLC – electroválvulas de los pistones.

Entrada del PLC	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
Salida del PLC	Q0.0	Q0.1	Q0.2	Q0.3	Q0.4	Q0.5	Q0.6	Q0.7
Pistón	A1	A2	B1	B2	C	D	E1	E2

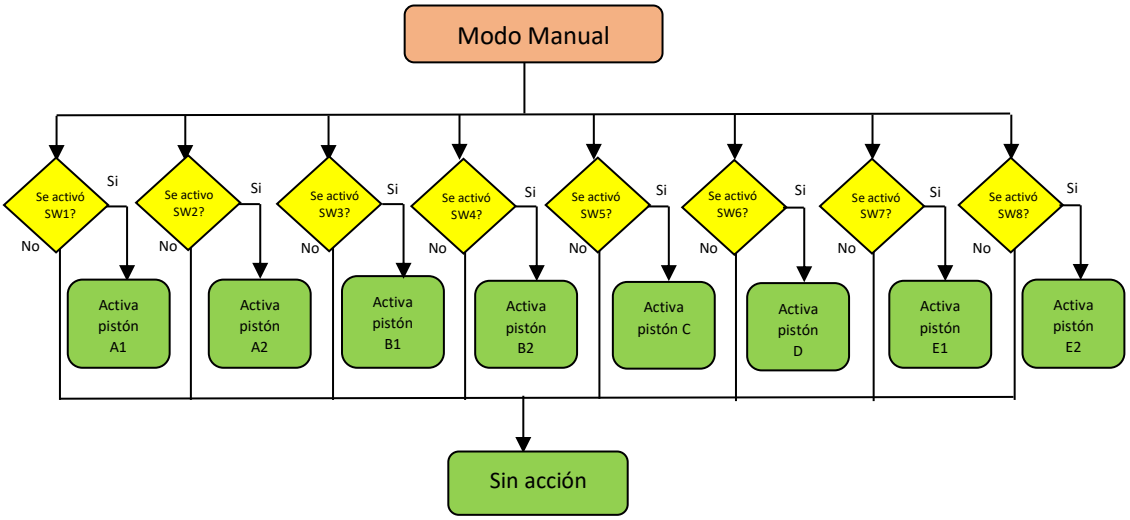


Figura 8. Diagrama de flujo de la programación en modo manual.

El modo automático utiliza el mismo panel de interruptores, pero las acciones de los interruptores van a realizar la serie de órdenes que permitan activar los pistones necesarios para las acciones básicas del jaguar; I1 Activa la secuencia de movimiento “agazapado”, I2 Activa la secuencia de movimiento “ataque”, I3 Activa la secuencia de movimiento “sentado con giro de cabeza” I4 Activa la secuencia de movimiento “sentado y cabeza arriba” , I5 Activa la secuencia de movimiento “parado en cuatro patas y movimiento de cabeza” e I8 Activa un ciclo de secuencias automáticas de todos los movimientos (show). Después de cada uno de los movimientos el jaguar regresa a su posición de “acostado”, ver la figura 9.

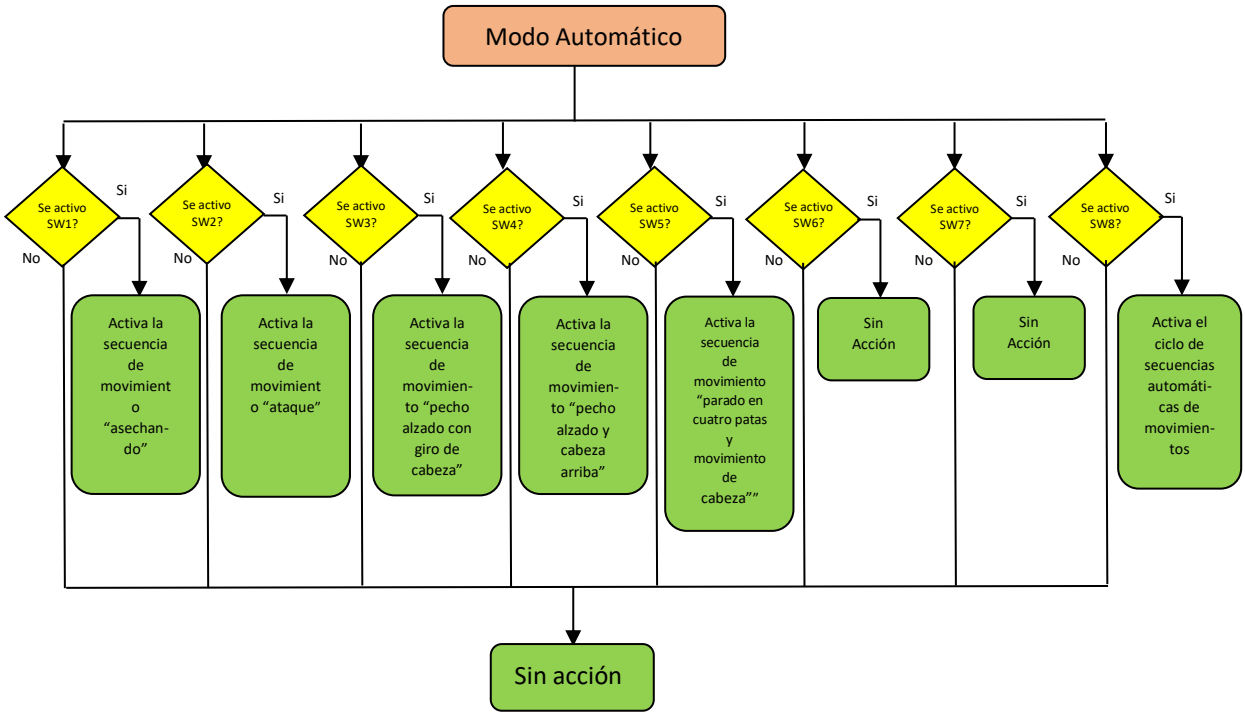


Figura 9. Diagrama de flujo de la programación en modo automática

Resultados.

Diseño y construcción de la estructura ósea.

Tabla 2. Medidas de los huesos del jaguar.

Hueso	Unidad de Medida Diseñada (umd)	Medida Real (cm)
01.- Mano	2	3
02.- Radio	12	18
03.- Humero	10	15
04.- Clavícula	3	4.5
05.- Pie	2	3
06.- Tobillo	2	3
07.- Tibia	9	13
08.- Femur	11	3
09.- Pelvis	2	3
10.- Columna Vertebral	32.5	48
11.- Extensión de la Columna Vertebral	2	3
12.- Vértebras Cervicales	5	3.5
13.- Cráneo	10	15
14.- Cola	=	15

La suma del tamaño de los huesos 01, 02, 03 y 04 prácticamente son igual a la suma del tamaño de los huesos 05, 06, 07, 08 y 09, dicha suma determina la altura del jaguar cuando está parado en 4 patas (bajo la consideración de que se pierden distancias de traslape y se ganan distancias de espacios entre el revestimiento y el hueso y el grosos del revestimiento. La suma del tamaño de los huesos 10, 12, el grosor del hueso 11 y el grosor del hueso 13 junto con la cola determinan la longitud del jaguar bajo la consideración marcada anteriormente. De lo anterior el jaguar alcanza

una longitud de 80 cm y una altura de 32 cm.

Diseño y construcción de las piezas de recubrimiento.

Figura 10. Colección de piezas diseñadas para recubrir al jaguar.

Diagrama de conexionado del sistema electro neumático:

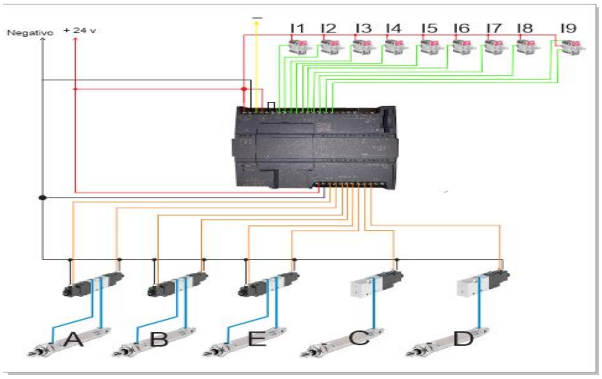


Figura 11. Diagrama de conexionado del PLC.

Jaguar terminado y realizando diferentes posiciones.

Figura 12. Jaguar en posición: a) de ataque y cabeza a la izquierda, b) parado y cabeza a la derecha y c) Agazapado.

Conclusiones.

En base a los pasos aplicados en el proyecto se cubrieron todos los objetivos que se plantearon y el Animatronic responde correctamente a todos los movimientos para el que fue programado. El aspecto anatómico natural y humanista se logró a través de los moldes aplicados.

Se lograron 4 movimientos básicos y su combinación permite realizar un show que educa y entretiene al público. Al

mismo tiempo que deja la oportunidad para poder implementar otras opciones a este. La implementación del control por medio de un PLC Simatic S7-1200 de la marca Siemens implicó la necesidad de implementar la programación con el software TIA Portal lo cual permitió se realizarán funciones para cada una de las posiciones deseadas del jaguar y estas pudieran correrse independientemente del estado anterior, lo que dio como resultado una programación basada en procedimiento, que resulta ser más sencilla y comprensible.

La visión que se tenía, ahora tiene cambios significativos debidos en gran manera al conocimiento de otras aplicaciones en Electrónica, Mecatrónica Comunicación Industrial, aplicación de Wifi, aplicaciones Android, lo cual será útil para nuestra vida profesional. Se sugiere dar continuidad a este proyecto para generar una línea de desarrollo en la parte de robótica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Referencias Bibliográficas.

Astudillo, C. y López, H. (2012). El cine y la tecnología: Animatronics. Licenciatura. Escuela Politécnica Nacional.

Hernández, C. (2012). Animatrónica, una aproximación a partir de su diseño y construcción. Licenciatura. San Buenaventura University.

Wesner, J. W. (2014). Entertainment Engineering. ETC Press 2013.

Información de los autores.

Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y colabora en la línea de investigación "Robótica" de Ingeniería electrónica, en donde ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, entre otros.

Juan Luis Gómez Escandón, Ingeniero en Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, curso la especialidad de mecatrónica, realizo su tesis profesional con el proyecto denominado "Sistema para monitoreo y control de un animatronic vía Wifi (Sistema Electro-mecánico)".

Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de Ingeniería Electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el "Club de robótica del ITTG". Colabora en la línea de investigación de "Robótica" de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en "sistemas aéreos autónomos". Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.

José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación "sistemas de control inteligentes".

Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación "Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia" junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Proyectos de investigación como 'Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar', "Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicel" en él año 2014 (financiados por Conacyt). Congresos internacionales como congreso Tecnolaser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia 'Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas'.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Certificado en SolidWorks Associate y SolidWorks Professional Avanzado, con Diplomado en Competencias para la enseñanza de las ciencias, Diplomado en Unreal Engine. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación "sistemas de control inteligentes" del I.T.T.G. y parte del grupo de investigación en la Universidad del Valle de México, con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.

Diseño y elaboración de presupuestos empresariales de una PYME manufacturera utilizando plataforma web y su comparación con el método tradicional.

Design and preparation of business budgets of a manufacturing SME using a web platform and its comparison with the traditional method.

Jacinta Luna Villalobos* (1).
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
jluna@ittg.edu.mx.

María Catalina Salgado Gutiérrez (2), Tecnológico Nacional de México, I.T. de Tuxtla Gutiérrez, msalgado@ittg.edu.mx.

Gabriela Alejandra Ríos Zúñiga (3). Tecnológico Nacional de México, I.T. de Tuxtla Gutiérrez, grios@ittg.edu.mx.

José Antonio Gómez Luna (4). Tecnológico Nacional de México, I.T. de Comitán, jose.gomez@itcomitan.edu.mx.

Nayeli Guillén Prieto (5). Estudiante, Tecnológico Nacional de México, I.T. de Tuxtla Gutiérrez, nayee_g18@htomail.com.

Carlos Fernando Rico Girón (6). Estudiante, Tecnológico Nacional de México, I.T. de Tuxtla Gutiérrez, riicoo28@gmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en agosto 09, 2019; aceptado en agosto 26, 2019.

Resumen.

Se ha hecho necesaria la transición de pequeñas y medianas empresas a la tecnología, principalmente para mejorar su estructura de costos. El objetivo de la investigación es elaborar un software de presupuestos empresariales y comparar su facilidad/velocidad contra el método tradicional. Para lograr el objetivo se hace una comparación del método tradicional contra el software, utilizando una ANOVA y una prueba de Tukey, bajo las mismas condiciones y se realiza una encuesta para conocer el grado de percepción de ambos métodos. Como resultado, se obtuvieron menores tiempos y mayor facilidad de uso al elaborar un presupuesto maestro utilizando un software especializado. La aplicación se encuentra disponible en la plataforma web ***Tulbis.com***

Palabras clave: Presupuesto maestro, software para presupuestos, tecnología para presupuestos.

Abstract.

Is necessary the transition of small and medium enterprises (SMEs) to technology, mainly to face the obstacles related to the projection of income, expenses, and the development of its cost structure. The objective of this research is to develop a business budgeting model using online software with standardized methodology that allows the elaboration of the SME's master budget. To achieve this goal, the ANOVA and Tuckey test are analyzed using the Minitab statistical tool. Results: a) The business budget preparation model for SMEs, using an online software,

reduced the development time of the financial documents with respect to the method traditionally used, and b) The business budget preparation model for SMEs, using software online is used more easily compared to the traditionally used method.

Keywords: Master budget, budget software, budget technology.

1. Introducción.

En un mundo en continuo proceso de globalización cultural, económica y financiera, se presenta a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) con ninguna o poca experiencia, el gran reto de enfrentar competidores a nivel mundial que se apoyan de tecnologías actuales, obligándolas a volcarse hacia nuevos enfoques que aseguren la generación de valor agregado para clientes y accionistas (Ramírez Padilla, 2013).

Sin embargo, las PYMES no pueden hacer frente a esta realidad debido a que desconocen por completo la forma de gestionar el comportamiento de su organización. El principal problema radica en la falta de conocimiento al intentar proyectar a futuro sus ingresos y egresos así como idear una estructura de costos, lo cual las coloca en circunstancias desventajosas, exponiéndolas de esta manera a la toma de decisiones basadas únicamente en datos contables globales o de sus estados financieros históricos, lo cual implica pérdida de precisión como de calidad en la toma de decisiones, ejerciendo una asignación irracional y descontrolada en el uso de sus recursos (Ramírez Padilla, 2013).

Al enfocarse a las cuestiones contables, uno de los problemas más significativos en las pequeñas y medianas empresas (PYMES), es que sus directivos y usuarios han utilizado a lo largo del tiempo hojas electrónicas y sistemas de información contable tradicional, sobre todo manual, que se han acostumbrado tanto a los mismos e inclusive se sienten orgullosos de su capacidad para cumplir con sus objetivos internos, lo que les impide darse cuenta de sus limitaciones, ocasionando que le sea difícil su remplazo por un sistema computarizado, más eficiente y acorde a las verdaderas necesidades de la empresa en la época actual, también denominada “era tecnológica” (Medina, Ábrego, & Cervantes, 2016).

Se ha descubierto que, muchas veces, el éxito de las grandes compañías depende de su visión y coraje para innovar y para sacar partido de las nuevas tecnologías. Dicho de otra manera, un elemento esencial de la competitividad y la sostenibilidad de las empresas es su capacidad de innovación para traducir las oportunidades generadas por los desarrollos tecnológicos en nuevas maneras para competir y lograr ventajas competitivas (EvaluandoERP, 2016). Por esta razón, las PYMES necesitan replantear sus operaciones y procesos contables adoptando estrategias innovadoras que sigan los pasos de las grandes compañías. Una oportunidad de cambio para las pequeñas y medianas empresas se encuentra en los jóvenes estudiantes, quienes están más familiarizados con la tecnología y pueden hacer grandes aportaciones para impulsar el crecimiento de estas.

Hoy en día, varios institutos de educación superior cuentan con programas de vinculación con pequeñas y medianas empresas con la finalidad de realizar mejoras dentro de las mismas y superar los diferentes obstáculos que impiden su correcto desarrollo, principalmente asociados con la estructura de costos. La vinculación universidad - empresa tiene como finalidad la transferencia de conocimiento y tecnología, que son los insumos de la economía que mueven los sistemas nacionales de innovación, por lo que un adecuado proceso de enseñanza - aprendizaje resulta fundamental para enfrentar los retos actuales (Sarabia, 2016)

Por tal motivo, y con la finalidad de mejorar el proceso de enseñanza – aprendizaje en las universidades, se hace necesario el desarrollo de softwares empresariales que analicen el futuro y el presente de los procesos productivos y financieros de PYMES, calculando las entradas y las salidas de los recursos, siendo éstos el dinero, el tiempo, los materiales, el uso de maquinaria y de espacio, entre otros (Ramírez Padilla, 2013). Este tipo de sistemas resulta beneficioso tanto para los jóvenes estudiantes que deseen adquirir nuevos conocimientos para la resolución efectiva de problemas en las organizaciones como para las PYMES que deseen expandirse y obtener una ventaja competitiva mediante softwares empresariales que tomen en cuenta todas las áreas de la empresa, en su correcta aplicación, y que ayuden a establecer medidas de prevención, planeación y corrección, es decir, tener las condiciones adecuadas para

obtener los resultados esperados de forma sistemática y anticipada durante un periodo determinado y que además, resulte de fácil manejo y estabilidad.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es desarrollar un software de presupuestos empresariales con metodología estandarizada y comparar su facilidad/velocidad contra el método utilizado tradicionalmente por las escuelas y las PYMES. El proceso para alcanzar la meta se abordará en el presente documento de forma estructurada, basando su desarrollo en la revisión literaria, el método de investigación y trabajo de campo, para finalizar con resultados, conclusiones y discusiones.

2. Métodos.

Se presenta la hipótesis de trabajo que se probará en el estudio: H1: El software de presupuestos empresariales para PYMES, en comparación con el método tradicional, será capaz de reducir el tiempo de desarrollo de los documentos financieros dentro de una micro, pequeña o mediana empresa, facilitando la toma de decisiones a corto y mediano plazo.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un software de presupuestos empresariales con metodología estandarizada y comparar su facilidad/velocidad contra el método utilizado tradicionalmente por las escuelas y las PYMES. Atendiendo dicho objetivo, se seleccionó una muestra de estudio constituida por 3 docentes del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas que pertenecen a la carrera Ingeniería en Gestión Empresarial y tienen gran experiencia en la realización de presupuestos de manera tradicional a través de la herramienta Excel. Asimismo, pertenecen a la muestra de estudio 3 alumnos del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas que pertenecen a la carrera Ingeniería en Gestión Empresarial y poseen conocimientos necesarios para elaborar presupuestos de forma tradicional.

A todas las personas que integran la muestra se les aplicaron dos diferentes herramientas de medición: observación con medición y encuesta de facilidad de uso.

Antes de ejecutar dichas herramientas, fue necesario establecer las variables independientes y dependientes que sustentaron la hipótesis de investigación:

Variables independientes.

- **El método:** corresponde a la manera en la que se estructura el presupuesto, es decir cómo se determinan y se desarrollan los cálculos de este. Dentro del método se encuentran dos niveles diferentes: tradicional, el cual hace referencia al método actual para el desarrollo del presupuesto en el que intervienen un tiempo determinado de realización y el propuesto, que permite realizar mejoras efectivas de la investigación en un tiempo mucho más corto al tradicional.
- **El usuario:** son las personas que intervienen para la realización de un presupuesto y se caracterizan por tener conocimientos previos para la realización de este. Dentro del usuario se encuentran dos niveles diferentes: el primero es alumno, estudiantes de nivel superior de entre 20-23 años pertenecientes a la carrera “Ingeniería en Gestión Empresarial” del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, que tengan conocimientos previos a la realización de presupuestos, y el segundo, es maestro o docente, personal de la carrera de “Ingeniería en Gestión Empresarial” del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez que tengan gran conocimiento o impartan clases de presupuesto maestro.

Variables dependientes.

Se establecieron dos variables de respuestas significativas para la investigación con el fin de corroborar la factibilidad en la utilización del modelo propuesto y así establecer una comparativa real. Las dos variables son:

- **El tiempo:** Se pretende mejorar de manera significativa el tiempo para la realización de un presupuesto maestro, el cual tradicionalmente ha sido elaborado de forma manual con programas básicos del paquete de Office.

- **Facilidad de uso**: Conocer, desde la perspectiva de los usuarios al emplear el sistema Digital, la facilidad o complejidad de este. Con ello se pretende comparar y verificar que es más factible utilizar el modelo propuesto.

Una vez definidos los indicadores, las variables y la hipótesis, se procedió a la correcta aplicación de las herramientas de medición que se detallan a continuación:

Observación con medición.

Los docentes y alumnos fueron situados en un cuarto cómodo, climatizado y con gran espacio para realizar un presupuesto maestro, específicamente de una empresa encargada de la elaboración de productos, mediante el método que tradicionalmente emplean y el método propuesto en esta investigación con la finalidad de comparar los resultados y comprobar que la hipótesis planteada es correcta. Durante la elaboración del presupuesto maestro con el método tradicional se utilizaron computadoras con sistema Windows e IOS de 64 y 32 bits, así como el programa Excel para la correcta realización de tablas y cálculos, teniendo una duración aproximada de 4 horas, la cual fue medida con un cronómetro. Durante la elaboración del presupuesto maestro con el método propuesto (Software Empresarial) se utilizaron computadoras con sistema Windows e IOS de 64 y 32 bits utilizando el buscador Chrome durante un periodo estimado de 2 horas, el cual fue medido con un cronómetro.

Encuesta de facilidad de uso.

Al finalizar la prueba de observación y medición, los docentes y alumnos fueron invitados a responder unas preguntas de percepción con la finalidad de conocer qué método es más fácil de usar de acuerdo con su experiencia. Las respuestas fueron grabadas mediante un teléfono celular, específicamente iPhone 7 con una duración aproximada de 5 minutos por usuario.

Después de llevar a cabo la aplicación de los instrumentos y los análisis respectivos (ANOVA y prueba de Tuckey) mediante la herramienta estadística Minitab versión 16 se obtuvieron los resultados que se presentan en el siguiente capítulo.

3. Desarrollo.

Después de llevar a cabo la aplicación del modelo mediante la herramienta estadística de Minitab, en donde se tomó en consideración el tamaño de la muestra en el estándar de lo recomendado. A continuación, se presentan los siguientes resultados:

Tiempo.

Modelo lineal general: tiempo VS. Usuario, Método

Método.
1. Codificación de factores (-1, 0, +1).
2. Información del factor.

Tabla 1. Tiempo vs usuario.

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Usuario	Fijo	2	Alumno, Docente
Método	Fijo	2	Manual, Software

3. Análisis de varianza.

Tabla 2. Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Usuario	1	12.0	12.0	0.04	0.848
Método	1	31827.0	31827.0	102.90	0.000
Error	9	2783.7	309.3		
Falta De Ajuste	1	0.3	0.3	0.00	0.976
Error Puro	8	2783.3	347.9		
Total	**11**	**34622.7**			

4. Resumen del modelo.

Tabla 3. Resumen.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
17.5868	91.96%	90.17%	85.71%

En el ANOVA se muestra que, si hay diferencia significativa en algunos tratamientos, para eso se realizó la prueba de Tukey, que determinó cual.

Comparaciones con Método Tukey.

Comparaciones por parejas de Tukey: **USUARIO.**

a) Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 4. Tukey Usuario.

Usuario	N	Media	Agrupación
Docente	6	140.667	A
Alumno	6	138.667	A

Interpretación: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes por lo que no impactó en el resultado del tiempo, razón por la cual tienen la misma letra.

Comparaciones por parejas de Tukey: **MÉTODO.**

b) Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

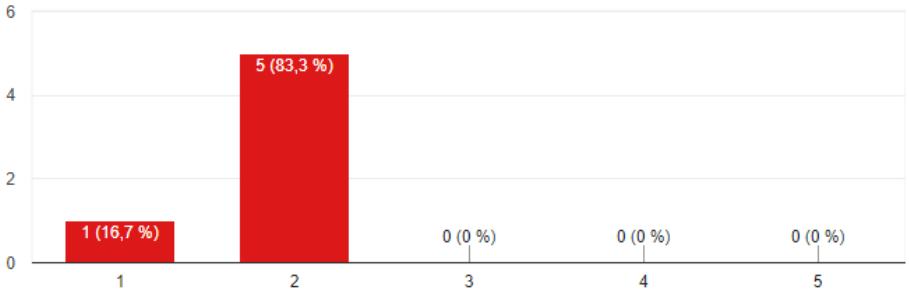
Tabla 5. Tukey Método.

METODO	N	Media	Agrupación	
Manual	6	191.167	A	
Software	6	88.167		B

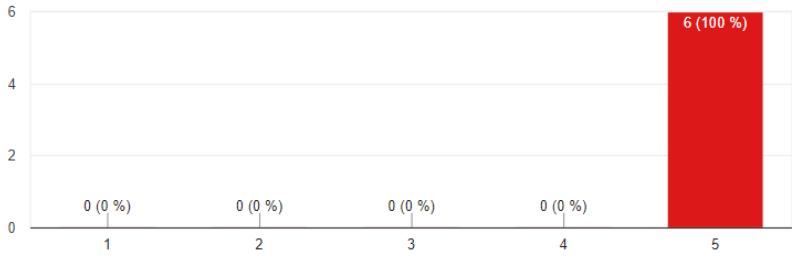
Interpretación: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Se confirma la hipótesis planteada ya que, el método usado si tiene impacto en la media del tiempo de terminación del presupuesto; afirmando que el software reduce de manera significativa la media.

Facilidad de uso.

De acuerdo con las preguntas que se realizaron en el cuestionario a los usuarios que ya utilizaron los dos métodos para la realización de presupuestos empresariales, se observó de manera clara que es más fácil usar el software especializado en comparación del modelo manual. Por lo tanto, es recomendable y de mayor entendimiento el usar el sistema especializado.



Gráfica 1. Resultado del uso de método manual.



Gráfica 2. Resultado del uso de método de software.

Conclusiones.

Las PYMES forman parte importante de la economía de nuestro país, quienes presentan grandes retos al enfrentarse con las grandes compañías que dominan el mercado. Por ello, buscan apoyo en los sistemas de vinculación con instituciones de nivel superior quienes captan el talento de jóvenes para ayudar a estas pequeñas y medianas empresas.

Los resultados obtenidos indican que la utilización de un software especializado ayuda en la realización de cálculos exactos y brinda un mejor apoyo a las PYMES al reducir considerablemente el tiempo de elaboración de un presupuesto maestro comparado con el método empleado tradicionalmente. Aunado a esto, se constató que el sistema especializado es fácilmente manipulable para los usuarios, lo que permite una mejor comprensión de los datos

capturados y de la información obtenida en la plataforma. Con la aplicación de este software en las universidades, los convenios formados con las PYMES se fortalecerán y se logrará el apoyo a más empresas debido a que, los procedimientos manuales podrán ser reemplazados con sistemas especializados que ahorren de forma efectiva el tiempo de realización.

Los resultados reafirman los objetivos centrales de la investigación y confirma la hipótesis a analizar y cuestionar. Es evidente que el uso de un software mejora en un 46.12% en el tiempo de realización lo cual aumenta el nivel de confianza en un sistema viable al modelo tradicional y además permite utilizarlo de forma práctica.

Créditos y agradecimientos.

Los autores dan créditos y agradecen al Instituto Tecnológico perteneciente al Tecnológico Nacional de México por todas las facilidades y apoyo para la realización de este proyecto-

Referencias Bibliográficas.

EvaluandoERP. (19 de Enero de 2016). *EvaluandoERP*. Obtenido de EvaluandoERP: http://www.evaluandoerp.com/consecuencias-competitivas-de-uso-de-tic-en-pyme/

Medina, J., Ábrego, D., & Cervantes, L. (2016). Calidad de los sistemas de información contable para la eficiente toma de decisiones de sus usuarios. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*.

Ramírez Padilla, D. (2013). *Contabilidad Administrativa.* México, D.F.: Mc Graw Hill.

Sarabia, G. (2016). La vinculación universidad-empresa y sus canales de interacción desde la perspectiva de la academia, de la empresa y de las políticas públicas. *CienciaUAT*. Obtenido de Scielo.

Información de los autores.

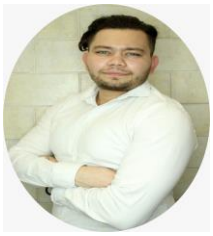
La maestra **Jacinta Luna Villalobos** es Contadora Pública con maestría en Administración. Actualmente trabaja como docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en la carrera de Ingeniería en gestión empresarial. Es investigadora líder con perfil PRODEP habiendo participado en diversos proyectos de innovación, donde ha obtenido premios a nivel local, regional y nacional. También funge como asesora de proyectos para el Centro de Incubación Empresarial del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

María Catalina Salgado Gutiérrez, es graduada como Ingeniera en Electrónica en 2007 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestra en Administración en 2013 por la Universidad Valle de México. Trabaja como docente del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente es Jefa del departamento de Ciencias Básicas. Forma parte del Cuerpo Académico (ITTUXG-CA-10) Gestión Estratégica enfocada a las Pymes, desde agosto 2018. Es perfil PRODEP a partir de octubre 2018. Tiene dos certificaciones en competencias laborales en el estándar de competencias por CONOCER. Cuenta con tres diplomados, para la formación y desarrollo de competencias docentes en 2012 por CIIDET, en recursos educativos en ambientes virtuales de aprendizaje y de tutorías en 2016 por el Tecnológico Nacional de México. Colabora en el departamento de Ingeniería en Gestión Empresarial y participa en proyectos relevantes de investigación desde el 2014.

La Doctora **Gabriela Alejandra Ríos Zúñiga** es Ingeniera Industrial con Doctorado en Administración y Maestría en Administración de Negocios. Actualmente es docente del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en la carrera de Ingeniera en Gestión Empresarial. Tiene el perfil PRODEP.

El maestro **José Antonio Gómez Luna** es Ingeniero en industrias alimentarias y cuenta con una maestría en biotecnología. Actualmente trabaja como docente de medio tiempo en el instituto tecnológico de Comitán, Chiapas en la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Ha colaborado en proyectos de investigación del TecNM.

Nayeli Guillén Prieto es Ingeniero en Gestión Empresarial egresada del Tecnológico Nacional de México (Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez) y actualmente se desempeña como Gerente de Calidad en la empresa Automotriz Farrera S.A. de C.V. (Chevrolet) en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Ha participado en varios proyectos locales de investigación cuyo aporte se ha visto reflejado en ámbitos educativos y empresariales.



Carlos Fernando Rico Girón es Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ha realizado capacitaciones en el ámbito de desarrollo de software tanto para principiantes como temas de carácter avanzado, participo en el concurso de innovación tecnológica llegando a la etapa nacional con el proyecto Unipymes, al mismo tiempo ha desarrollado otros proyectos e iniciativas propias de innovación tales como, Twin red social para la asesoría de alumno a alumno, Tuxmapa aplicación para encontrar tu mejor ruta de transporte colectivo y Tulbis plataforma web para el desarrollo de presupuesto maestro, actualmente se encuentra laborando en la empresa Corporativo Tuxmapa S.A. de C.V. como como jefe de desarrollo externo para empresas.

DWR2NoSQL: Herramienta para transformar *Data Warehouse*s Relacionales a *Data Warehouse*s *NoSQL*.

DWR2NoSQL: Tool to transform Data Warehouses Relational to Data Warehouses NoSQL.

Francisco Javier Cartujano Escobar* (1).
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zacatepec.
francisco.ce@itzacatepec.edu.mx.

Leticia Santa Olalla Ocampo (2). Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zacatepec.
leticia.so@itzacatepec.edu.mx.

José Pedro Aragón Hernández (3). Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zacatepec.
jpedroah@live.com.mx.

María Fernanda Silva Reyna (4). Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zacatepec.
mafersilva16.ms@gmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en junio 14, 2019; aceptado en julio 01, 2019.

Resumen.

Una de las tecnologías más importantes en el área de los sistemas de información, es la tecnología referente a los Data Warehouses, también conocidos como almacenes de datos o bodegas de datos. Como es sabido, un Data Warehouse es una enorme base de datos con datos históricos, generalmente de lectura, cuyo propósito principal es apoyar el proceso de toma de decisiones en las organizaciones. El modelo relacional ha sido el modelo de datos tradicionalmente usado para implementar la base de datos de un Data Warehouse, pero debido a que hoy en día se generan grandes cantidades de datos que demandan gran capacidad de almacenamiento y de computo, dichos Data Warehouses relacionales han sido superados. Por esta razón, se hace necesario que nuevos paradigmas para implementación de Data Warehouses sean explorados. La tecnología de bases de datos NoSQL orientada a documentos se presenta como una opción a esta problemática. En este artículo, se describe el desarrollo y funcionalidad de una herramienta computacional, que ha sido bautizada con el nombre de DWR2NoSQL, cuyo propósito principal es transformar de manera automática un Data Warehouse relacional a un Data Warehouse orientado a documentos. Esta herramienta computacional forma parte de los resultados de un proyecto de investigación financiado por el Tecnológico Nacional de México.

Palabras clave: Almacén de Datos, Bases de datos *NoSQL*, Transformación automática de esquemas.

Abstract.

Data warehouses is one of the most important technology of information systems. As it is known, a Data Warehouse is huge database with historical data, mainly for reading processes, whose principal purpose is to support the decision-making process in organizations. Traditionally, the relational data model has been the model used to implement the data warehouse database but due to the large amounts of data currently being generated, which demand a large storage and computing capacity, such relational Data Warehouses have been overcome. For this

reason, it is necessary that new paradigms for the implementation of Data Warehouses be explored. The NoSQL document-oriented database technology is an option to this problem. In this paper, we describe the development and functionality of a software, which has been named DWR2NoSQL, whose main purpose is to automatically transform a relational Data Warehouse to a document-oriented Data Warehouse. DWR2NoSQL is part of the results of a research project funded by Tecnológico Nacional de México.

Keywords: Data Warehouse, NoSQL Database, Schemes Automatic Transformation.

1. Introducción.

Una de las tecnologías computacionales mayormente utilizada en el apoyo a la toma de decisiones son los *Data Warehouses*, cuyo término en español es almacén de datos o también bodega de datos, y es como su nombre lo dice, el contenedor de datos que permite a las corporaciones almacenar toda lo información que requieran para apoyar su toma de decisiones.

Tradicionalmente los *Data Warehouse* han sido modelados y operados con tecnología relacional, pero debido a que actualmente hay una generación excesiva de datos y una gran variedad de los mismos, dichos *Data Warehouse*s tradicionales enfrentan problemas para satisfacer la capacidad y velocidad de procesamiento que demandan esa ola masiva de datos. La tecnología de bases de datos *NoSQL* se presenta como una opción a esta problemática.

Una característica muy importante de las bases de datos *NoSQL* es la capacidad de escalarse horizontalmente, tanto en almacenamiento como en procesamiento. Y es debido a esta característica que los sistemas *NoSQL* ofrecen ventajas sobre los sistemas relacionales, particularmente en lo que se refiere a los *Data Warehouse*s, ya que estos implementados mediante bases de datos *NoSQL* no tendrían problemas de escalarse horizontalmente al momento de requerir más espacio o mayor poder de cómputo.

En particular las bases de datos *NoSQL* Orientadas a documentos se presentan como una de las opciones más viables para implementar un *Data Warehouse* no relacional.

El presente artículo tiene como objetivo principal describir el desarrollo y utilización de una herramienta computacional que permite transformar de manera automática cualquier *Data Warehouse* relacional implementado bajo el modelo de estrella a diferentes modelos equivalentes *NoSQL* orientados a documentos. La herramienta computacional desarrollada ha sido bautizada con el nombre de *DWR2NoSQL*.

La herramienta descrita en este artículo forma parte de los resultados obtenidos en el desarrollo de un proyecto autorizado y financiado por el Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Antecedentes.

A la fecha se han realizado pocos trabajos relacionados a la problemática expuesta. En los siguientes párrafos se describen algunos de dichos trabajos.

En (Yangui et al., 2016) se presenta un conjunto de reglas de transformación del esquema de estrella de un *Data Warehouse* a un modelo de datos *NoSQL* orientado a documentos, pero considera solamente una sola posible opción de transformación.

(Chevalier et al., 2015) presenta un esquema de transformación de la malla de datos de un *Data Warehouse* relacional a una malla de datos *NoSQL* orientada a documentos, al igual que (Yangui et al., 2016), considera solamente una sola posible opción de transformación.

Por su parte en (Rocha, 2015) se describe un marco de trabajo para transformar bases de datos relacionales a bases de datos *NoSQL* orientada a documentos. Implementa una herramienta que permite migrar una base de datos relacional

a una base de datos orientada a documentos. Dicho trabajo no contempla la transformación de los modelos específicos de un *Data Warehouse* (estrella, copo de nieve, constelación de hechos)

Otros trabajos como (Dehdouh, 2015) y (Dehdouh, 2014) describen la transformación de un *Data Warehouse* relacional a un modelo *NoSQL* orientado a columnas, es decir un modelo *NoSQL* diferente al que nosotros proponemos.

2. Métodos.

2.1 Fundamento teórico.

Un componente esencial de un *Data Warehouse* lo constituye una enorme base de datos, ejecutando principalmente procesos de consulta y diseñada tradicionalmente bajo el modelo de datos relacional.

A nivel conceptual, la base de datos de un *Data Warehouse*, se diseña mediante un modelo multidimensional, en el cual existen dos elementos esenciales (Kimball, 2008):

a) Dimensiones: Son las entidades bajo las cuales se desea analizar la información, por ejemplo: clientes, productos, sucursales. Una dimensión muy importante y casi presente en todo modelo multidimensional, es la dimensión tiempo, con la finalidad de analizar por diferentes periodos de tiempo.

b) Hechos: Son los datos que se desean analizar, normalmente son valores numéricos, ya que un procesamiento común sobre ellos es sumarlos, promediarlos, obtener el máximo, el mínimo, entre otros. Ejemplos de hechos son: cantidad vendida por vendedor, existencia en el almacén de cierto producto.

A nivel lógico, existen tres modelos de datos relacionales para representar el modelo multidimensional de un *Data Warehouse*: a) modelo de estrella, b) modelo de copo de nieve y c) constelación de hechos (Mishra 2008). El más utilizado de ellos es el modelo de estrella, por lo que en este artículo es el que se referencia. En este modelo existe una sola tabla que almacena a los hechos y varias tablas dimensiones no normalizadas. Todas las tablas dimensiones se relacionan a la tabla de hechos, de tal forma que la tabla de hechos tiene una llave compuesta por las llaves heredadas de todas las tablas dimensiones. Una instancia de este modelo es mostrada en la figura 1.

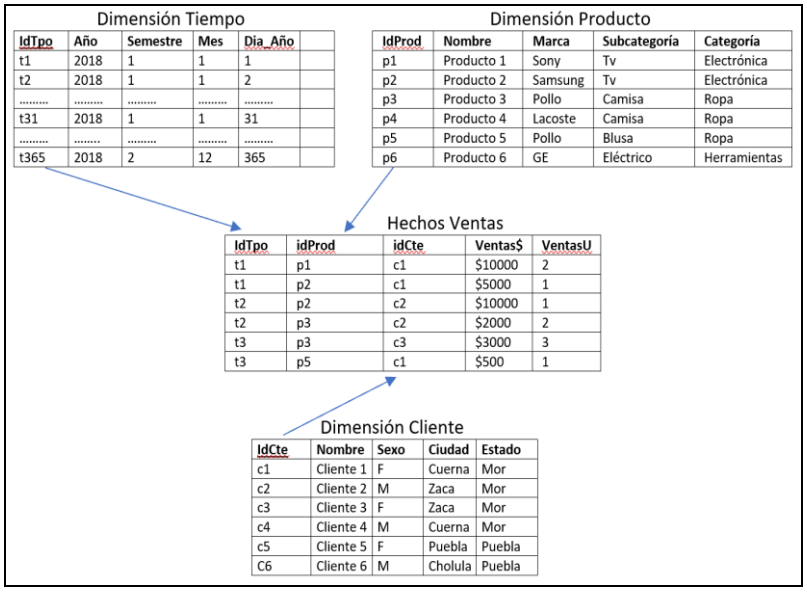


Figura 1. Instancia de un *Data Warehouse* relacional bajo el modelo de estrella.

Actualmente, existen 4 tipos de modelos de bases de datos *NoSQL*. Uno de ellos es el modelo soportado por las bases de datos orientadas a documentos que tienen las siguientes características:

- Almacenan los datos en documentos (en su forma más común: texto simple).
- Los documentos en su forma más simple están compuestos por duplas de clave-valor y pueden tener cualquier número de duplas sin necesidad de que los documentos tengan la misma estructura.
- Una colección es un conjunto de documentos. Los documentos dentro de una colección pueden tener estructuras diferentes.
- Haciendo alusión a las bases de datos relacionales, una colección sería una tabla, los documentos serían las tuplas, y las duplas clave-valor sería el campo con su respectivo valor.

2.2 Análisis.

Se ha realizado un análisis de las posibles formas en que un Data Warehouse puede ser modelado mediante bases de datos NoSQL orientadas a documentos. En este artículo se describen cuatro posibles representaciones y únicamente considera el modelo de estrella, pero las reglas establecidas para este modelo podrían sentar las bases para transformar los modelos de copo de nieve y de constelación de hechos. Para cada representación propuesta se establece el algoritmo, es decir el conjunto de reglas, para mapear un modelo de estrella relacional a cada modelo multidimensional NoSQL orientado a documentos generado por esta investigación.

2.2.1 Modelo Aglomerado.

En este modelo toda la información referente a un hecho se encuentra en un documento con atributos simples. Para generar este modelo aplicar el algoritmo 1 de transformación:

Algoritmo 1. Transformación de Estrella Relacional a Modelo Aglomerado *NoSQL*.

a) Representar a todo el modelo multidimensional por una colección *C*.
b) Para cada tupla de la tabla de hechos, denotada por T^H realizar lo siguiente:
   i. Crear un documento, denotado por D^H.
   ii. Para cada dimensión *i*, con llave K_i, referenciada en T^H, anidar en el documento D^H todos los pares <atributo, valor> de la tupla en la tabla dimensión *i* cuya llave es K_i
   iii. Anidar en D^H cada hecho contenido T^H. Cada hecho es anidado en D^H por el par <atributo,valor>
   iv. Anidar D^H en C.

2.2.2 Modelo por Subdocumentos.

Una de estas posibles representaciones la hemos llamado “Modelado por subdocumentos”. En este modelo se aplica el algoritmo 2 de transformación:

Algoritmo 2. Transformación de Estrella Relacional a Modelo por subdocumentos *NoSQL*

a) Representar a todo el modelo multidimensional por una colección *C*.
b) Para cada tupla de la tabla de hechos, denotada por T^H realizar lo siguiente:
   i. Crear un documento, denotado por D^H
   ii. Crear un atributo cuyo nombre es igual al nombre de la tabla de hechos, denotemos a dicho atributo por A^H. El valor de A^H es un documento que anida a todos los hechos de T^H, cada hecho será representado con el par <atributo,valor> anidado en A^H. Anidar a A^H dentro de D^H.
   iii. Para cada dimensión *i* referenciada en T^H con llave K_i crear un atributo cuyo nombre es igual al nombre de la tabla dimensión, denotemos a dicho atributo A^D. El valor de A^D es un documento que anida a todos los pares <atributo, valo> de la tupla en la dimensión *i* cuya llave es *Ki*. Anidar a A^D dentro de D^H.

iv. Anidar D^H en C.

2.2.3 Modelo de Arreglos.

En este modelo de arreglos, todas las tuplas de una tabla en particular del modelo se almacenan en un arreglo, anidado dentro de un documento que representa a dicha tabla en particular, de esta forma, la colección tiene un documento por cada tabla del modelo multidimensional. Este modelo orientado a documentos se genera de acuerdo al algoritmo 3 de transformación

Algoritmo 3. Transformación de Estrella Relacional a Modelo de Arreglos *NoSQL*.

a) Representar a todo el modelo multidimensional por una colección C
b) Para cada dimensión i, realizar lo siguiente:
   i. Crear un documento, denotado por D^D
   ii. Anidar en D^D un atributo cuyo nombre es igual de la tabla dimensión i; denotemos a dicho atributo por AD_i
   iii. El valor del atributo AD_i es un arreglo que contiene en cada posición un documento, denotado por D^T, que representa a cada tupla de la tabla dimensión i. El documento D^T está formado por pares simples de <atributo, valor> que representan a los atributos de una tupla de la dimensión i.
   iv. Anidar D^D en C
c) Para la tabla de hechos, realizar lo siguiente:
   i. Crear un documento, denotado por D^H
   ii. Anidar en D^H un atributo cuyo nombre es igual de la tabla de hechos; denotemos a dicho atributo por A^H
   iii. El valor del atributo A^H es un arreglo, que contiene en cada posición un documento, denotado por D^T, que representa a cada tupla de la tabla de hechos. El documento D^T está formado por pares simples de <atributo, valor> que representan a los atributos de una tupla de la tabla de hechos.
   iv. Anidar D^H en C

2.2.4 Modelo Multi-Colecciones.

En este modelo que le hemos llamado Multi-Colecciones, se crea una colección para cada tabla del modelo multidimensional y en cada una de dichas colecciones se anida un documento por cada tupla de la tabla en cuestión. Así que para transformar un modelo multidimensional relacional al modelo Multi-Colecciones se aplica el algoritmo 4 de transformación:

Algoritmo 4. Transformación de Estrella Relacional a Modelo Multicolecciones *NoSQL*.

a) Representar a cada tabla dimensión Di cuyo nombre es N por una colección denotada por C^{DN}.
b) Para cada tupla, denotada por T^D, de la dimensión Di:
   i. Crear un documento, denotado por D^D
   ii. Cada par <atributo,valor> de T^D, anidarlo dentro de D^D
   iii. Anidar el documento D^D dentro de C^{DN}.
c) Representar la tabla de hechos cuyo nombre es N por una colección denotada por C^{HN}.
d) Para cada tupla, denotada por T^H, de la tabla de Hechos:
   i. Crear un documento, denotado por D^H
   ii. Cada par <atributo,valor> de T^H, anidarlo dentro de D^H
   iii. Anidar el documento D^H dentro de C^{HN}.

3. Desarrollo.

3.1 Arquitectura del Sistema.

En la figura 2 se muestra la arquitectura del sistema desarrollado.

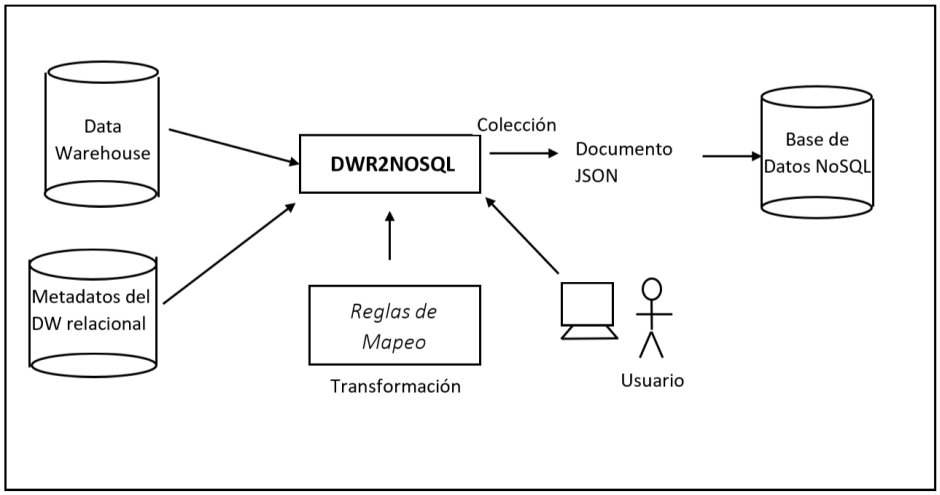


Figura 2. Arquitectura del sistema.

De acuerdo a la figura 2, el sistema opera de acuerdo a las siguientes actividades:

Paso 1: *DWR2NoSQL* accede al diccionario de datos para obtener información de las bases de datos que están definidas en el *DBMS* que almacena el *Data Warehouse* que se desea transformar a una base de datos multidimensional *NoSQL* orientadas a documentos.
Paso 2: El usuario selecciona el *Data Warehouse* relacional a transformar.
Paso 3: *DWR2NoSQL* aplica las reglas de transformación al *Data Warehouse* relacional seleccionado para generar el modelo multidimensional *NoSQL* deseado.
Paso 4: Una vez transformado el modelo, los documentos generados en formato *JSON* (JSON, 2019) se almacenan en la base de datos *NoSQL* orientado a documentos.

3.2 Diseño del Sistema.

DWR2NoSQL principalmente está formado por tres módulos los cuales se explican a continuación:

3.2.1 Módulo de Conexiones a bases de datos.

Este módulo establece la conexión al diccionario de datos del gestor de bases de datos relacional con el fin de recuperar información de las bases de datos almacenadas en él. Tal información comprende: nombre de la base de datos, nombres de tablas que conforman a la base de datos, atributos que conforman a cada tabla, atributo(s) llave(s) de cada tabla, relaciones entre tablas, entre otras cosas.

Una vez recuperada la información del diccionario de datos y seleccionada la base de datos del *Data Warehouse* a transformar, este módulo detecta de manera automática las tablas dimensiones y la tabla de hechos asociadas al modelo multidimensional de estrella seleccionado, así como las llaves de cada tabla y las relaciones entre ellas. Esta información es necesaria para poder transformar el *Data Warehouse* relacional al modelo *NoSQL* orientado a documentos deseado.

El manejador de bases de datos relacional utilizado en este proyecto fue MySQL y el manejador *NoSQL* orientado a documentos fue MongoDB.

3.2.2 Módulo de Transformación.

El segundo módulo, el cual es el principal en esta herramienta, es el que transforma de manera automática el contenido del *Data Warehouse* relacional a una base de datos equivalente *NoSQL* Orientada a documentos en formato *JSON*. La herramienta permite transformar a cualquiera de los cuatro modelos *NoSQL* orientado a documentos descritos previamente en la sección 2.2, aplicando el algoritmo de transformación pertinente definido en dicha sección.

3.2.3 Módulo de exportación a la base de datos *NoSQL*.

Por último, el tercer módulo de esta herramienta, permite que una vez generado todo el *Data Warehouse* orientado a documentos en formato *JSON*, se exporte dicho archivo *JSON* al manejador de bases de datos orientado a documentos *MongoDB* o se almacene en el sistema de archivos del sistema computacional.

3.3 Implementación del Sistema.

Para la implementación de la herramienta *DWR2NoSQL* se utilizó el siguiente software:

- Manejador de base de datos *MySQL* versión 5.7
- Manejador de base de datos *NoSQL* orientadas a documentos *MongoDB* versión 4.0
- Cliente gráfico para *MySQL*, *Workbench* versión 8.0
- *Netbeans IDE* versión 8.2. para el desarrollo del sistema en java.
- Java SE versión 8 para la implementación en código java de los modelos *NoSQL* orientados a documentos propuestos en este artículo.
- *BSON* versión 3.6.3 y *GSON* versión 2.6.2 (ambos paquetes *Jar*) utilizados para el manejo de los documentos en formato *JSON*.
- *mongo-driver* versión 3.6.3 y *mongo-driver-core* 3.6.3 (ambos paquetes jar) para almacenar en la base de datos *MongoDB* los documentos *JSON* generados.
- Conector JDBS de *MySQL JDBC*, *Driver-mysql-connector-java-5.1.23-bin.jar*, para la conexión al gestor de bases de datos de *MySQL*

Es conveniente comentar que se desarrollaron una serie de generadores de datos para insertar automáticamente información en las diferentes tablas del *Data Warehouse* relacional, esto con la finalidad de generar diferentes versiones del mismo *Data Warehouse*, pero con diferentes números de tuplas en cada una de las tablas dimensiones y de hechos del *Data Warehouse*.

3.4 Interfaz del Sistema.

En la figura 3 se muestra la pantalla principal de *DWR2NoSQL*.

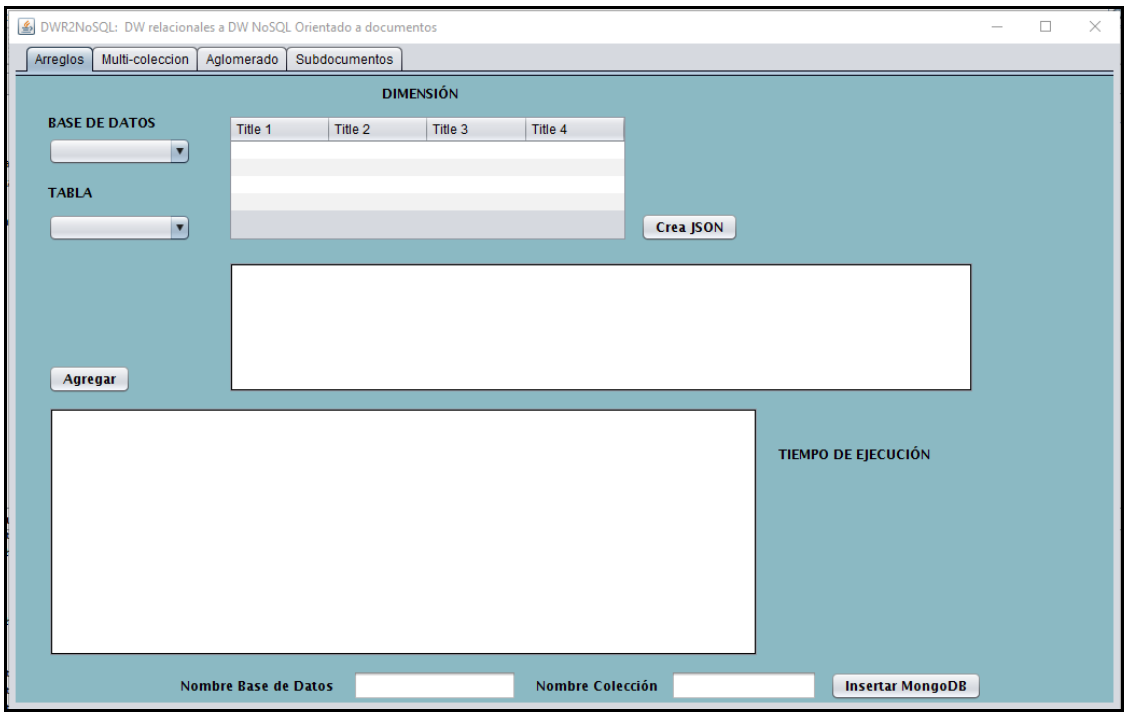


Figura 3. Interfaz de la herramienta *DWR2NoSQL*

Como se ve en la figura 3, en la parte superior de la interfaz se muestra un menú en forma de pestañas con las diferentes opciones para generar los cuatro diferentes modelos multidimensionales *NoSQL*.

De acuerdo al modelo seleccionado, la interfaz cambia ligeramente para mostrar las opciones pertinentes para cada uno de ellos, pero de manera general el sistema se comporta de acuerdo a lo descrito en los siguientes párrafos.

La interfaz muestra un *Combo Box* (debajo de la etiqueta *Base de Datos*) para seleccionar la base de datos del *Data Warehouse* relacional a transformar. Una vez seleccionada dicha base de datos se muestran, en el *Combo Box* correspondiente (debajo de la etiqueta *Tablas*), las tablas que componen a dicho modelo dimensional, es decir las tablas dimensiones y la de hechos.

El botón *Crear JSON* transforma las tablas del *Data Warehouse* relacional al formato *JSON* de acuerdo al modelo seleccionado por el usuario y dicho formato *JSON* se muestra en el área de texto de la parte inferior de la pantalla.

El botón *Insertar MongoDB* exporta el modelo multidimensional *NoSQL* orientado a documentos generado, a la base de datos y a la colección definidas en las áreas correspondientes visualizadas en la parte inferior de la pantalla.

3.5 Pruebas realizadas al sistema.

Con el propósito de evaluar la funcionalidad del transformador de *Data Warehouse* relacional a *Data Warehouse* orientada a documentos, *DWR2NoSQL*, se han ejecutado una serie de pruebas sobre los cuatro modelos de transformación mencionados en la sección 2.2. Debido a la limitante de espacio que tiene el presente artículo, únicamente se presentan algunas de ellas. Las pruebas reportadas en esta sección, se realizan considerando el modelo de estrella mostrado en la figura 1.

Prueba 1: Transformar el *Data Warehouse* relacional de la figura 1 al modelo Aglomerado. Ver figura 4 para el resultado de esta prueba. En la misma figura podemos ver el tiempo que consumió el proceso de transformación a este modelo.

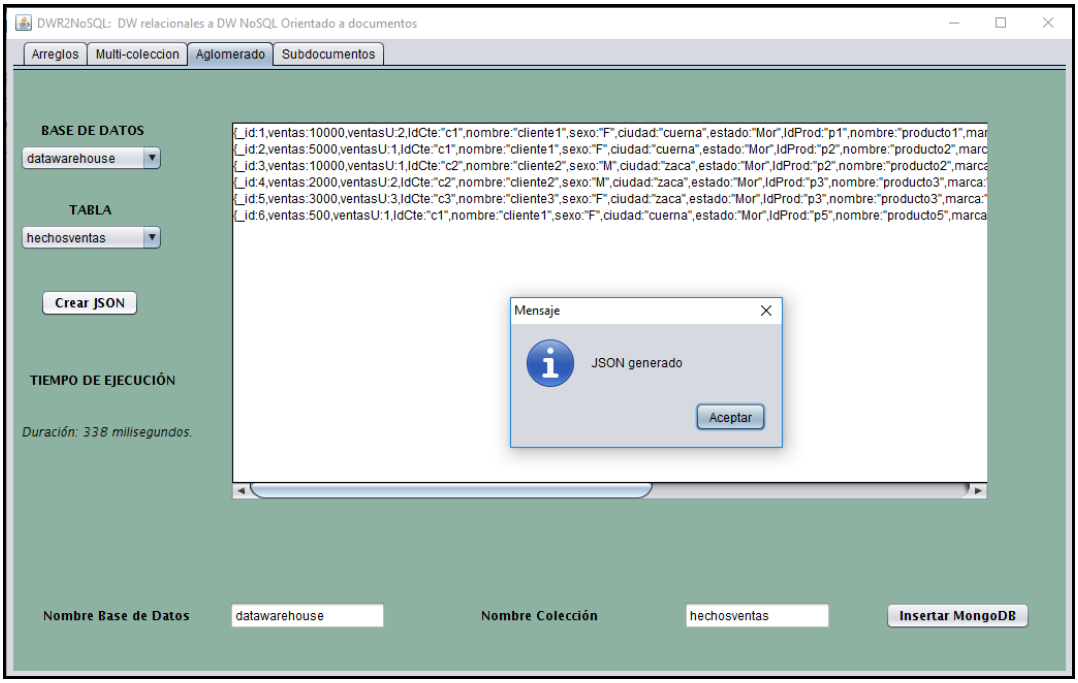
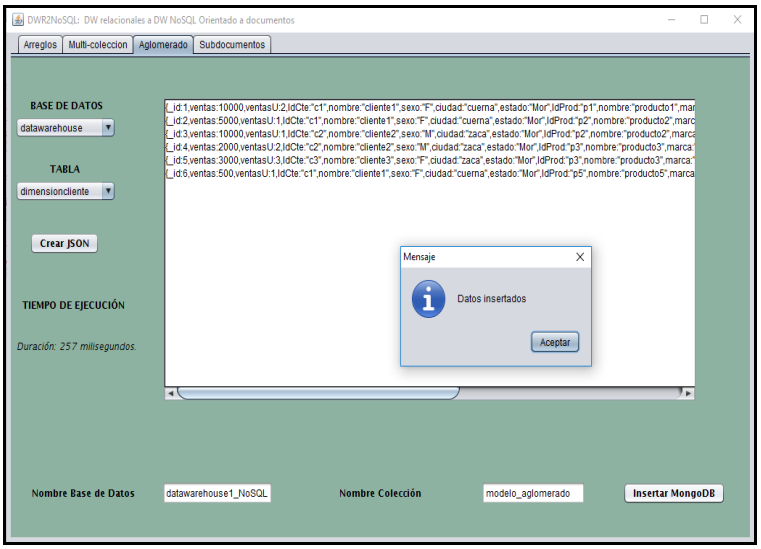


Figura 4. Resultados de la Prueba 1.

Prueba 2: En esta prueba se tomó el modelo Aglomerado generado en la Prueba 1 y se procedió a cargarlo a *MongoDB*, para esto se establece tanto el nombre de base de datos, así como el nombre de la colección. El proceso de carga de este modelo finaliza de acuerdo a la figura 5 (sección izquierda), mostrando el tiempo involucrado en la carga. Además, se muestra que dicha base de datos y dicha colección se crearon en el manejador *MongoDB*, ver figura 5 (sección derecha).



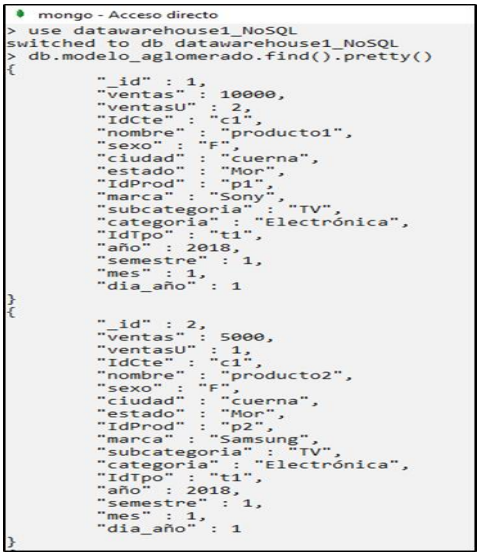


Figura 5. Resultado de la Prueba 2.

Prueba 3: Similar a la prueba 2 pero ahora para el modelo de Subdocumentos generado. Se procede a cargar el JSON generado en MongoDB, estableciendo nombre de base de datos y colección, Ver figura 6 (sección izquierda). También, se muestra el tiempo involucrado en la carga. Además, se muestra que dicha base de datos y dicha colección se crearon en el manejador *MongoDB*, ver figura 6 (sección derecha).

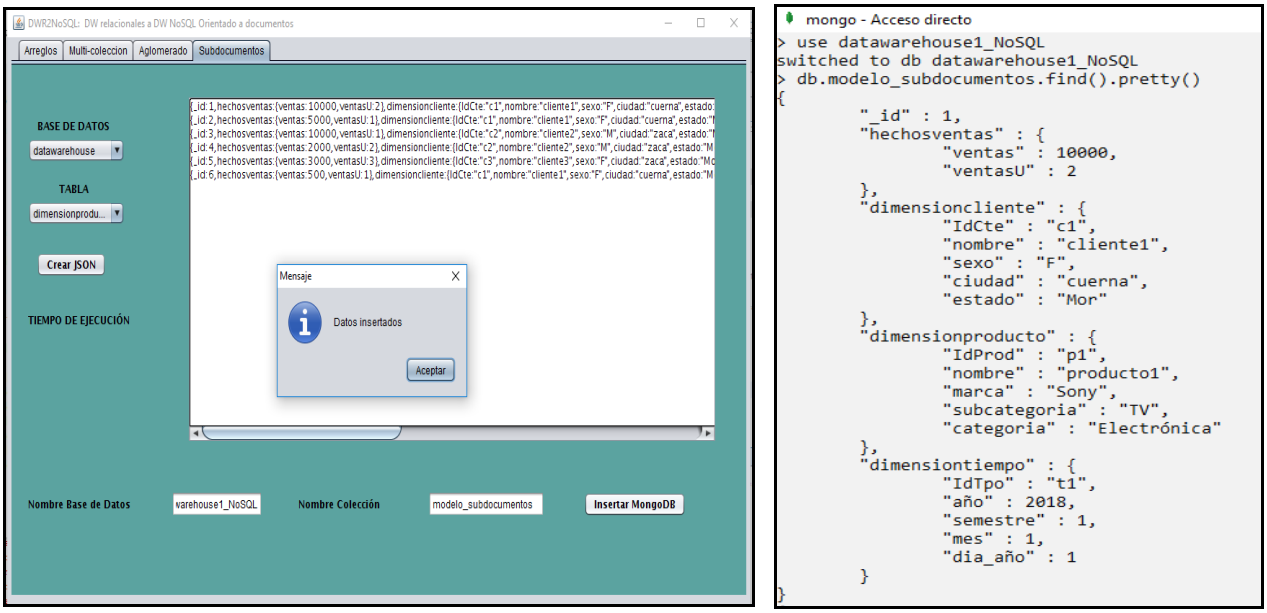


Figura 6. Resultado de la Prueba 3.

Prueba 4: De acuerdo al modelo de Arreglos generado se procedió a cargarlo a *MongoDB*, para esto se establece tanto el nombre de base de datos, así como el nombre de la colección. El proceso de carga de este modelo finaliza de acuerdo a la figura 7 (sección izquierda) mostrando el tiempo involucrado en la carga. Además, se muestra que la base de datos y respectiva colección se crearon en el manejador *MongoDB*, ver figura 7 (sección derecha).

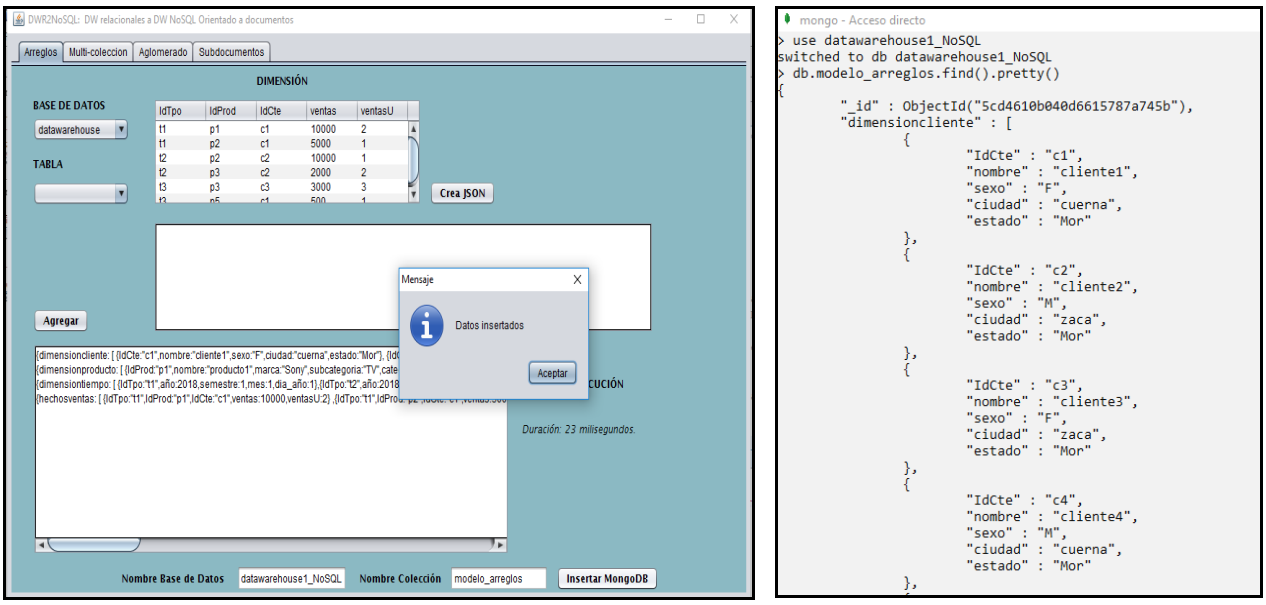


Figura 7. Resultado de la Prueba 4.

3.6 Tiempos de ejecución.

En esta sección se reportan los tiempos de ejecución involucrados al generar cada uno de los modelos multidimensionales *NoSQL* orientado a documentos, así como los tiempos que se consumieron al cargarlos en la base de datos *MongoDB*. Se considera el *Data Warehouse* relacional mostrado en la figura 1, pero realizando diferentes pruebas con un diferente número de tuplas en la tabla de hechos. Para el primer caso se consideraron 100,000 tuplas, para el segundo caso 500,000 tuplas y para el tercer caso 1,000,00 tuplas.

3.6.1 Tiempo de procesamiento en la generación de los modelos multidimensionales *NoSQL*.

En la Tabla 1 se muestran los tiempos de ejecución involucrados por *DWR2NoSQL* en la generación de los cuatro modelos multidimensionales *NoSQL* definidos en este artículo.

Tabla 1. Tiempos de ejecución en la generación de Modelos Multidimensionales *NoSQL*.

ModeloNoSQL\ No Tuplas	**100,000 tuplas**	**500,000 tuplas**	**1,000,00 tuplas**
Multi-Colecciones	**DimensiónCliente:** 342 ms **DimensiónProducto:** 223 ms **DimensiónTiempo**: 20 ms **Tabla Hechos:** 1770 ms ***Total:** 2,355 milisegundos*	**DimensiónCliente:** 350 ms **DimensiónProducto:** 230 ms **DimensiónTiempo:** 21 ms **Tabla Hechos:** 7,834ms **Total:** 8,435 milisegundos	**DimensiónlCliente:** 330 ms **DimensiónProducto:** 240 ms **DimensiónTiempo**: 24 ms **Tabla Hechos**:20,125 ms **Total:** 20,719 mili segundos
Arreglos	**DimensiónCliente:** 196 ms **DimensiónProducto:** 89 ms **DimensiónTiempo:** 29 ms **Tabla Hechos:** 940 ms **Total:** 1,254 milisegundos	**DimensiónCliente:** 200 ms **DimensiónProducto:** 78 ms **DimensiónTiempo:** 25 ms **Tabla Hechos:** 5,068 ms **Total:** 5,371 milisegundos	**DimensiónCliente:** 198 ms **DimensiónProducto**: 85 ms **DimensiónTiempo:** 28 ms **Tabla Hechos:** 10,998 ms **Total:** 11,274 milisegundos
Aglomerado	**Todo el modelo:** 7,529 milisegundos	**Todo el modelo**: 180,739 milisegundos	**Todo el modelo**: 544,080 milisegundos
Sub-Documentos	**Todo el modelo:** 6,550 milisegundos	**Todo el modelo:** 173,806 milisegundos	**Todo el modelo:** 346,529 milisegundos

Como puede verse en la Tabla1, los modelos que involucraron los tiempos de ejecución más bajos, son los modelos de Arreglos y Multi-Colección. La razón por la que dichos modelos son los más rápidos de transformar, se debe a que son modelos similares con una estructura simple. Por el contrario, los modelos que involucraron más tiempo son el Aglomerado y Subdocumentos, esto debido a que son los que tienen mayor redundancia de información.

3.6.2 Tiempo de procesamiento en la exportación de los modelos *NoSQL* a *MongoDB*.

En la Tabla 2 se muestran los tiempos de ejecución involucrados en la exportación de los cuatro modelos multidimensionales *NoSQL* a la base de datos en *MongoDB*.

Tabla 2. Tiempos de exportación de Modelos Multidimensionales *NoSQL* a MongoDB.

ModeloNoSQL\ No Tuplas	**100,000 tuplas**	**500,000 tuplas**	**1,000,00 tuplas**
Multi-Colecciones	**ColecciónDimensiónCliente:** 5,403 ms **DimensiónProducto:** 4,922 ms **DimensiónTiempo**: 2,014 ms **Tabla Hechos:** 21,600 ms ***Total:** 33,939 milisegundos*	**DimensiónCliente:** 5,490 ms **DimensiónProducto:** 4,840 ms **DimensiónTiempo:** 2,110 ms **Tabla Hechos:** 95,205 ms **Total:** 107,645 milisegundos	**DimensiónlCliente:** 5,761 ms **DimensiónProducto:** 4,942 ms **DimensiónTiempo**: 2,409 ms **Tabla Hechos**: 202,210 ms **Total:** 215,322 milisegundos
Arreglos	**Colección Multidimensional** **Total:** 30,110 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 98,416 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 199,241 milisegundos
Aglomerado	**Colección Multidimensional** **Total:** 34,517 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 105,269 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 260,249 milisegundos
Sub-Documentos	**Colección Multidimensional** **Total:** 48,184 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 157,700 milisegundos	**Colección Multidimensional** **Total:** 350,434 milisegundos

Como puede verse en la Tabla 2, los modelos que involucraron los tiempos de ejecución más bajos fueron los modelos Multi-Colecciones y Arreglos. La razón por la que dichos modelos son los más rápidos de exportar, se debe a que son los modelos con la estructura más sencilla y con menos información redundante. Por el contrario, los modelos que involucraron más tiempo al momento de la exportación son el de Sub-Documentos y Aglomerado, ya que estos modelos tienen estructura más compleja y mayor cantidad de información redundante.

Conclusiones.

Las principales aportaciones y beneficios logrados con este trabajo de investigación son las siguientes:

- La herramienta desarrollada, llamada DWR2NoSQL, permite transformar y exportar de manera automática un *Data Warehouse* relacional a un *Data Warehouse NoSQL* orientado a documentos. El proceso de transformación y carga es muy rápido y requiere de un esfuerzo mínimo por parte del usuario.
- Se establecieron cuatro posibles formas para modelar e implementar *Data Warehouses* por medio de bases de datos *NoSQL* orientadas a documentos, los cuales son una opción viable como solución al problema de almacenar, procesar y analizar la enorme cantidad de datos generados por los llamados *Big Data.*
- Como consecuencia de tener un *Data Warehouse NoSQL* se tendría la ventaja de hacer uso del escalamiento horizontal, otorgando de esta manera mejores tiempos de respuesta y una mayor capacidad de almacenamiento.
- La modelación de *Data Warehouse* mediante modelos *NoSQL* es un tema de interés actual en el ámbito tecnológico-científico y la presente investigación ha abordado esta temática con el fin de aportar a dicho tópico.

Los resultados de esta investigación pueden sentar las bases para la realización de los siguientes trabajos futuros.

- Desarrollar una herramienta *OLAP* para manipular *Data Warehouses* orientados a documentos.
- Considerar la transformación un *Data Warehouse* relacional bajo los modelos de Copo de Nieve y de Constelación de Hechos a los cuatro modelos *NoSQL* propuestos en este trabajo.
- Realizar un trabajo de investigación semejante al presentado en este artículo, pero utilizando un modelo *NoSQL* diferente al de documentos, pudiendo ser el más factible, el modelo *NoSQL* orientado a columnas.

Agradecimientos.

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiero otorgado para la realización del proyecto de investigación reportado en este artículo.

Referencias Bibliográficas.

Chevalier M., Malki M., Kopliku A., Teste O., Tournier T. **(2015)**. *Implementing Multidimensional Data Warehouses into NoSQL*. International Conference on Enterprise Information Systems, 2015, p172-183.

Dayley Brad **(2015)**. *NoSQL with MongoDB*. SAMS Publishing, January 2015.

Dehdouh K., Boussaid O., Bentayeb F. **(2015)**. *Using the column oriented NoSQL model for implementing big data warehouses.* The 21st International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 2015, p469-475.

Dehdouh K., Boussaid O., Bentayeb F. **(2014)**. *Columnar NoSQL star schema benchmark*. Model and Data Engineering, LNCS 8748, Springer, 2014, p281-288.

JSON (2019). Acerca de JSON. Recuperado de https://www.json.org. Acedido:2019-06-09.

Kimball R., Ross M **(2008)**. *The Data Warehouse Lifecycle Toolkit.* Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. January 10, 2008.

Mishra D., Yazici A., Bazaran B **(2008)**. *A Case Study of Data Models in Data Warehousing*. Applications of Digital Information and Web Technologies, ICADIWT, Aug 2008.

Rocha L., Vale F., Cirilo E., Barbosa D., Mourao F. **(2015)**. *A Framework for Migrating Relational Datasets to NoSQL*. International Conference On Computational Science, ICCS 2015, Volume 51, p2593-2602.

Yangui R., Nabli A., Gargouri F. **(2016)**. *Automatic Transformation of Data Warehouse Schema To NoSQL Data Base: Comparative Study*. 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES2016, September 2016, p255-264.

Información de los autores.

Francisco Javier Cartujano Escobar, Doctor en Administración con Especialidad en Sistemas de Información egresado del ITESM, Campus Ciudad de México; Maestro en Ciencias de la Computación e Ingeniero en Sistemas Computacionales, ambos títulos otorgados por el ITESM, Campus Cuernavaca. Obtuvo mención honorífica al terminar la carrera de Ingeniería. Se ha desempeñado en el sector privado como gerente de sistemas y como profesor investigador del Departamento de Computación del ITESM, Campus Ciudad de México. Ha pertenecido al SNI del CONACYT. Actualmente catedrático de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y de la Maestría en Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Zacatepec.

Leticia Santa Olalla Ocampo graduada como Licenciada en Informática en 1992 por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ), graduada como Maestra en Ciencias en Ciencias de la Computación 2008 por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Actualmente catedrática de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y de la Maestría en Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Área de Interés Ingeniería de Software.

José Pedro Aragón Hernández graduado como Ingeniero en Sistemas Computacionales en 2002 y como Maestro en Tecnologías de la Información en 2006 por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ). Actualmente profesor de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y de la Maestría en Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Zacatepec.

María Fernanda Silva Reyna, graduada como Ingeniera en Sistemas Computacionales en mayo de 2019 por el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto tecnológico de Zacatepec (ITZ).

Prototipo optomecatrónico para controlar microdesplazamiento con aplicación en procesamiento de fibras ópticas.

Optomecatronic prototype to controling micro-displacement with application in optical fiber processing.

Oscar Emmanuel Aguilar Vera (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
emmanuel_av1307@hotmail.com.

Joel Gómez Pérez (2), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jgomezp@ittg.edu.mx.

Jorge Luis Camas Anzueto* (3), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jcamas@ittg.edu.mx.

Madaín Pérez Patricio (4), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
mperez@ittg.edu.mx.

Rubén Grajales Coutiño (5), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
rubngc@hotmail.com.

Sergio Mendoza Vázquez (6), Universidad Autónoma de Chiapas/Facultad de Física y Matemáticas
smendoza@unach.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en abril 29, 2019; aceptado en junio 10, 2019.

Resumen.

Se propone un prototipo optomecatrónico con un sistema de control de desplazamiento micrométrico para procesar fibras ópticas. El sistema contiene un sujetador de fibra óptica que también sirve como base deslizable. Este prototipo utiliza una interfaz de usuario donde puede programar el tiempo en que va a tardar el desplazamiento de una fibra óptica, además de controlar el periodo de longitud lineal a desplazar. Todas las variables previamente descritas son introducidas a un ordenador con la ayuda de una interfaz gráfica de usuario. La comunicación entre el ordenador y el sistema embebido es por medio de cableado por puerto serial.

Palabras clave: microdesplazamiento, optomecatrónica, fibra óptica

Abstract.

In this work, an optomechatronic prototype with a control system of micrometric displacement for processing optical fiber is presented. It consists of a fiber clamp, which also is used as a sliding base. User interface was designed for programming the displacement time of the optical fiber, and for controlling the displacement linear length period. In this User interface was introduced. All parameters previously described were entered into a computer together with

a graphical user interface. The communication between the computer and the embedded system was through serial port wiring.

Keywords: microdisplacement, optomechatronic, optical fiber.

1. Introducción.

En 1978 Hill y colaboradores descubrieron el fenómeno de fotosensibilidad en fibras ópticas de silicio dopado con germanio, en ese mismo año B.S. Kawaasaki y K.O. Hill aprovecharon el efecto de fotosensibilidad para la fabricación de rejillas de Bragg con la ayuda de un láser de argón a partir de esto se empezaron a desarrollar nuevos métodos para fabricar rejillas de Bragg, en 1989 G. Meltz y colaboradores utilizan el método holográfico" y en 1993 K.O. Hill utiliza la técnica de “máscara de fase".

Estos métodos tenían la desventaja de utilizar el fenómeno de difracción para la fabricación lo que implicaba tener sofisticado equipo óptico, pero en 1996 Ashish M. Vengsarkar fabrica rejillas de periodo largo por el método de “máscara de amplitud", técnica que sirvió para el desarrollo de otros métodos de punto por punto.

En 1998 D.D. Davis y colaboradores proponen la inscripción de rejillas de periodo largo por métodos de pulsos de un láser CO2 que es una de las técnicas de punto por más utilizadas hoy en día y 2000 se presenta la inscripción de LPFG por la técnica de grabado por "métodos mecánicos" por S. Savin.

Los principales métodos de fabricación de RPL son por radiación UV, laser CO2, presión mecánica y por medio de arco eléctrico. El método de radiación UV fue utilizado por L. Zhang et al en aprovechando un sistema de barrido, con el que aplicaba pulsos UV a lo largo de determinada longitud de la fibra, este ya es considerado un método “punto por punto”, en su sistema utilizo una lente telescópica y un obturador controlable por computadora. D.D. Davis et al propone un nuevo método para la fabricación de rejillas que también se convierte en uno de los métodos más populares para la fabricación de RPL, mediante pulsos de láser CO2 altera el índice del núcleo generan las rejillas de periodo largo, como característica este método no provoca micro estrechamientos en el diámetro de la fibra. Casi a la par se presenta el método de grabado por arco eléctrico por Sandra G. Kosinski et al, esta técnica se base en modulaciones periódicas en la fibra gracias a la descarga de un arco eléctrico producido por un par de electrodos, la generación de alto voltaje es producida por una empalmadora comercial remplazando los sujetadores por un elemento motorizado que permite la traslación de la fibra en los electrodos. El movimiento de la fibra y la corriente de entrada es controlada por computadora y un analizador de espectro óptico para monitorear la el espectro de transmisión que se produce. Y S. Savin utiliza presión mecánica aprovechando el efecto fotoeleástico para fabricar RPL, el método consiste en dos placas una plana y la otra ranurada (estas darán el periodo de la rejilla), la fibra se coloca en medio de las dos placas y se aplica presión teniendo como resultado las rejillas de periodo largo. Como característica en este método las rejillas pierden su efecto cuando la presión es retirada.

En 2013 Sheng Chyan Lee y colaboradores hicieron uso de una bobina de encendido (Bosch 30KW, 12V) y un par de electrodos (ER-10) para generar el arco eléctrico, generando rejillas en fibras SM 750 con longitudes de onda de resonancia en rango de 900 a 1000 nm. J.C. Hernández-García en 2010 que con el fin de ahorrar hasta un 80% en costos en fabricación de LPFG en comparación a las fabricadas con empalmadoras, en su trabajo nos muestra que el diseña su propio circuito de alto voltaje con el que genera un arco eléctrico, controlado desde un ordenador por medio de LabView obteniendo LPFG con un periodo de 510 nm. con una longitud de resonancia de aproximadamente 1490 nm y comprobó que entre mayor sea el número de descargas aplicadas a la fibra mayor es la profundidad de modulación.

2. Construcción del prototipo.

El mecanismo constó de un motor a pasos, con una resolución de 1.8 grados por paso, acoplado a un tornillo si fin para convertir el movimiento angular a movimiento lineal, una base para fibra óptica que se desplaza junto al

tornillo. Se seleccionaron distintos componentes mecánicos y electrónicos que tienen diferentes fines en la máquina, como la transformación de movimiento angular a lineal, soporte de otros elementos de la máquina, elementos de guía, actuadores para generar movimiento, controladores del actuador, transformador para generar alto voltaje, entre otros.

En el caso de los elementos mecánicos se buscaron elementos mecánicos que generan movimiento lineal fino, elementos de guía para que el movimiento siga una trayectoria fija y un actuador que genere el movimiento. Como elementos electrónicos se necesitaron controladores para el elemento motor, estos controladores sirven para manipular la precisión del movimiento lineal. También se hizo uso de un generador de alto voltaje para la generación de un arco eléctrico. Y por último seleccionar el Sistema embebido con el que se controló el sistema.

Una vez seleccionados los elementos mecánicos (de movimiento, sujeción, guía, rodamientos) con la ayuda de un software CAD se propuso un diseño para el sistema de micro movimiento, que incluyó los elementos seleccionados, y tener planos de ensamblaje del sistema. Este diseño debe consideró: a) Un sistema de sujeción de fibra óptica, b) Un elemento que desplace ya sea a la fibra o al arco eléctrico según sea la decisión más práctica, c) Los elementos de guía para el elemento a desplazar y su libre movimiento, d) El actuador que genera el movimiento.

Una vez diseñado y contando con las piezas se construyó el prototipo y se realizaron distintas pruebas para confirmar que la relación de movimiento lineal fue la correcta. Con el sistema optomecatrónico ensamblado, fue necesario controlar el movimiento lineal desde un ordenador por el usuario, la programación se aplicó a un sistema embebido, donde a partir de los datos de entrada se le enviaron las señales a los actuadores para que automáticamente calcule la operación que le corresponda realizar. Se realizaron las diferentes pruebas en el sistema optomecatrónico, con parámetros ya comprobados en la literatura, al recrear las condiciones de los experimentos se obtuvieron resultados parecidos y validaron el mecanismo. La figura 1 muestra una comparación entre el diseño en un software de programación de diseño asistido por computadora (CAD) y el sistema físico, en la figura 1b se muestra el sistema mecánico físico hasta el momento, teniendo pendiente el mecanismo de sujeción de fibra óptica.

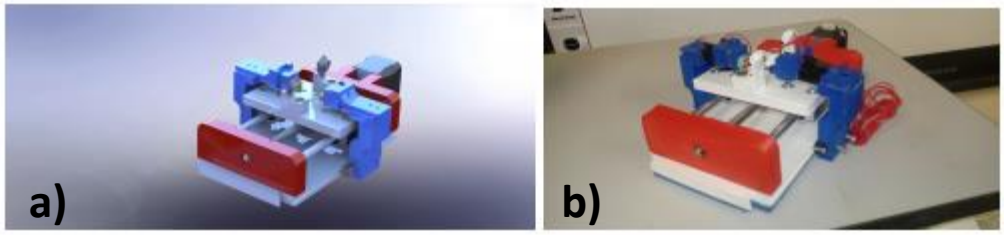


Figura 1. a) Diseño en SolidWorks, b) Diseño del prototipo real.

Para controlar el actuador haremos uso del driver A4988, con instrucciones que las recibirá desde el sistema embebido, que para nuestro caso fue un Arduino, La figura 2 presenta la conexión del dispositivo.

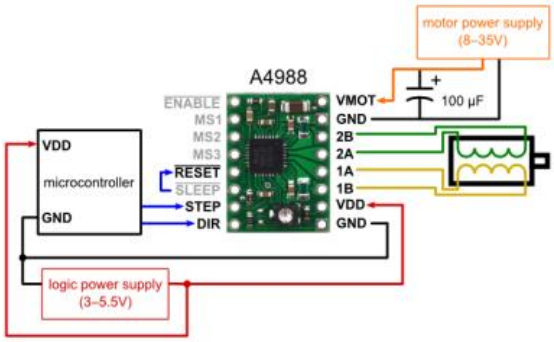


Figura 2. Diagrama del circuito del driver A4988.

En la conexión observamos como los dos pines de la parte superior derecho son los que se encargan de alimentar al motor, nosotros lo alimentaremos a 12 V, también el diagrama nos indica que hay que conectar un capacitor de 100 µF los 4 siguientes pines (2A, 2B, 1A y 1B) son los que se conectan a las bobinas del motor y las dos de abajo son las que alimentan al driver, tomados desde los 5 volts del arduino, del lados inferior izquierdo tenemos los pines STEPτ "DIR"que son los encargados de los números de pasos y dirección respectivamente, estos van conectados a dos de los pines digitales del arduino que les darán las instrucciones, en caso de los pasos cada ".alto.enviado" será un paso a desplazarse y en caso de la dirección un .alto.es girar a un lado y un "bajo" girar al otro lado, dependiendo de la conexión de las bobinas, y finalmente se hace un puente entre los dos pines de arriba RESETτ "SLEEP". Los siguientes pines (MS1, MS2 y MS3) son para activar los micropasos. En la tabla 1 se muestra como activarlos dependiendo si se desea medio, cuarto, octavo y dieciseisavo de paso.

Tabla 1. Configuración de paos del driver A4988.

MS1	MS2	MS3	Resolución de microstep
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso
Bajo	Alto	Bajo	Cuarto de paso
Alto	Alto	Bajo	Octavo de paso
Alto	Alto	Alto	Dieciseisavo

Acorde a la aplicación fue necesario con trabajar en paso completo, ya que nos proporcionó un movimiento lineal de 40 µm, entonces se obtuvieron periodos de múltiplos de 40 µm, sin embargo, si hubiese necesario otro periodo diferente se hubiera utilizado otra configuración.

Para el control tanto del motor a pasos como del arco eléctrico, se utilizó de un arduino, la cual se programa en la IDE un código que realiza una secuencia, en el que el motor se mueve un cierto periodo se detiene y se repite un número de n de veces acorde a la codificación de interés. Todas estas instrucciones como el número de veces a repetir el ciclo y cantidad de pasos a moverse del motor fueron elegidas por el usuario y se realizó un ambiente para introducirlos a través de una interfaz de usuario.

La interfaz de usuario se diseñó en Python, aprovechando las librerías Tkinter que es utilizado en el diseño de interfaces gráficas y la librería pyserial para la comunicación con los puertos seriales y con la finalidad de enviarle mandarle los datos al arduino. La figura 3 se presenta el diseño de la interfaz de usuario que se utilizó para la manipulación del movimiento micrométrico del prototipo optomecatrónico.

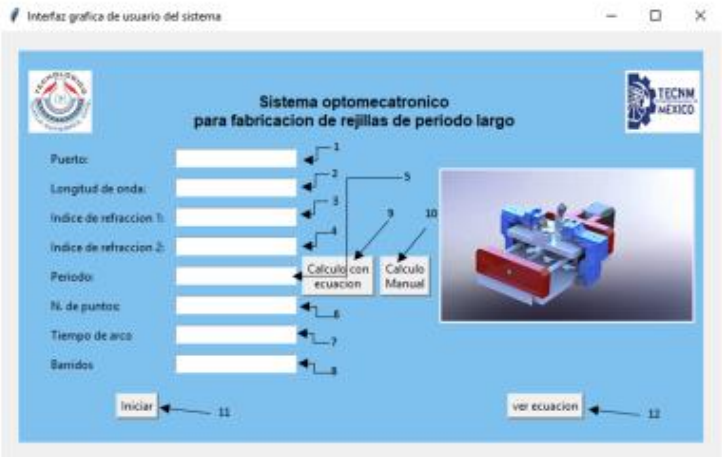


Figura 3. Interfaz Gráfica de usuario.

Cada uno de los campos enumerados se define a continuación:

1. Puerto: el usuario debe introducir el puerto COM en el que se encuentra conectado el Arduino.
2. Longitud de onda: se selecciona la longitud de onda que se desea encontrar siempre y cuando se conozcan los índices efectivos del núcleo y revestimiento para que la interfaz calcule el periodo, de no ser así se recomienda introducir directamente el valor en la etiqueta periodo (marcada con el numero 5).
3. Índice de refracción 1: Se introduce el índice efectivo del núcleo.
4. Índice de refracción 2: Se introduce el índice efectivo del revestimiento.
5. Periodo: en caso de no contar con los datos de los campos 2 a 4, esta etiqueta nos permite introducir directamente el periodo de desplazamiento del sistema.
6. N. de puntos: número de descargas que recibirá la fibra óptica.
7. Tiempo de arco: tiempo de duración de cada una de las descargas.
8. Barridos: idas y vueltas que realizara el mecanismo en ambas direcciones.
9. Cálculo con ecuación: Calcula el periodo utilizando la ecuación 3.44 utilizando la información de los campos 2 a 4 y los imprime en la etiqueta marcada con 5.
10. Calculo Manual: redondea el periodo seleccionado al múltiplo de 40 (resolución del motor) más cercano.
11. Iniciar: Inicio del proceso
12. Ver ecuación de cálculo.

Algoritmo 1. Programación del arduino

```
const int steppin = 9;
const int dirpin = 8;
const int tiempo = 10;
const int rele=11;
int retardo=5;

void setup()
{
  pinMode(steppin,OUTPUT);
  pinMode(dirpin,OUTPUT);
  pinMode(rele,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   String SPuntos;
   int Puntos,periodo,Tiempoarco,repeticiones;
   char c;
   int n=0

   while (Serial.available())
   {
      delay(retardo);
      c = Serial.read();
      SPuntos += c;
   }

   for (int i = 0; i < SPuntos.length(); i++)
   {
      if (SPuntos.substring(i, i+1) == "," && n==0)
      {
         Puntos = SPuntos.substring(0, i).toInt();
         periodo = SPuntos.substring(i+1).toInt();
         n=n+1;
      }
```

```
      else
         if(SPuntos.substring(i, i+1) == "," && n==1)
         {
            Tiempoarco = SPuntos.substring(i+1).toInt();
            n=n+1;
         }
         else
            if(SPuntos.substring(i, i+1) == "," && n==2)
            {
               repeticiones=SPuntos.substring(i+1).toInt();
               break;
            }
   }

   digitalWrite(rele,LOW);
   delay(2000);

   while(SPuntos!=NULL)
   {
      for(int j=1;j<=repeticiones;j++)
      {
         if(j %2!=0)
         {
            digitalWrite(dirpin,LOW);
         }
         else
         {
            digitalWrite(dirpin,HIGH);
         }

         for(int i=0; i<Puntos;i++)
         {

            for(int x = 0; x < periodo; x++)
            {
               digitalWrite(steppin,HIGH);
               delay(tiempo);
               digitalWrite(steppin,LOW);
               delay(tiempo);
            }
            delay(1000);
            digitalWrite(rele,HIGH);
            delay(1000*Tiempoarco);
            digitalWrite(rele,LOW) ;
         }
      }
      digitalWrite(steppin,LOW);
      digitalWrite(dirpin,LOW);
      delay(1000);

      while(0==0)
      {
      }
   }
   delay(1000);
}
```

Conclusiones.

Se ha propuesto un prototipo optomecatrónico para procesamiento de fibra óptica. Este dispositivo cuenta con un sistema de desplazamiento micrométrico controlado con una interfaz de usuario, donde se pueden introducir los parámetros deseados para procesar fibra óptica monomodo y multimodo. El mínimo desplazamiento que se obtiene es de 40 μm y la periodicidad y tiempo entre desplazamiento puede ser cambiado por el usuario. El prototipo ha sido diseñado a través del uso del software SolidWorks y las piezas han sido impresas en 3D. El sistema mecánico de desplazamiento ha sido diseñado para que en él se montara un sistema de sujeción de fibra óptica para poder sujetarla sin que se dañe. Finalmente la programación del arduino fue utilizado para poder manejar al sistema mecánico y se desplazara con precisión.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México Por el financiamiento otorgado para llevar a cabo la realización del proyecto con número de registro 6845.18-P, y al CONACYT por otorgar la beca a estudiante de Maestría.

Referencias Bibliográficas.

A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe. Long-period fiber gratings as band-rejection filters. Journal of Lightwave Technology, 14(1):58–65, Jan 1996.

DD. Davis, TK. Gaylord, EN Glytsis, SG Kosinski, SC Mettler, and AM Vengsarkar. Long period fibre grating fabrication with focused co/sub 2/laser pulses. Electronics Letters, 34(3):302–303, 1998.

G. Meltz, W. W. Morey, and WH Glenn. Formation of bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. Optics letters, 14(15):823–825, 1989.

K.O. Hill, Y Fujii, Derwyn C Johnson, and BS Kawasaki, Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication. Applied physics letters, 32(10):647 -649, 1978.

K. O. Hill and G. Meltz. Fiber bragg grating technology fundamentals and overview. Journal of Lightwave Technology, 15(8):1263–1276, Aug 1997.

Kenneth O Hill, B Malo, F Bilodeau, DC Johnson, and J Albert. Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by uv exposure through a phase mask. Applied Physics Letters, 62(10):1035–1037, 1993.

L. Zhang, Y. Liu, L. Everall, J. A. R. Williams, and I. Bennion. Design and realization of long-period grating devices in conventional and high birefringence fibers and their novel applications as fiber-optic load sensors. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 5(5):1373–1378, Sep 1999.

S. Savin, MJF Digonnet, GS Kino, and HJ Shaw. Tunable mechanically induced long period fiber gratings. Optics letters, 25(10):710–712, 2000.

Sandra G Kosinski and Ashish M Vengsarkar. Splicer-based long-period fiber gratings. In Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 1998. OFC'98., Technical Digest, pages 278-279. IEEE, 1998.

Sheng Chyan Lee, Yun Thung Yong, Kim Ho Yeap, and F. Abdul Rahman. An asymmetric tapered long period fiber grating: Fabrication and characterization. In 2013 IEEE 4th International Conference on Photonics (ICP), pages 21-24, Oct 2013.

Información de los autores.

Oscar Emmanuel Aguilar Vera, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2016 y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2019. Es profesor de tiempo parcial en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es el diseño de mecanismo, optomecatrónica y teoría de control.

Joel Gómez Pérez, es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2005 y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2013. Ha colaborado con la Universidad Politécnica de Chiapas en el área de Ingeniería Mecatrónica. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2010 y colaborador de la Universidad del Valle de México desde 2013. Es miembro del Sistema Estatal de Investigadores desde 2011.

Jorge Luis Camas Anzueto, es graduado como Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, graduado como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con la Especialidad en Óptica y subespecialidad Optoelectrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1, Miembro honorífico del Sistema Estatal de Investigadores. Actualmente docente-investigador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería y de la carrera Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es sensores ópticos, sensores de fibra óptica, optoelectrónica y optomecatrónica.

Madaín Pérez Patricio es graduado como Doctor en Ciencias en Automatización y Computación Industrial en 2005, por la Universidad de Ciencias y Tecnologías de Lille, Francia. Investigador y Docente desde 1997 en el Departamento de Posgrado y la Carrera en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés incluye visión por computadora y computación reconfigurables.

Rubén Grajales Coutiño tiene la Licenciatura en Ingeniería en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en Óptica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Posteriormente, realizó una estancia Posdoctoral (2 años) en el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1, ha publicado 12 artículos de riguroso arbitraje a nivel internacional, más de 20 congresos internacionales. Sus investigaciones están dirigidas en el estudio teórico, numérico y experimental de nuevas arquitecturas de switches ópticos de fibra, en particular interferómetros de Sagnac para el procesamiento digital todo-óptico, la caracterización de trenes de pulsos ópticos ultracortos y el amarre de modos pasivo y desarrollo de láseres de fibra dopada continuos y pulsados ajustables y a múltiples longitudes de onda. Actualmente imparte clases en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Sergio Mendoza Vázquez graduado como Ingeniero en Electrónica 1996 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, graduado como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con la Especialidad en Óptica y subespecialidad Optoelectrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). En 2006 Investigador de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Actualmente docente-investigador en la Licenciatura en Física y Matemáticas en el CEFyMAP de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Su área de interés es optoelectrónica, fibras ópticas, comunicaciones y óptica no lineal.

Sistema de control de acceso para el nivel educativo preescolar implementando tecnología de reconocimiento biométrico dactilar.

Access control system for a kindergarten implementing biometric fingerprint recognition technology.

Luis Ángel Méndez de León (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México.
lmendezdleon@protonmail.com.

Efraín Díaz López (2). Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México,
efra_1094@outlook.com.

Rosy Ilda Basave Torres* (3). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México,
rbasave@ittg.edu.mx.

Imelda Valles López (4). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México,
imevalles@yaho.com.mx.

Octavio Ariosto Ríos Tercero (5). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México,
oarios_oarios@yahoo.com.mx.

Roberto Cruz Gordillo (6). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez-Tecnológico Nacional de México,
rcruz@ittg.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en octubre 28, 2019; aceptado en diciembre 10, 2019.

Resumen.

En este artículo se describe el desarrollo de un sistema de seguridad denominado "SecurityK", el cual plantea resolver la problemática que existe actualmente en los procesos de control de acceso y seguridad en el nivel preescolar implementando una aplicación web, aplicación de escritorio y aplicaciones móviles. El sistema se apoya en un dispositivo físico para la captura de huellas y así gestionar el proceso de acceso a la institución.

Palabras clave: Sistema de seguridad, aplicación web, aplicaciones móviles, biometría dactilar, preescolar.

Abstract.

This article describes the development of a security system called "SecurityK", which raises solve the problems that currently exist in the access control and security processes at the preschool by implementing a web application, desktop application and mobile applications. The system relies on a physical device to capture fingerprints and thus manage the process of access to the institution.

Keywords: Security system, web application, mobile applications, fingerprint biometrics, preschool.

1. Introducción.

La SEP no brinda sistemas de seguridad a las escuelas; en nivel preescolar no se cuenta con registros de las personas que se llevan a los niños, los filtros son muy vulnerables y pueden presentarse fallas de criterio humano originando una tragedia familiar y problemas a la institución educativa.

En el último censo de población y vivienda realizado (INEGI, 2010) fueron censados 236,973 centros de trabajo, del total de escuelas censadas, 86.4% son de carácter público y 13.6% son privadas, el 40.1% representa el nivel preescolar. Existen muchos casos alarmantes sobre el robo de niños en México, algunos de ellos son afuera de las instituciones educativas. El número de niños y adolescentes desaparecidos ha sido tres veces más alto que la cifra registrada entre 2006 y 2012, de mil 584 casos reportados se pasó 4 mil 394 de 2013 a julio de 2017. El Registro Nacional de Datos de Personas Extraviadas o Desaparecidas (RNPED) reporta 33 mil 482 personas registradas como desaparecidas en México desde 1979 y hasta julio de 2017, de los cuales 6 mil 079 son niños y adolescentes, lo que representa el 18.2% del total de desapariciones (Claudia, 2017).

Existe la necesidad de proteger a los niños y reducir significativamente los incidentes en la entrega de los mismos mediante el uso de un sistema que integre tecnologías de reconocimiento biométrico dactilar y software libre moderno. Este sistema fue desarrollado para su implementación en el “jardín de niños Beatriz Ordoñez acuña”.

El proceso de control de acceso de esta institución constaba de tres partes:

- **Registro de asistencia de personal.** El registro de asistencia de los maestros se hace de manera física en una libreta en la cual deben firmar su hora de llegada y salida.

- **Entrada de menores.** Los niños son llevados al jardín y dejados en la entrada de la institución sin algún registro, se cuenta con la policía escolar la cual se encarga de recibirlos en la entrada y posteriormente son canalizados a sus correspondientes salones por los docentes. }

- **Salida de menores.** La parte más crucial es la hora de la salida, en esta parte se le da acceso a los tutores, los cuales únicamente portan una credencial de la institución y con ello se les permite el acceso. El nivel de seguridad depende de la policía escolar, debido a que debe ser rigurosa de revisar adecuadamente cada credencial y además queda a su criterio dejar entrar o no a una persona, y en segunda instancia depende de las maestras las cuales hacen la entrega final de los niños.

Anteriormente, previo a la implantación del sistema, se detectó un promedio de 14 incidencias al mes ocurridas en el plantel, como se muestra en la tabla 1, de las cuales cinco de ellas eran entradas no autorizadas, donde no se conocía a la persona pero pudo acceder y nueve de ellas corresponden a salidas no autorizadas donde la persona es un tutor registrado pero no está autorizado para retirarse con un determinado alumno, adicionalmente se detectó un promedio de tres accesos denegados. De esto se concluye que la seguridad en el acceso es un 37.5% efectiva debido a que de un total de ocho accesos no autorizados solo se evitan tres.

Tabla 1. Incidencias contabilizadas en promedio por mes.

Incidencias detectadas por mes.	
Factor de riesgo.	**Total.**
Entradas no autorizadas.	5
Salidas no autorizadas.	9
Total de incidencias.	14

La institución no contaba con un sistema de seguridad eficiente que permitiera controlar el acceso de personas a las instalaciones, lo que podría generar algún incidente en contra de los niños o el personal. Por lo tanto, fue necesario el desarrollo y la implementación de un sistema que gestione el acceso a la instalación y que permita tener registros digitales además de entregar información en el momento que se solicite.

2. Métodos.

Existen diferentes metodologías para desarrollar proyectos desde los más complejos hasta los más simples por lo cual no podemos utilizar la misma metodología para todos. Estas metodologías se adaptan a las diferentes necesidades, presupuestos, tiempos, personal entre otros factores. Actualmente se contemplan dos grandes grupos de metodologías las cuales son las tradicionales y las ágiles. De acuerdo con el libro *Ingeniería del software* (Somerville, 2005) la programación extrema es posiblemente el método ágil más conocido y ampliamente utilizado debido a que el enfoque fue desarrollado utilizando buenas prácticas reconocidas, como el desarrollo iterativo y con la participación del cliente a niveles "extremos". Metodología formulada por Kent Beck y publicada en 1999 en el libro *Extreme Programming Explained: Embrace Change* (Beck, 1999). Esta metodología se divide en cuatro fases las cuales fueron implementadas durante el desarrollo del proyecto.

Fase de planificación del proyecto.

La metodología de programación XP marca que el primer paso es definir las historias de usuario (*Story board*). Se acudió a la institución y el cliente especificó los requisitos. Las historias de usuario constan de pocas líneas escritas por el cliente en un lenguaje no técnico sin hacer hincapié en los detalles. A través de entrevistas de personal y los principales actores involucrados se obtuvo información necesaria para analizar requerimientos funcionales.

Trabajar directamente con el cliente y uno de los usuarios finales (dirección) nos proporcionó una gran ventaja para desarrollar y realizar cambios o actualizaciones a algunas partes del proyecto tomando en cuenta todas las opiniones.

Fase de diseño.

En esta parte basados en la metodología se propusieron diseños simples a fin de conseguir hacerlo lo menos complicado posible para conseguir un diseño fácilmente entendible e implementable. Se crearon diagramas que representaran mejor los módulos necesarios para que el sistema funcione completamente, creando relaciones entre ellos a fin de entenderlo como un todo de manera clara y ordenada.

Fase de codificación.

Parte crucial del proyecto que fue desarrollada. Es importante tener en cuenta que el cliente formuló las historias de usuario, por lo que es importante que a la hora de terminar alguna de ellas, debe estar ahí para validar que realmente cumpla con lo establecido, además de poder ver y participar en la creación del test de verificación.

Pruebas realizadas al sistema.

El proceso de las pruebas, tal como lo marca la metodología XP, fue realizada en dos partes: luego de la finalización de cada módulo y al completar todos los módulos, pruebas de integración. Para cada módulo se diseñaron pruebas en conjunto con los usuarios finales.

3. Desarrollo.

Para el desarrollo del sistema de seguridad se plantearon tres módulos:

Módulo administración: aquí se pueden hacer modificaciones a la base de datos además de generar información sobre el alumnado, el personal y la validación de datos biométricos implementando un lector de huellas.

- Especificaciones hardware: monitor, procesador Intel Pentium dual core (en adelante), 4GB en RAM y 500GB de almacenamiento (requisitos mínimos recomendados)
- Especificaciones software: sistema operativo Windows 7, 8.1, 10, framework para trabajar la aplicación y los drivers necesarios del lector de huellas.

Modulo Acceso: el módulo de acceso recibe datos (huella), las valida y autoriza el acceso reflejado en una App móvil.

- Especificaciones hardware: Lector de Huella U.are.U 4500, dispositivo móvil (celular o Tablet)
- Especificaciones software: sistema operativo Android 4 o superior.

Módulo de control de Grupo: su función es brindar información relacionada del grupo a la maestra y confirmaciones de salida de los alumnos.

- Especificaciones hardware: dispositivo móvil.
- Especificaciones software: sistema operativo Android.

3.1 Aplicación web.

La aplicación web fue diseñada para tener el control de toda la información de alumnos, tutores y personal del plantel. Algunos datos importantes que se muestran son enviados y generados automáticamente por el módulo de control de acceso y el módulo de control de grupo. En la parte inicial (figura 1) se muestra una gráfica que representa el porcentaje de asistencia de alumnos, además al costado se muestra las entradas del personal en tiempo real.

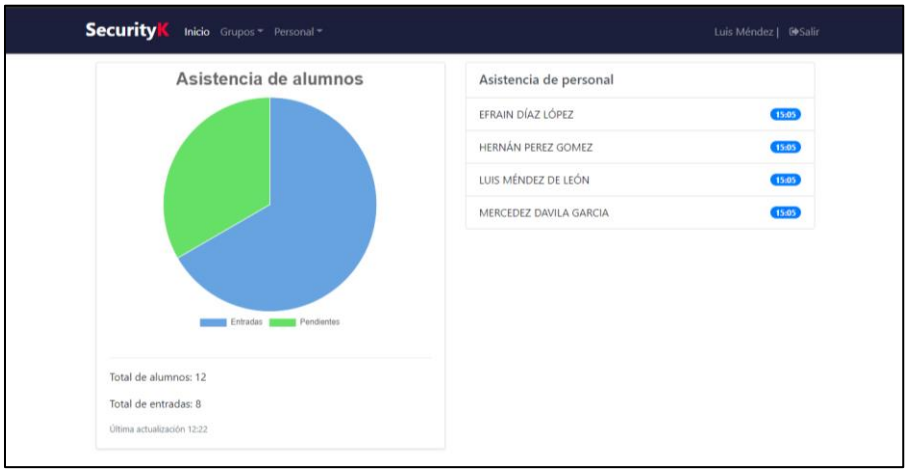


Figura 1. Página de inicio.

El sistema genera reportes de asistencia, tanto de alumnos (figura 2) y personal para tener registros precisos con fecha y hora. Además se pueden generar archivos en formato PDF para su exportación e impresión.

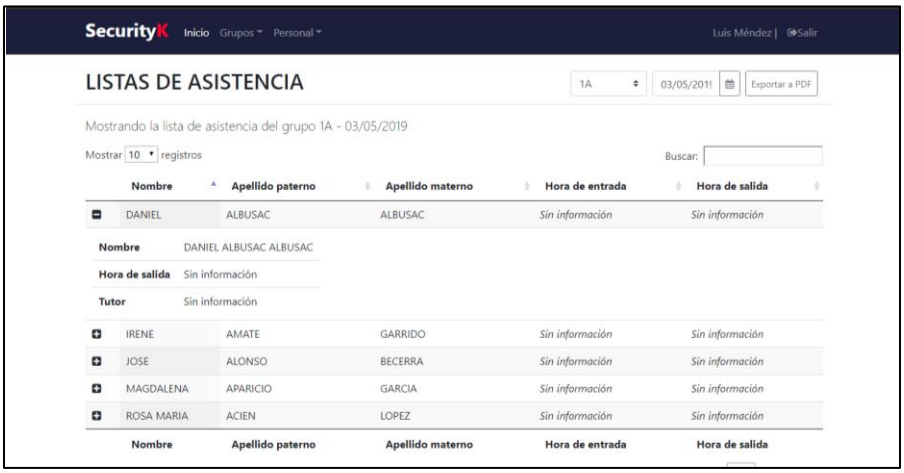


Figura 2. Reporte de asistencias de alumnos.

Esta aplicación cuenta con un CRUD (en inglés; Create, Read, Update and Delete), la cual permite al administrador crear registros, verlos, editarlos y eliminarlos según convenga (figura 3).

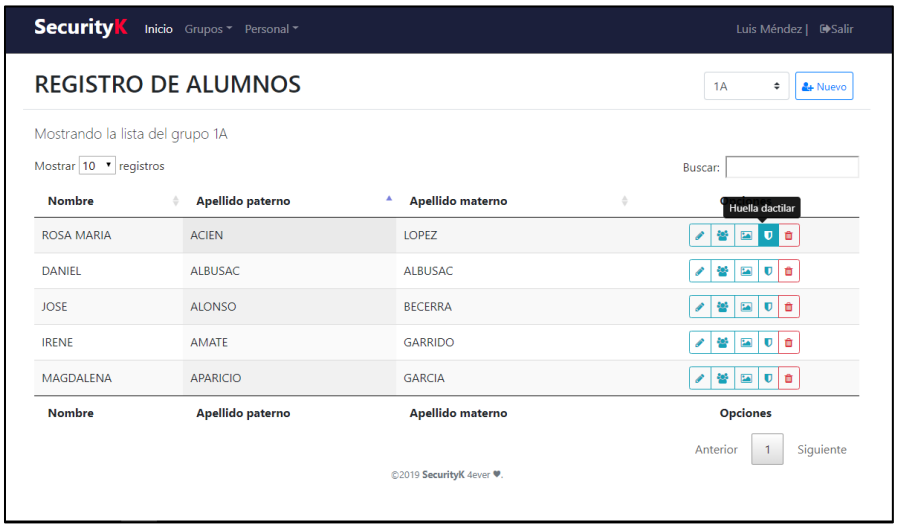


Figura 3. Administración de alumnos.

3.2 Aplicación de control de dispositivos.

Esta aplicación, desarrollada en java, se encarga de operar los lectores de huellas en sus distintos modos: captura de huellas y verificación de acceso. Para realizar un registro de huellas se accede a la sección de “Registro” (figura 4) donde se selecciona de la lista uno de los dispositivos conectados, el cual pasa a modo de captura de huella, en el recuadro irán apareciendo cada una de las tomas de las huellas. Como regla general se debe registrar dos huellas por usuario, cada una se escanea cuatro veces para tener una mejor lectura y precisión.

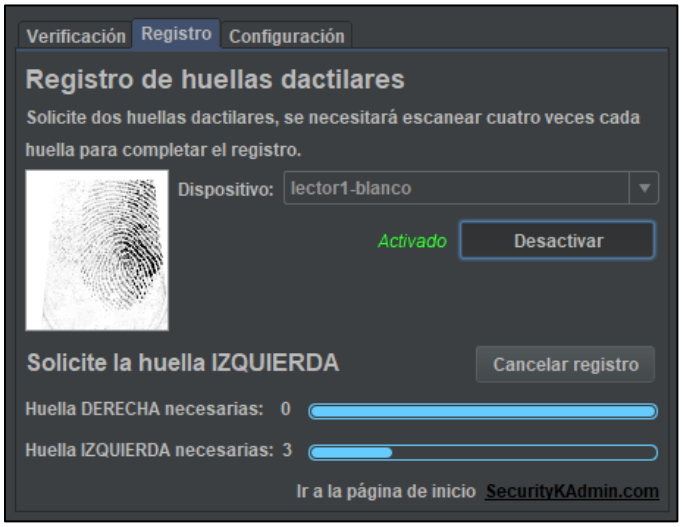


Figura 4. Registro de huellas dactilares.

La verificación de asistencia se realiza en la sección “Verificación” (figura 5) en esta se selecciona uno o dos lectores para la verificación de entrada. De la lista es posible elegir el tipo de verificación, para cada dispositivo, según el tipo de usuario (alumnos y/o personal).

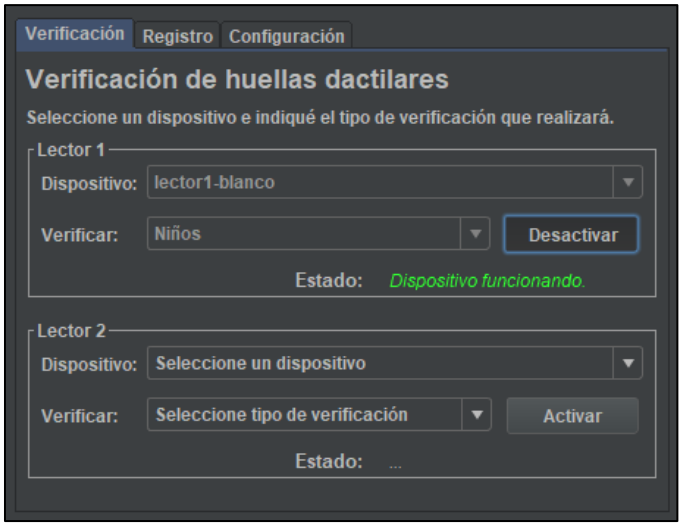


Figura 5. Verificación de huellas para el control de acceso.

3.3 Aplicación de control de acceso.

Para el módulo de control de acceso se desarrolló una aplicación para el sistema operativo Android, esta aplicación es utilizada únicamente por la guardia escolar, la cual se encarga únicamente de vigilar los accesos al plantel.

La aplicación muestra una “flecha” verde cuando un acceso es concedido (figura 6) y una “equis” roja cuando no sea una persona registrada. También se cuenta con un historial de accesos (figura 7) en el cual se visualizan los detalles de las personas accedieron y las fueron denegadas.

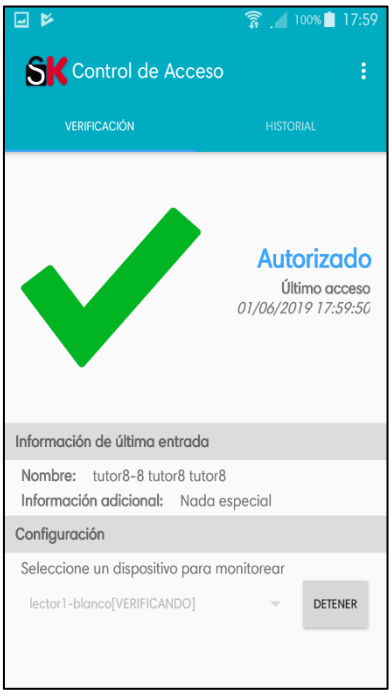


Figura 6. Información de último acceso.

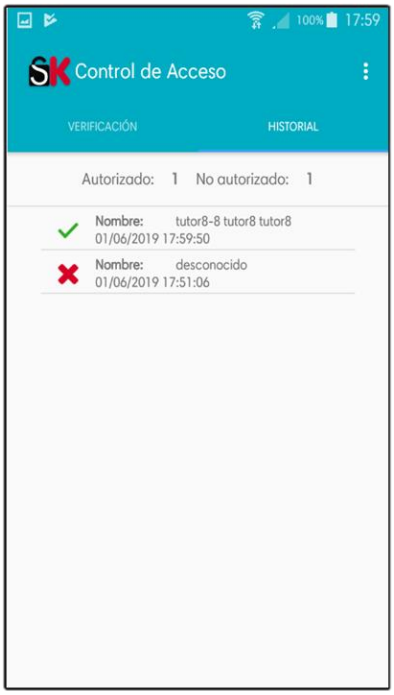


Figura 7. Historial de accesos del día.

3.4 Aplicación de control de grupo.

Esta aplicación muestra en forma de lista los alumnos del grupo que corresponde a cada docente (figura 8) así como su información relevante.

Cuenta con una lista de detalles del día donde se puede ver la hora de entrada he información de la salida de cada alumno (figura 9), en esta sección le corresponde al docente validar (figura 10) la salida de cada alumno con un tutor autorizado y generar el registro al autorizar dicha salida.

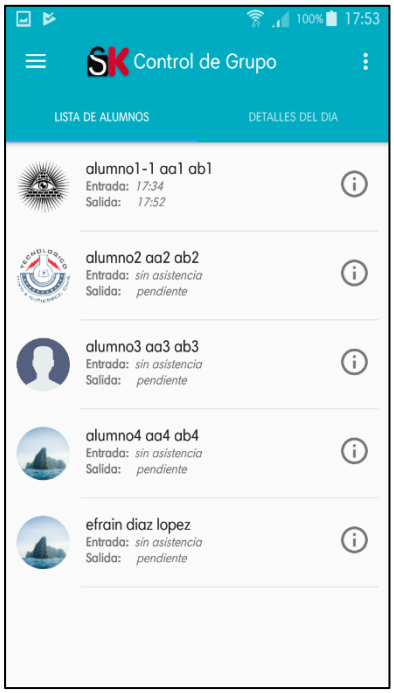


Figura 8. Lista de alumnos.

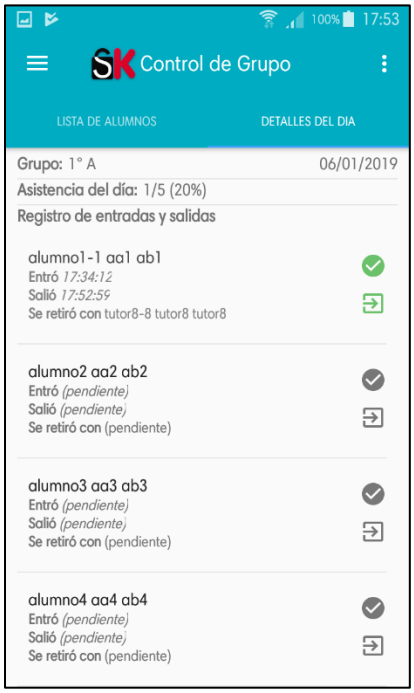


Figura 9. Detalles de entradas y salidas del grupo.

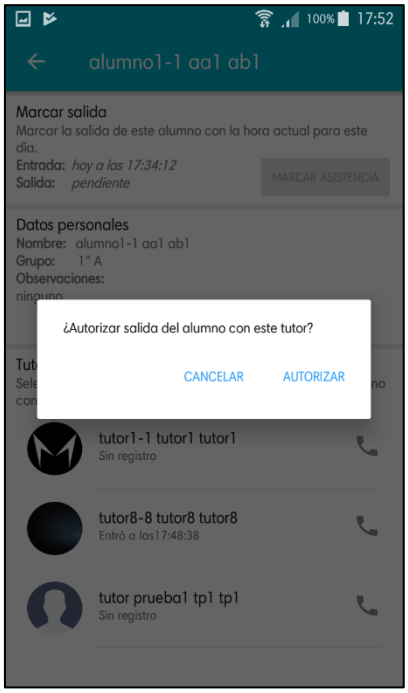


Figura 10. Detalles de entradas y salidas del grupo.

Resultados.

Se realizó la implementación del sistema de seguridad y se dejó funcionando por un mes con el objetivo de que los usuarios utilizarán todas sus funcionalidades, después se realizaron encuestas que permitieron obtener información respecto a las incidencias en entradas y salidas no autorizadas al plantel de manera que fuese posible realizar una comparación con los niveles de incidencias ocurridas en el pasado cuando no se contaba un ningún sistema de seguridad.

Tras obtener las cifras de incidencias actuales se notó un cambio significativo en el número total de estas en comparación con las mediciones anteriores como se aprecia en la gráfica de la figura 11.

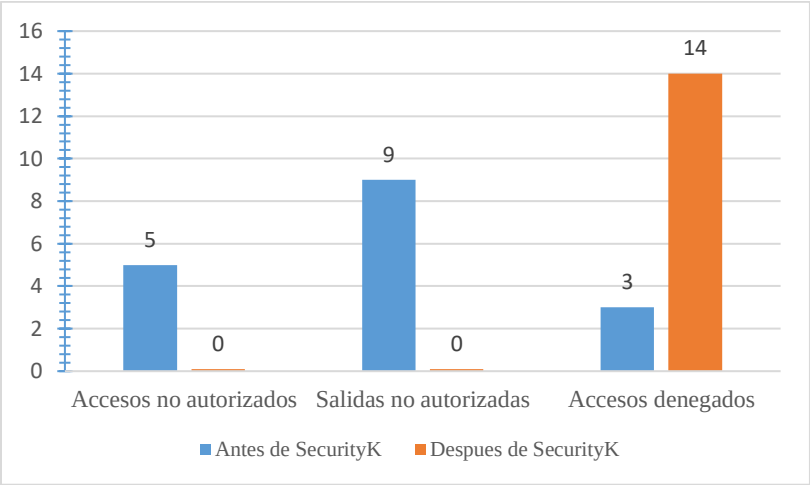


Figura 11. Comparación de incidencias ocurridas en el plantel.

El número de entradas no autorizadas fue de cero, por lo que su porcentaje de cambio fue una disminución del 100% en comparación con las lecturas anteriores, de igual forma el número de salidas no autorizadas fue de cero, obteniendo un porcentaje de cambio de disminución del 100%. Adicionalmente se obtuvo un total de 14 accesos que fueron denegados gracias a la información que proporciona el sistema de manera que el porcentaje de accesos denegados aumentó un 366.66% en contraste con las cifras anteriores.

Conclusiones.

En la actualidad existen cifras altas de incidentes relacionados con la seguridad de los planteles educativos, lamentablemente estas instituciones, en su mayoría, no cuentan con sistemas de seguridad.

Debido a las condiciones presentadas se ideo la propuesta de desarrollar un sistema de seguridad denominado *SecurityK*, el cual integra tecnología de reconocimiento biométrico dactilar para controlar las entradas al plantel y las salidas de los menores.

Durante el tiempo posterior a la implementación del sistema *SecurityK* en el plantel, se observó un aumento del nivel de seguridad. De esta forma se obtuvo un total de cero incidencias por lo que las cifras disminuyeron un 100%, además de eso, la cantidad de accesos denegados aumentó un 366.6% debido a que con el sistema se puede verificar en tiempo real cualquier persona sin autorización y de esta forma evitar su acceso. Por lo mencionado anteriormente, podemos decir que *SecurityK* demostró cumplir las necesidades del plantel educativo disminuyendo el número de incidentes que se presentaban en el control de entradas y salidas además de que se cumplieron las expectativas de los usuarios finales del sistema.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por la formación académica profesional, a la Lic. Mercedes Salustia Moreno Zea del jardín de niños Beatriz Ordoñez Acuña por el apoyo y la confianza brindada para el desarrollo de este proyecto en dicha institución.

Referencias Bibliográficas.

Beck, K. (1999). *Extreme programming explained: embrace change.* Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Claudia, A. (30 de noviembre de 2017). *animal politico*. Obtenido de https://www.animal politico.com/2017/11/desaparicion-de-ninos-pena-nieto/

INEGI. (2010). Obtenido de http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/

Somerville, I. (2005). *Ingenieria de software.* Madrid: PEARSON.

Información de los autores.

Luis Ángel Méndez de León, es egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y por la realización de este proyecto ahora se especializa en el desarrollo de proyectos web y aplicaciones móviles.

Efraín Díaz López, es egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, obtuvo el certificado de la especialidad Mantenimiento de equipos y sistemas computacionales en el Cecati 112 y por la realización de este proyecto ahora se especializa en el desarrollo de proyectos web y aplicaciones móviles.

Rosy Ilda Basave Torres es Maestra en Ciencias en Ciencias de la Computación egresada del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET. Es profesor de asignatura del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales, donde imparte materias de especialidad, programación para Android, Tópicos Avanzados de Programación Web y Taller de Investigación, asesora proyectos de residencia profesional, titulación integral y tesis, ha dirigido y colaborado en diversos proyectos de investigación, es miembro del cuerpo académico ITTUXG-CA-7, colabora en la línea de investigación ITF-TGTZ-LIE-2018-0163, tiene el reconocimiento al perfil deseable y es miembro del Sistema Estatal de Investigadores.

Imelda Valles López, desde 1991, profesora del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Maestro en Administración por el I.T.T.G., en 2001 e Ingeniero en Sistemas Electrónicos por el ITESM en 1990. Docente de las materias de Redes, Teoría Matemática de la Computación y Compiladores. Logros importantes: Fundador de la línea de trabajo "Desarrollo de software para hablantes en lenguas nativas del estado de Chiapas" (2010), Líder de la línea de investigación "Cómputo Educativo", desde 2012, Integrante del cuerpo académico "Tecnología computacional para el desarrollo regional", ITTUXG-CA-4. Desde 2011, Profesor de tiempo completo con perfil deseable (2013-2019), Miembro del Sistema Estatal de Investigadores. Investigador Tecnólogo Nivel I desde 2012.

Octavio Ariosto Ríos Tercero es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales, es Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales egresado del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET. Su experiencia en docencia es en el área de ingeniería de software, matemáticas discretas y programación. Pertenece al cuerpo académico "tecnologías de información para el desarrollo regional". Es líder de la línea de investigación Inteligencia Artificial.

Roberto Cruz Gordillo es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales, es Maestro en Ciencias egresado del INAOE. Su experiencia en docencia es el área de matemáticas para la computación.

Sistema de inmersión-emersión y estabilización para un vehículo submarino autónomo, manipulado mediante un algoritmo de control retroalimentado.

Immersion-emersion and stabilization system for an autonomous submarine vehicle, handled by feedback control algorithm.

José Luis Hernández Ameca* (1).
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, Laboratorio de Sistemas Robóticos ¨SIRO¨.
joseluis.hdzameca@correo.buap.mx.

Enrique Cortés Rodríguez (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, Laboratorio de Sistemas Robóticos ¨SIRO¨, enrique050993@gmail.com.

Elsa Chavira Martínez (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, elsachavira56@hotmail.com.

Luis Enrique Colmenares Guillen (4). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, lecolme@gmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 05, 2019; aceptado en diciembre 16, 2019.

Resumen.

La presente investigación se enfoca al problema de inmersión-emersión y la estabilización de un vehículo submarino autónomo para la exploración de ambientes acuáticos, el cual ha sido de gran interés para investigadores y científicos de las áreas de eléctrica-electrónica, computación, robótica y control. Se propone diseñar, implementar y evaluar un sistema de control retroalimentado propio con base en los trabajos referenciados en este artículo. Una vez desarrollado el sistema se realizaron experimentos para comprobar el sellado, flotación, principio de Arquímedes, estabilidad del casco, movimientos de inmersión-emersión y se evaluó el sistema de estabilización registrando el comportamiento de las bombas en las cámaras de lastre. Como resultados se presentan el diseño realizado en computadora de la cámara de lastre y casco, tablas de activación de bombas, velocidades de inmersión-emersión y gráficas de masa contra tiempo. De acuerdo a la observación y cálculos, se comprobó que, el casco flota cuando su peso es menor que la fuerza de empuje, se observó que a mayor masa la velocidad de inmersión es mayor y a menor masa la velocidad de emersión es mayor.

Palabras clave: Algoritmo, Equipo acuático, Motores, Prototipo, Vehículos.

Abstract.

This research focuses on solving the problems of immersion-emersion and stabilizing an autonomous submarine vehicle to explore aquatic environments, which has been of great interest in areas such as electronics, computer, robotics and control. It is proposed the design, implementation and evaluation of a feedback control system based on the works referenced in this paper. Once the system was finished, experiments were performed to test the sealing, flotation, Archimedes principle, hull stability, immersion-emersion movements and the stabilization system was

evaluated registering the behavior of the pumps in the ballast chambers. As results, the computer design made of the ballast chamber, pump activation tables, immersion-emersion speeds tables and mass versus time graphics are presented. According to observations and the calculations, it has been verified that the hull floats when its weight is less than the pushing force. It has been observed that with greater mass the immersion speed is lower and with a lower mass the emersion speed is higher.

Keywords: Algorithm, engines, prototype, underwater equipment, vehicles.

1. Introducción.

Para investigadores y científicos los vehículos acuáticos sumergibles han sido un tema de interés durante las últimas tres décadas, donde el problema general es el diseño y construcción de vehículos submarinos pequeños, versátiles y no tripulados, con diferentes objetivos como realizar misiones de exploración y explotación de recursos en aguas profundas, levantamiento oceánico profundo, rastreo de cables y tuberías, aplicaciones militares, mapeo detallado del fondo marino para infraestructura submarina, mantenimiento de observatorios de fondo marino, campos petrolíferos sumergidos y recuperación de estaciones bentónicas entre otras (O. Gherairi, 2017).

De acuerdo a la literatura la estabilidad, velocidad y profundidad son parámetros que permiten controlar las posiciones y movimientos de los vehículos submarinos autónomos (AUV). Para realizar dicho sistema de control se han reportado diferentes métodos, técnicas y sistemas.

Existen diferentes trabajos que proponen diversas soluciones al problema de estabilidad, emersión e inmersión de un AUV, como en (S. A. Woods, 2012) el cual describe dos sistemas de control de balastro variable, el primero proporciona un control de profundidad, mientras que el segundo permite ajustar el centro de gravedad a lo largo del eje horizontal fijo del cuerpo del AUV, se presenta una descripción de las ecuaciones de movimiento, el diseño y la implementación de los tanques de lastre, y se describen los controladores desarrollados.

En (A. Agrawal, 2014) se formula un modelo dinámico sobre los parámetros del sistema de hardware para determinar la velocidad de elevación y las posiciones de profundidad alcanzables para varias entradas del perfil de potencia. Las pruebas experimentales muestran que el control de flotabilidad, tal como se explica en las simulaciones, se realizó en el prototipo desarrollado que valida la eficacia del sistema.

También se han desarrollado nuevas estrategias de control proporcional integral derivativo (PID) como en (G. Antonelli, 2001; X. lin, 2009) donde permiten que los AUV trabajen en colaboración con los sistemas de lastre variable delantero y trasero. El suministro de energía interno y las mediciones del ángulo se filtraron utilizando un filtro pasa bajas. Los resultados muestran que los sistemas trabajan juntos de manera efectiva para lograr la profundidad y el peso deseados.

El sistema de lastre para AUV también se ha controlado con una arquitectura jerárquica como en (A. Bi, 2018) donde se propone un sistema basado en un sistema variable tipo on-off, sin embargo, no se ha tomado en cuenta la influencia de perturbaciones externas a los AUV.

El modelo propuesto en (H. Mohiuddin, 2014) y (J. Szymborski, 2002) con motores Stirling como sistemas de propulsión hacen que el submarino sea confiable y económico. Sin embargo, tiene algunas deficiencias, como la incapacidad de aplicación para obtener información altamente precisa debido a la falta de un sistema de control inteligente, y también algunas fallas internas.

En (T. Wang, 2011) se presenta un nuevo tipo de estructura de robot submarino en forma de plato, este fue optimizado por los resultados de la simulación hidrodinámica. Estos resultados dieron una referencia importante a la estimación de la fuerza, el diseño de maniobrabilidad y el análisis del robot en forma de plato.

En el diseño de piezas y estructuras para AUV se ha utilizado herramientas de diseño asistido por computadora como en (Z. Liu, 2011) en el cual se presenta un modelo 3D recientemente mejorado de varias hélices de chorro de agua, la estructura del robot se ilustra brevemente. Para superar las propiedades indeseables del modelado en 2D, se diseña un modelado más preciso, que adopta un sensor de celda de carga de 6 ejes para detectar las fuerzas de propulsión en las direcciones de los ejes (x,y) y los pares simultáneamente. Posteriormente, se llevan a cabo una serie de experimentos submarinos para descubrir las relaciones cerradas entre los ángulos de regulación en el plano horizontal, vertical, las fuerzas y momentos generados por una sola hélice en el robot. Los resultados experimentales mostraron que el sistema de propulsión avanzado es mucho más apropiado para estudiar en robots submarinos.

Para resolver el problema de hundir un cuerpo en agua se debe tomar en cuenta principios de la física y algunas leyes fundamentales, especialmente el principio de Arquímedes como en (G. Antonelli, 2008) donde el objetivo principal de dicha investigación es diseñar y fabricar un prototipo de submarino para que esté disponible experimentalmente. Se cumple con la necesidad de un diseño económico e innovador para garantizar un prototipo: inteligente, con propulsión, sistema de buceo y sistema eficiente de energía. Los sistemas de propulsión y potencia son proporcionados por motores y una batería. La comparación de la clasificación de profundidad con otros submarinos hace que el prototipo sea único en algunos casos. Sumergir hidrostáticamente este diseño implica básicamente el principio de Arquímedes y la fuerza de flotación, donde la flotabilidad negativa se ejerce ya sea aumentando su peso o disminuyendo su desplazamiento de agua.

En este documento se propone una solución para resolver el problema de inmersión-emersión y estabilización de un AUV, mediante un algoritmo de control retroalimentado, un diseño propio de cámaras de lastre y casco, para lo cual se utilizó un software de diseño asistido por computadora (CAD). En la segunda sección se presentan la metodología, materiales, diagramas e ilustraciones utilizados para el desarrollo de este trabajo. La tercera sección describe los diferentes experimentos realizados que permitieron observar, registrar, validar y reportar el funcionamiento del sistema propuesto. En la cuarta sección se muestran los resultados obtenidos durante la fase experimental mediante tablas y figuras. La última sección consta de la interpretación de resultados, conclusiones y el trabajo que se planea realizar a futuro.

2. Métodos.

En el presente trabajo se propone una metodología de inmersión-emersión (SIE) fundamentada en el sistema de lastre de los submarinos. En dicho sistema se varía la masa mediante el llenado o vaciado del agua en las cámaras de lastre aumentando el peso, con la finalidad de manipular los movimientos de inmersión–emersión.

El tamaño del casco y las cámaras de lastre se diseñaron con las medidas propuestas en la fig. 1, donde se muestra el isométrico del casco y las cuatro cámaras de lastre con sus respectivas medidas.

La presión total que ejerce el agua (fuerza de flotación $F_{flotabilidad}$) al casco del AUV sumergido se ha obtenido mediante la sumatoria de la fuerza de empuje E y la presión hidrostática P_H.

$$F_{flotabilidad} = E + (-P_H) \tag{1}$$

Las vistas frontal, lateral y aérea del casco se muestran en la fig.2.

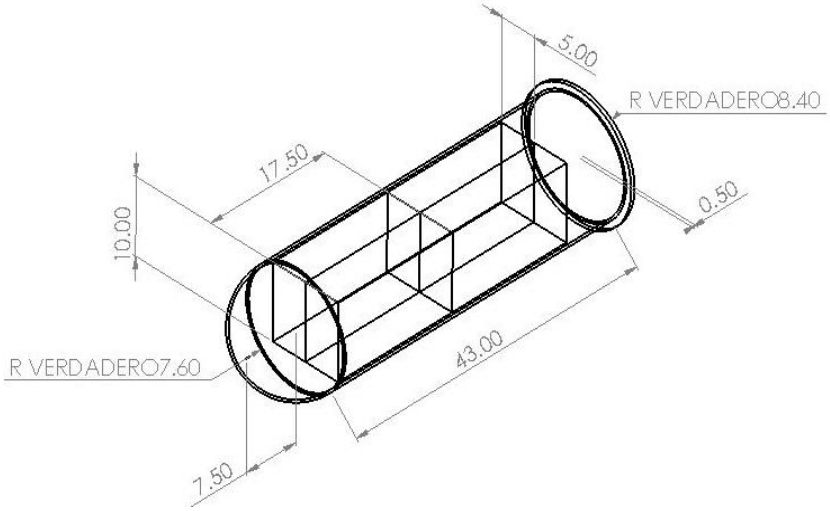


Figura 1. Isométrico de cámara de lastre y casco del AUV (las dimensiones están dadas en centímetros por el Sistema Internacional de Unidades).

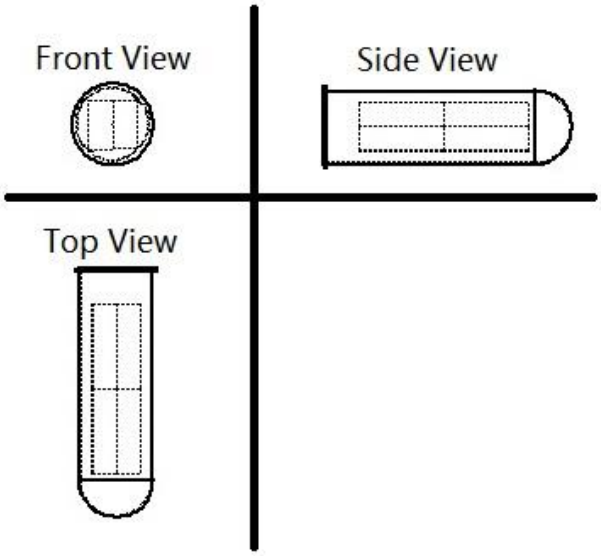


Figura 2. Vistas del casco.

El diseño texturizado fue realizado en un software CAD el cual se muestra en la fig.3, este sirvió como guía principal para la implementación física del prototipo implementar físicamente el prototipo.

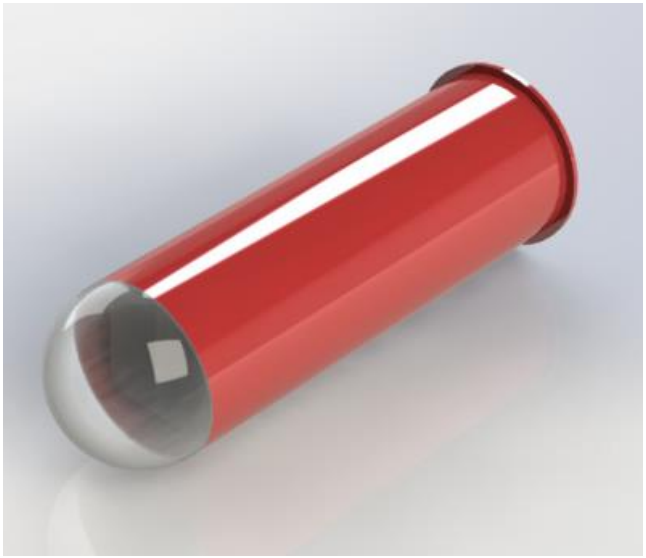


Figura 3. Diseño del casco.

La presión hidrostática se define por la expresión

$$P_h = (\delta * g * h) \tag{2}$$

Donde $\boldsymbol{\delta = 997\ Kg/m^3}$ densidad del agua, $\boldsymbol{g = 9.8\, m/s^2}$constante de aceleración de la gravedad y $\boldsymbol{h}$ la profundidad de trabajo. Sustituyendo los valores con una profundidad de 1.7m (alberca de pruebas) se obtuvo la presión que recibe el casco $\boldsymbol{16610.02\ N/m^2}$.

De acuerdo al principio de Arquímedes se establece que, "Todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente igual al peso del fluido desalojado" (H. Pérez 2014). Esta fuerza recibe el nombre de empuje.

$$E = m \cdot g = (\delta \cdot g \cdot v) \tag{3}$$

donde $\boldsymbol{m = 6.99\ kg}$ es la masa del casco.

El volumen $(\boldsymbol{v})$ del fluido desplazado es equivalente al volumen del casco $(\boldsymbol{v_T})$. El $\boldsymbol{v_T}$ se ha calculado con:

$$\sum (v_1, v_2, \dots, v_n) = v_T \tag{4}$$

Siendo $\boldsymbol{v_1 = 0.007803 m^3}$ el volumen del cilindro.

$$v_1 = (\pi \cdot r^2) \cdot h \tag{5}$$

El $\boldsymbol{v_2}$corresponde al volumen de la semi esfera $\boldsymbol{0.0009194\ m^3}$ calculado con la expresión.

$$v_2 = \frac{2}{3}\pi \cdot r^3 \tag{6}$$

Realizando la sumatoria de $\boldsymbol{v_1}$ y $\boldsymbol{v_2}$se obtuvo que $\boldsymbol{v_T = 0.008722 m^3}$.

De acuerdo al principio de Arquímedes la fuerza de empuje $(\boldsymbol{E})$ ascendente que recibe el casco es igual a $\boldsymbol{85\ N}$.

En la fig. 4 se muestran las fuerzas que afectan al casco sumergido en el agua.

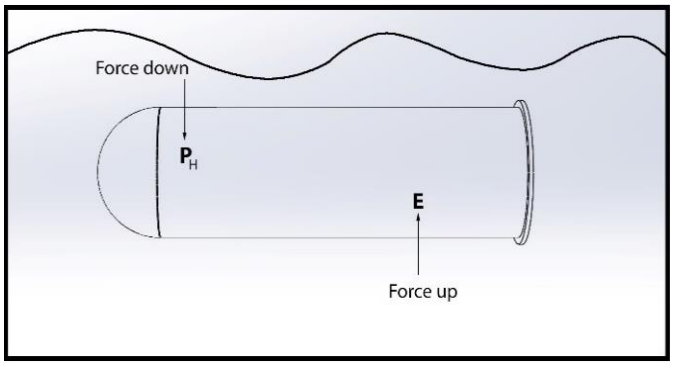


Figura 4. Representación de las fuerzas que intervienen en el casco.

La posición del centro de flotabilidad y gravedad se ubica en el origen (0,0,0), el cual se utiliza como referencia para controlar los movimientos longitudinales $(\boldsymbol{x})$ y transversales $(\boldsymbol{y})$ dentro de los intervalos que se presentan en la tabla I, los ejes y ángulos de rotación se muestran en el diagrama de cuerpo libre en la fig.5.

Tabla 1. Intervalos de control.

Eje	Movimiento	Valor inferior	Valor superior
x	longitudinal	$-5°$	$5°$
y	transversal	$-5°$	$5°$

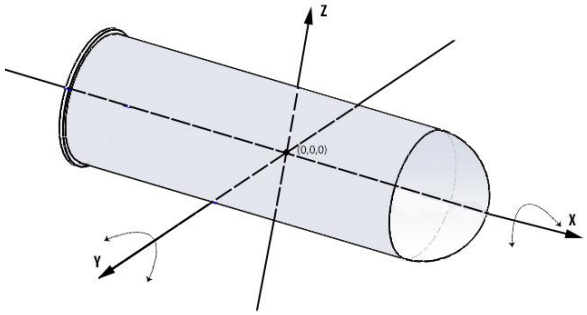


Figura 5. Diagrama de cuerpo libre.

De acuerdo a las recomendaciones presentadas en (H. A. Moreno, 2014) los factores que se deben considerar para el diseño del casco son: la profundidad de operación (la presión hidrostática que soportará), los niveles de temperatura, resistencia a la corrosión, volumen de los elementos internos, facilidad para ensamblar/desensamblar, factibilidad de construcción, considerar las fuerzas de arrastre que se generan por movimientos y costo de materiales. Estas fuerzas son proporcionales al cuadrado de la velocidad del robot. Cuando el robot se mueve a velocidad constante, la fuerza generada por el impulsor es igual a las fuerzas de arrastre. Por lo tanto, a menores fuerzas de arrastre menor es la energía consumida durante la navegación del AUV. Las fuerzas de arrastre dependen en gran medida de la geometría del casco.

Para el diseño del AUV se recomienda una cabina con forma cilíndrica. Esto se debe a que (para un determinado volumen) las fuerzas de arrastre que se generan son pequeñas cuando se comparan con otras geometrías. Por otro lado, esta forma geométrica es adecuada para resistir la presión hidrostática generada a grandes profundidades (C. T. Ross, 2005). Además, la manufactura de una cabina con esta geometría es relativamente simple y esto a su vez tiene consecuencias favorables en el costo.

En este caso el casco se armó con policloruro de vinilo (PVC) debido a sus características termoplásticas, cabe mencionar que este material no se oxida ni se corroe.

El diseño estructural del SIE está conformado por 4 cámaras de lastre, las cuales contienen una bomba para llenado $(\boldsymbol{b_1}, \boldsymbol{b_2}, \boldsymbol{b_3}, \boldsymbol{b_4})$y una bomba para vaciado $(\boldsymbol{b_5}, \boldsymbol{b_6}, \boldsymbol{b_7}, \boldsymbol{b_8})$ del agua fig.6. El sistema se alimentó con una fuente de voltaje de 11.1 v a 2.2 A de Polímero de Litio (LiPO).

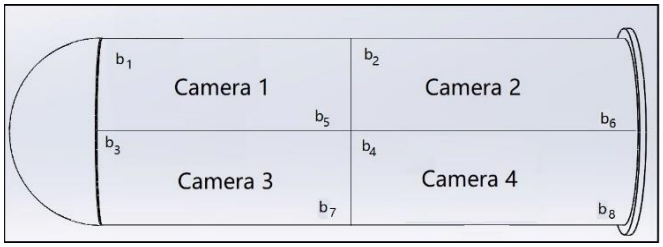


Figura 6. Diseño estructural del casco del AUV.

Basados en la expresión para el cálculo del volumen de un prisma rectangular.

$$v = A_b \cdot h \tag{7}$$

$$v = (a \cdot b) \cdot h \tag{8}$$

Se calculó el volumen de cada una de las cámaras siendo $\boldsymbol{a}$ y $\boldsymbol{b}$ los lados de la base y $(\boldsymbol{h})$ la altura.

Al sustituir los valores correspondientes se obtuvo que el volumen de cada una de las cámaras de lastre es de $\boldsymbol{0.000875\ m^3}$ teniendo como capacidad de almacenamiento de 0.875 lts obteniendo 3.5 kg por todas las cámaras.

El algoritmo de control retroalimentado del SIE está representado mediante un diagrama de rutinas secuenciales fig. 7. El algoritmo comienza recibiendo una señal a la cual es comparada, si la señal es igual a $\boldsymbol{i}$ (inmersión), se activan al mismo tiempo las bombas de llenado $(\boldsymbol{b_1}, \boldsymbol{b_2}, \boldsymbol{b_3}, \boldsymbol{b_4})$, este proceso tiene una duración de diez segundos (tiempo necesario para que el casco este sumergido completamente gracias al aumento de su masa), al término de este tiempo las bombas son apagadas para dar inicio al sistema de estabilización.

El sistema de estabilización trabaja con la información proporcionada por el giroscopio. Su trabajo consiste en verificar que los ángulos de inclinación estén dentro de los intervalos $(\boldsymbol{-5° > x < 5°})$ y $(\boldsymbol{-5° > y < 5°})$ correspondientes a los movimientos longitudinales $(\boldsymbol{x})$ y transversales $(\boldsymbol{y})$. Cuando el ángulo longitudinal sea mayor a $\boldsymbol{-5°}$ se activan las bombas $\boldsymbol{b_1}$ y $\boldsymbol{b_2}$, en caso contrario se activan $\boldsymbol{b_3}$ y $\boldsymbol{b_4}$. Para los movimientos transversales si el ángulo de inclinación es mayor a $\boldsymbol{-5°}$ se activan las bombas $\boldsymbol{b_1}$ y $\boldsymbol{b_3}$, en caso contrario se activan $\boldsymbol{b_2}$ y $\boldsymbol{b_4}$.

Una vez terminadas las comparaciones, el lazo de retroalimentación vuelve a verificar la señal de entrada $\boldsymbol{a}$. Si $\boldsymbol{a}$ es distinta de $\boldsymbol{i}$, se inicia el proceso de emersión, en el cual se activan las bombas de vaciado $(\boldsymbol{b_5}, \boldsymbol{b_6}, \boldsymbol{b_7}, \boldsymbol{b_8})$ durante 10 segundos (tiempo requerido para expulsar el agua introducida durante el proceso de inmersión) para reducir su masa, lográndose la emersión del casco.

Al terminar los diez segundos, inicia el sistema de estabilización, el cual verifica la condición: cuando el ángulo longitudinal esta fuera de los rangos establecidos, activa $\boldsymbol{b_7}$ y $\boldsymbol{b_8}$, en caso contrario activa $\boldsymbol{b_5}$ y $\boldsymbol{b_6}$. Para el caso de los movimientos transversales se activan ($\boldsymbol{b_6}$ y $\boldsymbol{b_8}$) o ($\boldsymbol{b_5}$ y $\boldsymbol{b_7}$) según sea el caso.

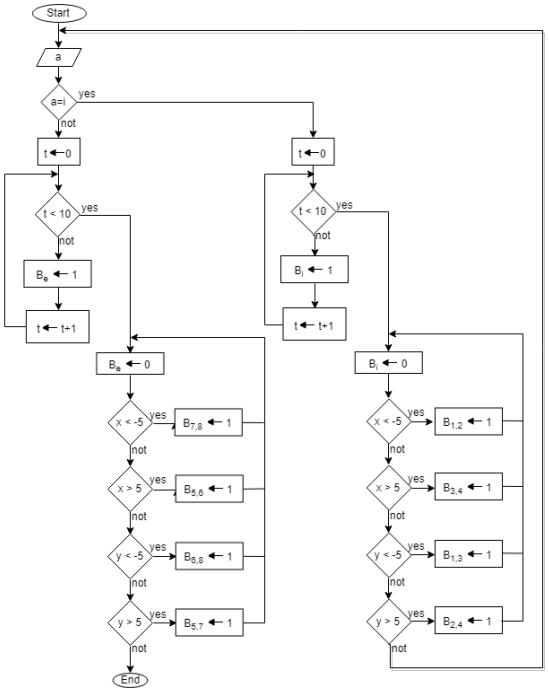


Figura 7. Diagrama de flujo del algoritmo de control retroalimentado.

Descripción de experimentos.

El prototipo de SIE y estabilización se construyó dentro del laboratorio de Sistemas Robóticos (SIRO) de la FCC-BUAP. Se inicio por el armado y sellado de las cámaras de lastre, posteriormente se adaptaron las bombas de llenado y vaciado en cada una de las cámaras, se realizaron los cortes de PVC con las medidas establecidas para el casco y por último, se realizó la adaptación de cámaras y giroscopio dentro del casco del AUV.

Los experimentos que a continuación se describen fueron realizados en un ambiente controlado (alberca con 1.7m de profundidad y temperatura ambiente).

En el primer experimento se verificó el sellado de las cámaras de lastre y casco. El segundo experimento consistió en colocar el prototipo en estado de flotación para verificar su estabilidad. Se provocaron los movimientos longitudinales y transversales, para corroborar el funcionamiento del sistema de estabilización de lazo cerrado. El tercer experimento consistió en la inmersión y emersión del casco, mediante la señal $\boldsymbol{i}$. Donde se ha tomado en consideración el tiempo y la masa. En el cuarto experimento se comprobó el principio de Arquímedes ejecutando el proceso de inmersión variando el peso del casco. El quinto experimento consistió en activar el SIE y el sistema de estabilidad como se muestra en el diagrama de flujo fig. 8.

3. Resultados.

El primer experimento consto de seis eventos, en los cuales se observaron filtraciones en las uniones de la cámara de lastre y el casco, las cuales se corrigieron paulatinamente, hasta lograr el aislamiento total del casco.

El segundo experimento consto de tres eventos, donde se observó que en los primeros dos, la distribución de los elementos no permitía mantener el centro de masa de acuerdo al diseño realizado en software, por lo que se realizaron algunas modificaciones de distribución de espacios. En el último evento se observó que el sistema de estabilización trabajó según las condiciones dadas en la tabla I, se verificó la activación correcta de las bombas cuando el giroscopio detectó inclinaciones fuera del rango. La activación de las bombas se registró en las tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Activación de bombas i-e.

Acción	Bomba	Estado
Inmersión	b1, b2, b3, b4	1
	b5, b6, b7, b8	0
Emersión	b1, b2, b3, b4	0
	b5, b6, b7, b8	1

Tabla 3. Estado de las bombas acción de inmersión.

Movimiento	Grados	Bomba	Estado
Longitudinal (x)	x<-5	b1, b2	1
		b3, b4, b5, b6, b7, b8	0
	x>5	b3, b4	1
		b1, b2, b5, b6, b7, b8	0
Transversal (y)	y<-5	b1, b3	1
		b2, b4, b5, b6, b7, b8	0
	y>5	b2, b4	1
		b1, b3, b5, b6, b7, b8	0

Tabla 4. Estado de las bombas acción de emersión.

Movimiento	Grados	Bomba	Estado
Longitudinal (x)	x<-5	b7, b8	1
		b1, b2, b3, b4, b5, b6	0
	x>5	b5, b6	1
		b1, b2, b3, b4, b7, b8	0
Transversal (y)	y<-5	b6, b8	1
		b1, b2, b3, b4, b5, b7	0
	y>5	b5, b7	1
		b1, b2, b3, b4, b6, b8	0

En el tercer experimento se midieron los tiempos de inmersión y emersión, los cuales fueron variando mediante el aumento de la masa del tanque. El tiempo de inmersión con la masa mínima de 8.69kg fue de 17s y con la máxima de 10.39kg fue de 5s ya que a mayor masa menor tiempo de inmersión como se muestra en fig. 8, en caso contrario para el proceso de emersión se obtuvo un tiempo máximo de 15s y un tiempo mínimo de 5 s fig. 9.

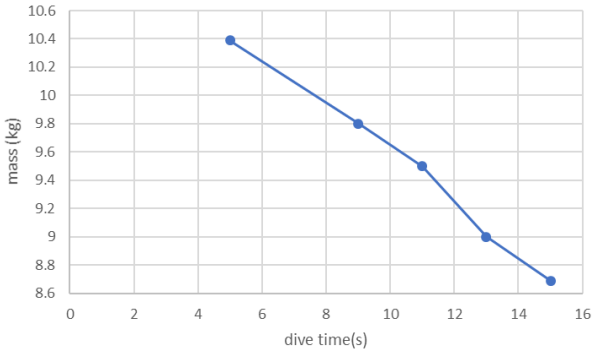


Figura 8. Tiempo de inmersión contra masa.

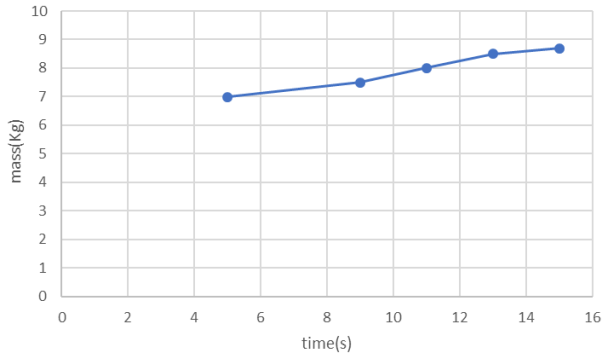


Figura 9. Tiempo de emersión contra masa.

En el cuarto experimento se realizaron tres eventos, en el primero se tomó en cuenta el peso inicial del casco $\mathbf{68.502}\ \boldsymbol{N}$ calculado con:

$$w = m \cdot g \tag{9}$$

Teniendo como resultado que el casco flota en su totalidad, en el segundo evento, se igualó el peso con la fuerza de empuje mediante el aumento de la masa, dando como resultado la inmersión parcial del casco. En el último evento, se aumentó la masa del casco a $\mathbf{8.69}\ \boldsymbol{Kg}$ observándose la inmersión total.

El quinto experimento constó de ejecutar el sistema completo (SIE y estabilidad), donde se observó que el casco descendió y ascendió con diferentes velocidades en función de la masa como se muestra en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Velocidad de inmersión.

Tiempo(s)	masa (kg)	velocidad(cm/s)
5	10.39	34.00
9	9.8	18.89
11	9.5	15.45
13	9	13.08
15	8.69	11.33

Tabla 6. Velocidad emersión.

Tiempo(s)	masa (kg)	velocidad(cm/s)
15	8.69	11.33
13	8.5	13.08
11	8	15.45
9	7.5	18.89
5	6.99	34.00

Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cinco experimentos se demostró que en la implementación del proyecto se presentaron problemas que no fueron tomados en cuenta durante la etapa de diseño, como el sellado, distribución de componentes y consumo de la batería.

De acuerdo a las gráficas obtenidas en fig. 7 y 8 y las tablas 4 y 5 se observó que a mayor masa la velocidad de inmersión es mayor y a menor masa la velocidad de emersión es mayor.

De acuerdo al cálculo de la presión hidrostática se concluye que el prototipo es capaz de soportar $\mathbf{98000}\ \boldsymbol{N/m^2}$ lo cual le permite descender a una profundidad máxima de 10 m, debió al área donde se realizaron las pruebas solo se pudieron corroborar nuestros cálculos hasta una profundidad máxima de 1.7 m.

Debido a los resultados obtenidos se comprobó que el sistema propuesto es una opción viable para resolver el problema de estabilidad, inmersión-emersión de un AUV. También se comprobó que el SIE funciona de manera similar a los trabajos referenciados en la parte II.

Como trabajo futuro se buscará optimizar el rendimiento de la batería, modelar matemáticamente el sistema en función de las variables internas y externas, con la finalidad de obtener mejores tiempos de reacción y disminuir errores en ambientes no controlados, utilizando técnicas de simulación y agregar un sistema que permita manipular la profundidad en la que se desplaza el AUV.

Agradecimientos.

Agradecemos a los integrantes del laboratorio SIRO (alumnos y profesores), que han brindado sus conocimientos, habilidades y experiencias directa e indirectamente durante el desarrollo de este proyecto. A la facultad de Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Referencias Bibliográficas.

A. Agrawal, B. Prasad, V. Viswanathan, and S. K. Panda, (2014). *Dynamic Modeling of Variable Ballast Tank For Spherical Underwater Robot*. IEEE J. Ocean. Eng., vol. 40, no. 2, 2014, ISBN 978-1-4673-4569-9, DOI: 10.1109/ICIT.2013.6505648.

A. Bi and Z. Feng, (2018). *Hierarchical Control of Underwater Vehicle Variable Ballast Systems*. IEEE Xplore Date of Conference: 25-27 July 2018, Wuhan, China, ISBN 978-988-15639-5-8, DOI: 10.23919/ChiCC.2018.8482802.

C. T. Ross, (2005). *A conceptual design of an underwater vehicle*. ELSEVIER Ocean Engineering, vol. 33, Issue 16, November 2006, Pages 2087-2104, DOI: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.11.005.

G. Antonelli, D. Yoerger and T. I. Fossen, (2008). *Underwater Robotics*. Springer Handbook of Robotics (pp.987-1008), January 2008, ISBN 978-3-540-23957-4, DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5_44.

G Antonelli and S. Chiaverini, (2006). *Kinematic Control of Platoons of Autonomous Vehicles*. IEEE Transactions on Robotics, vol. 22, no. 6, pp.1286-1287, December 2006, ISSN 1941-0468, DOI: 10.1109/TRO.2006.886272

G. Antonelli, S. Chiaverini and N. Sarkar, (2001). *Adaptive control of an autonomous underwater vehicle experimental results on ODIN*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol 9, no 5, September pp.756-765, 2001, ISSN 1558-0865, DOI: 10.1109/87.944470.

H. A. Moreno, R. Saltarén, L. Puglisi, I. Carrera, P. Cárdenas and C. Álvarez, (2014). *Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 3-19, ene. 2014, ISSN 1697-7920, DOI: https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.11.001.

H. Mohiuddin, S. Morsalin and K. Mahmud, (2014). *Design and fabrication of a prototype submarine using Archimedes principle*. IEEE Xplore Date of Conference: 23-24 May 2014, Dhaka, Bangladesh, ISBN 978-1-4799-5180-2, DOI: 10.1109/ICIEV.2014.6850769.

H. Pérez, (2014). *Principio de Arquímedes y flotación de los cuerpos*. México: Grupo editorial patria (2014).

J. Szymborski, (2002). *Lead-acid batteries for use in submarine applications*. IEEE Conference: 21-21 June 2002, San Antonio, TX, USA, ISBN 0-7803-7572-6, DOI: 10.1109/AUV.2002.1177196.

O. Gherairi, M. B. Hamed and R. Boucetta, (2017). *Dynamic model of underwater vehicle*. IEEE 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), 23-25 March 2017, Hammamet, Tunisia, ISBN 978-1-5090-6287-4, DOI: 10.1109/GECS.2017.8066192.

S. A. Woods, R. J. Bauer, and M. L. Seto, (2012). *Automated Ballast Tank Control System for Autonomous Underwater Vehicles*. IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 37, no. 4, october 2012, ISSN 1558-1691, DOI: 10.1109/JOE.2012.2205313.

T. Wang, X. Ye, L. Wang and Chao Zhang, (2011). *Hydrodynamic Analysis and Optimization for Dish Shaped Underwater Robot*. Proceedings of the 2011 IEEE, International Conference on Mechatronics and Automation: August 7 - 10, Beijing, China, ISSN 2152-744X, DOI: 10.1109/ICMA.2011.5985782.

X. lin, S. Guo, Y. Hao, X. Ye, C. Qiu and J. Du, (2009). *A Simplified Dynamic Modeling of a Spherical Underwater Vehicle*. Proceedings of IEEE International conference on Robotics and Biomimetics, Bangkok, Thailand, February 21-26 2009, ISBN 978-1-4244-2678-2, DOI: 10.1109/ROBIO.2009.4913161.

Z. Liu, S. Guo, H. Li and X. Lin, (2011). *An Improved 3D Modeling of Water-jet Propellers for a Spherical Underwater Robot*. Proceedings of the 2011 IEEE, International Conference on Mechatronics and Automation: August 7 - 10, Beijing, China, ISSN 2152-744X, DOI: 10.1109/ICMA.2011.5985677.

Información de los autores.

José Luis Hernández Ameca. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico del Instituto Tecnológico de Puebla en 2001. En 2005 recibió el título de Maestro en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). En 2017 obtuvo el título de Doctor en Planificación Estratégica y Gestión de la Tecnología de la Universidad Popular Autónoma de Puebla (UPAEP). De 2002 a 2004 trabajó como Ingeniero en el departamento de implementación de proyectos de la empresa digital IUSACEL. Trabaja como Profesor en la facultad de Ciencias de Computación de la BUAP desde 2007, donde su línea de investigación es la robótica y aprendizaje.

Enrique Cortés Rodríguez, estudiante de la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Actualmente se encuentra realizando su tesis en el laboratorio (SIRO). Ha participado con exposición de carteles y conferencias en los congresos: IX Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud (CONTACS), Congreso Nacional de Ciencias de la Computación (CONACIC), VII Congreso Nacional de Tecnologías en la Educación (CONTE). Durante su colaboración en dicho laboratorio ha participado en el concurso ¨COCOTRON¨ obteniendo el primer lugar. Participó como miembro del Comité Organizador del VII Torneo Nacional de Robótica ¨GUERRA DE DIOSES¨. Por último, ha sido miembro del Comité Organizador del pasado evento ¨NOCHE DE LAS ESTRELLAS SEDE BUAP 2019¨.

Dra. Elsa Chavira Martínez, Licenciatura en Física, BUAP, la Maestría en Ciencias en Física del Estado Sólido en el Instituto de Física, BUAP y obtuvo en grado de Doctora en Ingeniería Biomédica UAPEP, Posgrado de Excelencia PNP, CONACYT. Como científica e investigadora ha trabajado en: Física de Superficies, Materiales Semiconductores, es especialista en el crecimiento de Silicio monocristalino por la técnica Czochralski, en el campo de la Microelectrónica, ha diseñado diversos Circuitos Integrados de Aplicación Específica. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) en la BUAP, como Profesora - Investigadora Titular A Tiempo Completo.

Luis Enrique Colmenares Guillén, realizó sus estudios de la Licenciatura en Computación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La Maestría en la Universidad de las Américas Puebla. El doctorado fue realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona España. Actualmente es profesor investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP. Pertenece a un cuerpo académico Prodep. Es miembro del Registro Conacyt de Evaluadores Acreditados (RCEA). Pertenece a dos redes temáticas Conacyt. Pertenece al padrón de Investigadores y de Consultores de la BUAP. Actualmente tiene publicaciones nacionales e Internacionales, además tiene cuatro patentes registradas y dos títulos de patente. En la Facultad de Ciencias de la Computación ha impartido las cátedras de Sistemas Operativos, Administración de proyectos, Sistemas Distribuidos, Procesamiento Digital de imágenes, Sistemas de tiempo real. Actualmente ha desarrollado algoritmos y sistemas clasificadores para el área de la Inteligencia artificial y reconocimiento de patrones.

Sistema web para la automatización del modelo FPEIR en la evaluación del impacto ambiental en el cambio de uso del suelo.

Web system for the automation of the FPEIR model in the evaluation of the environmental impact in the change of land use.

Miriam Martínez Solís (1).
Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, Valle de Bravo.
isc.martinez.ms@tesvb.edu.mx

Mariana Carolyn Cruz Mendoza* (2). Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, Valle de Bravo. cruz.m@tesvb.edu.mx

César Primero Huerta (3). Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, Valle de Bravo. primero.c@tesvb.edu.mx

José Antonio De La Cruz Hernández (4). Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, Valle de Bravo. delacruztesvb@outlook.es

Yasmin Elizabeth Reyes Martínez (5). Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo, Michoacán, Ciudad Hidalgo. yas_23eliza@hotmail.com

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 29, 2019; aceptado en diciembre 10, 2019.

Resumen.

La evaluación del impacto ambiental para el cambio de uso de suelo es el procedimiento, a través del cual se establecen las condiciones a que se sujetará, la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente, preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. La presente investigación "Evaluación De Impactos Ambientales En El Cambio De Uso De Suelo" tiene como objetivo conocer las fases del modelo FPEIR (Fuerzas motrices, Presión, Estado, Impactos y Respuestas posibles), para después transformarlo a un sistema web que permita evaluar los subsistemas físico, biótico y antrópico antes de realizar el cambio de suelo, además, permitirá la optimización de recursos.

Palabras clave: Cambio de uso de suelo, modelo FPEIR, sistema web, automatización, evaluación.

Abstract.

The environmental impact assessment for the change of land use is the procedure, through which the conditions to which it will be subject are established, the performance of works and activities that can cause an ecological imbalance or exceed the established limits and conditions in the applicable provisions. to protect the environment, preserve and restore ecosystems, to avoid or minimize their negative effects on the environment. The present investigation "Evaluation of the environmental impacts in the change of the use of the land" has as objective to know the phases of the FPEIR model (Motor Forces, Pressure, State, Impacts and possible answers), and then transform it into a web

system that allows evaluate Physical, biotic and anthropic subsystems before changing the soil will also allow the optimization of resources.

Keywords: land use change, FPEIR model, web system, automation, evaluation.

Introducción.

Para realizar el uso de cambio de suelo es necesario realizar un estudio previo, este debe ser realizado por una persona experta que permita realizar una valoración para conocer la incidencia en el medio ambiente y juzgar si los efectos de tales obras sobre el medio ambiente son importantes o no, benéficos o perjudiciales.

Para realizar la evaluación de impactos ambientales existen diversas metodologías tales como la matriz de Leopold y en Europa el modelo FPEIR(Presión-Estado-Fuerza-Motriz-Impacto-Respuesta) sin embargo dicho proceso no se encuentra automatizado para realizar la evaluación de una manera rápida y eficaz por lo cual surge la propuesta de poder realizar la automatización de este proceso para agilizar el procedimiento y se ejecuten evaluaciones rápidas y confiables.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) establece la regulación del cambio de uso de suelo en terrenos forestales (CUSTF), la cual define como la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales. Para realizar el trámite de cambio de uso suelo, debe realizarse un estudio técnico justificativo el cual determine el daño de los impactos.

Recolección de requisitos e información.

Para el desarrollo del sistema web fue necesario revisar y establecer una red de impactos primarios que serían evaluados, para identificar las cuatro etapas del proyecto, preparación, construcción, operación y abandono, estableciendo una escala de medición basada en criterios.

Métodos.

Para estimar la naturaleza y magnitud de los posibles impactos ambientales, se generó un modelo de interacción entre los componentes del sistema ambiental con las actividades de la ampliación del proyecto y los impactos positivos o negativos que se producen.

Se identificaron en las cuatro etapas del proyecto, preparación, construcción, operación y abandono; una vez identificados se generó un Modelo de Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FMPEIR) con el cual se describen, caracterizan y evalúan los impactos.

El Modelo FMPEIR está basado en la lógica de la causalidad, reconociendo que la acción del ser humano genera presiones (emisiones, residuos, contaminantes, daños a elementos, entre otros) sobre el ambiente, afectando sus componentes y la cantidad y calidad de bienes y servicios ambientales generados; ante lo cual la sociedad puede responder a través de medidas y políticas ambientales, económicas y sectoriales, así como cambios en la percepción y comportamiento (respuesta social) con el fin de romper la cadena de causalidad que afecta al ambiente.

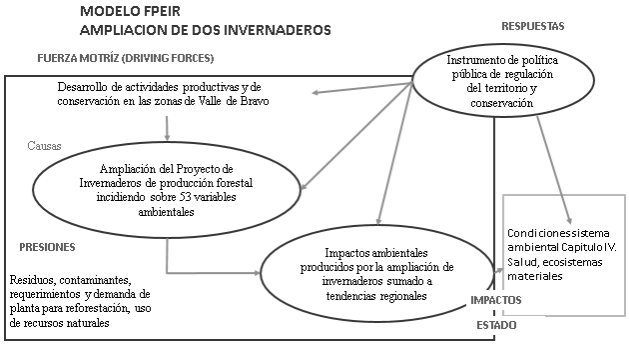


Figura 1. Modelo FPEIR autoría propia.

A continuación, se presenta un diagrama que esquematiza este proceso.

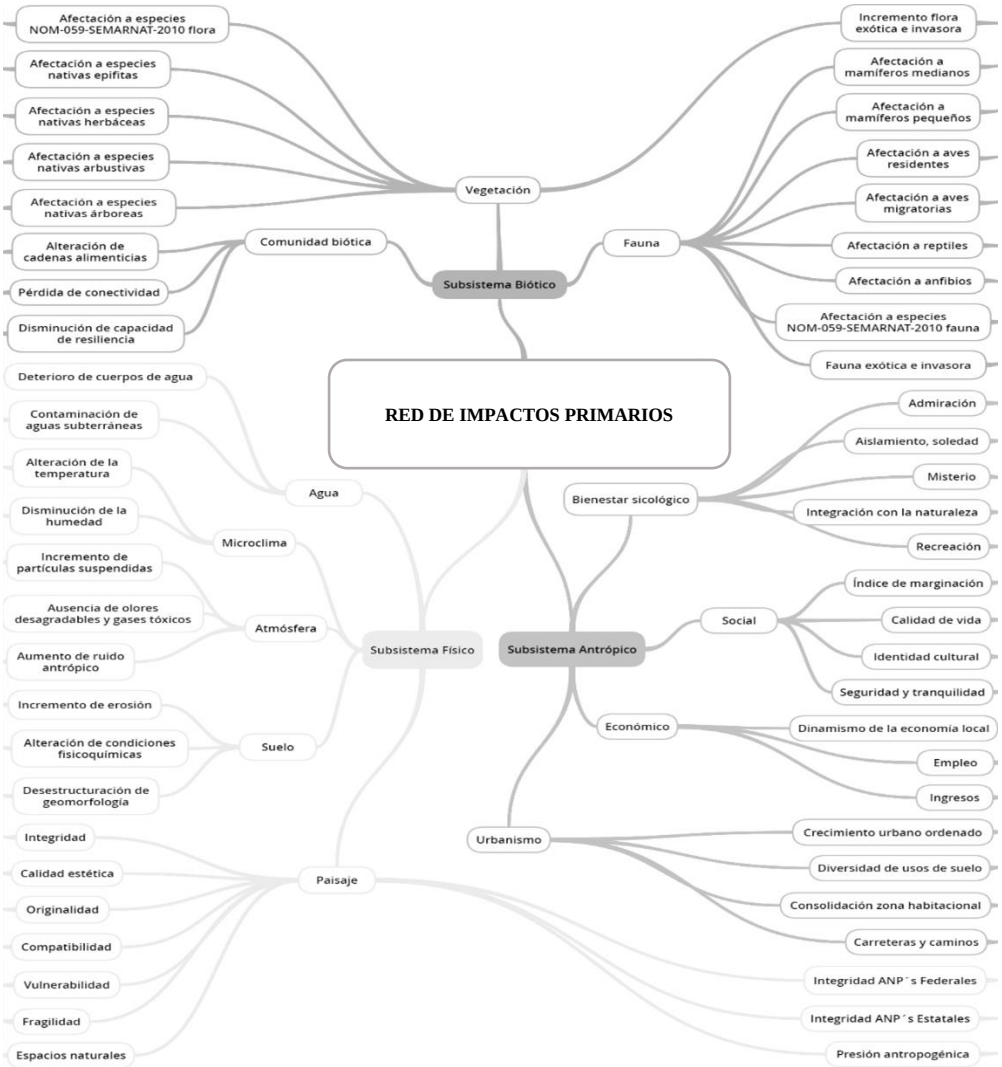


Figura 2. Diagrama de la red de Impactos primarios por subsistemas autoría propia.

Escala de evaluación de impactos.

La escala que se utiliza para la valoración de los impactos se basa en los siguientes atributos. (Coria, 2008).

Signo.

Carácter beneficioso o perjudicial de las distintas acciones que actúan sobre los distintos factores considerados.

Tabla 1. Valores del Atributo de signo.

Carácter	Valor
Beneficio	+
Perjudicial	-

Intensidad (In).

Grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa.

Tabla 2. Valores del Atributo de intensidad.

Nivel	Valor
Afección mínima	1
Situaciones intermedias	2 a 11
Destrucción total	12

Extensión (Ex).

Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área respecto del entorno en que se manifiesta el efecto).

Tabla 3. Valores del Atributo de extensión.

Nivel	Valor
Puntual: efecto muy localizado	1
Parcial	2
Total: Influencia generalizada	8

Momento (Mo).

Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

Tabla 4. Valores del Atributo de Momento.

Nivel	Valor
Inmediato: Tiempo transcurrido nulo.	4
Corto plazo: inferior a un año	4
Mediano plazo: entre 1 y 5 años	2
Largo plazo: más de 5 años	1

Persistencia (Pe).

Tiempo que permanece el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retorna a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.

Tabla 5. Valores del atributo de persistencia.

Nivel	Valor
Efecto fugaz: menos de un año	1
Efecto temporal: entre 1 y 10 años.	2
Efecto permanente: Superior a los 10 años.	4

Reversibilidad.

Tabla 6. Valores del atributo Reversibilidad.

Nivel	Valor
Corto	1
Mediano	2
Irreversible	4

Sinergia.

Tabla 7. Valores del atributo Sinergia.

Nivel	Valor
Simple	1
Sinérgico	2
Muy Sinérgico	4

Acumulación.

Tabla 8. Valores del atributo Acumulación.

Nivel	Valor
Simple	1
Acumulativo	4

Efecto.

Tabla 9. Valores del atributo Efecto

Nivel	Valor
Directo	4
Indirecto	1

Periodicidad.

Tabla 10. Valores del atributo de Periodicidad.

Nivel	Valor
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Recuperabilidad (Re).

Posibilidad de reconstrucción total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de intervención humana.

Tabla 11. Valores del atributo Recuperabilidad.

Nivel	Valor
Recuperable totalmente de forma inmediata	1
Recuperable totalmente a mediano plazo	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8

Certidumbre (o también conocido como de naturaleza).

Grado de seguridad con el que se espera se produzca el efecto.

Tabla 12. Valores del atributo de Certidumbre.

Nivel	Valor
Improbable	1
Probable	2
Nulo	0

La importancia del impacto surge de la siguiente fórmula:

$$I= \pm (In+Ex+Mo+Pe+Rv+Si+Acu+Efec+Per+Rec+Ce) \quad (1)$$

De esta manera el uso de herramientas tecnológicas permite, el desarrollo de sistemas y aplicaciones web, que sirven de apoyo automatizando procesos de este tipo, para la evaluación de los impactos ambientales en el cambio de uso de suelo, proporcionando así agilidad, eficiencia, optimización y confiabilidad de datos, en el procesamiento de grandes volúmenes de información, ejecutando todas las actividades en el menor tiempo posible para determinar las acciones correspondientes.

Identificar casos de usos.

Lenguaje Grafico proporciona uno o más escenarios en la forma en la que el usuario interactúa con el sistema. (Sommerville, 2002).

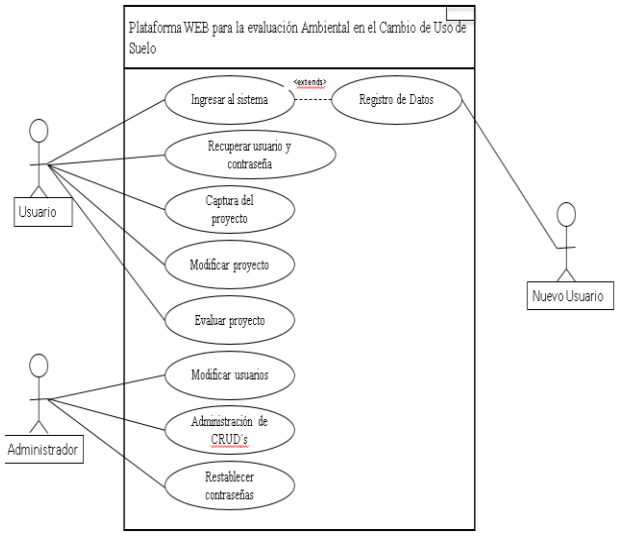


Figura 3. Interacción de los usuarios con el sistema autoría propia.

Modelo conceptual del sistema.

Para desarrollar la plataforma web se diseñó un esquema preliminar de cómo será la interacción entre los usuarios y el sistema.

El desarrollo del sistema está basado en la arquitectura modelo vista controlador permite que el proceso de automatización sea factible.

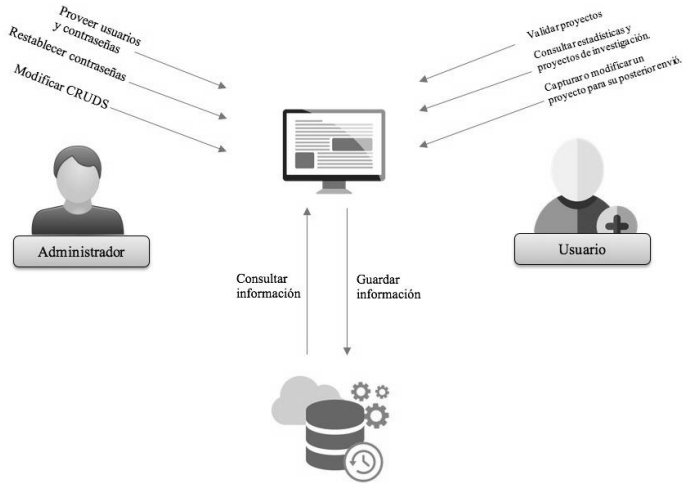


Figura 4. Modelo de esquematización del sistema autoría propia.

Desarrollo.

Análisis previo de datos.

El análisis de datos, parte de los requisitos que surgen en el proceso de estudio del problema y arroja como resultado lo que debe hacer el sistema para encontrar una solución al problema. De igual manera tiene por objetivo la obtención de una especificación detallada del sistema que satisfaga las necesidades de información de los usuarios y sirva de base para el posterior diseño del modelo Entidad-Relación.

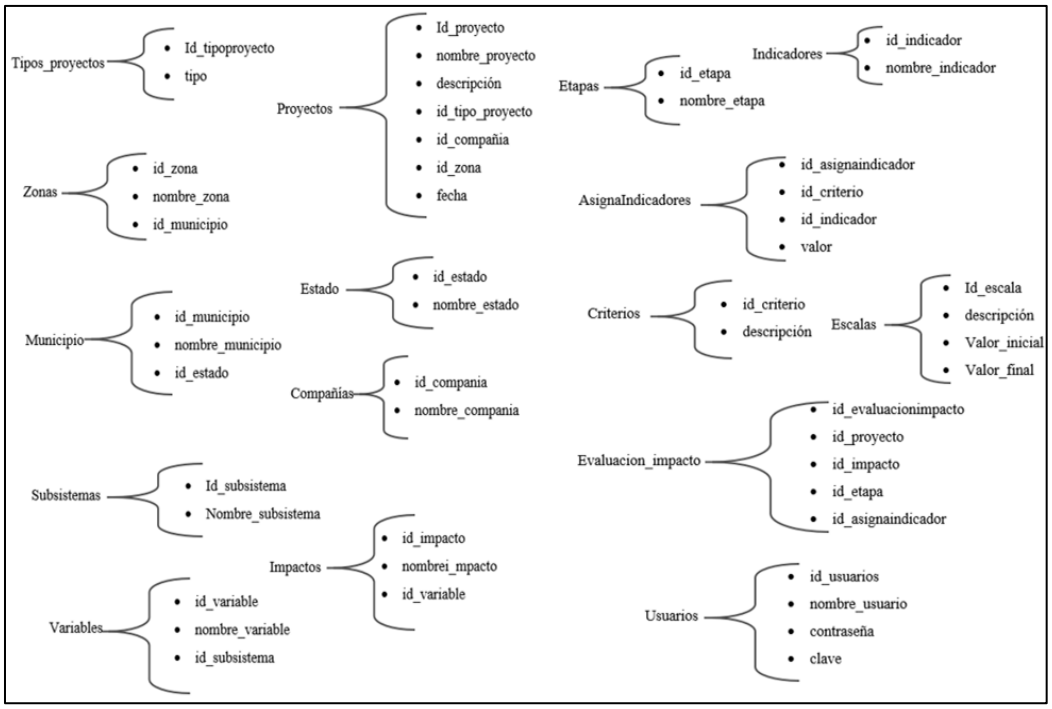


Figura 5. Análisis de datos autoría propia.

El diagrama de flujo aporta una definición más clara del problema en estudio, proporciona una solución por medio de una expresión lógica de esta manera puede observarse la secuencia de las operaciones, sirviendo como una guía. (Battistutti, 2015).

El presente diagrama marca los procesos del sistema, entradas, salidas y sus formas de almacenamiento de datos.

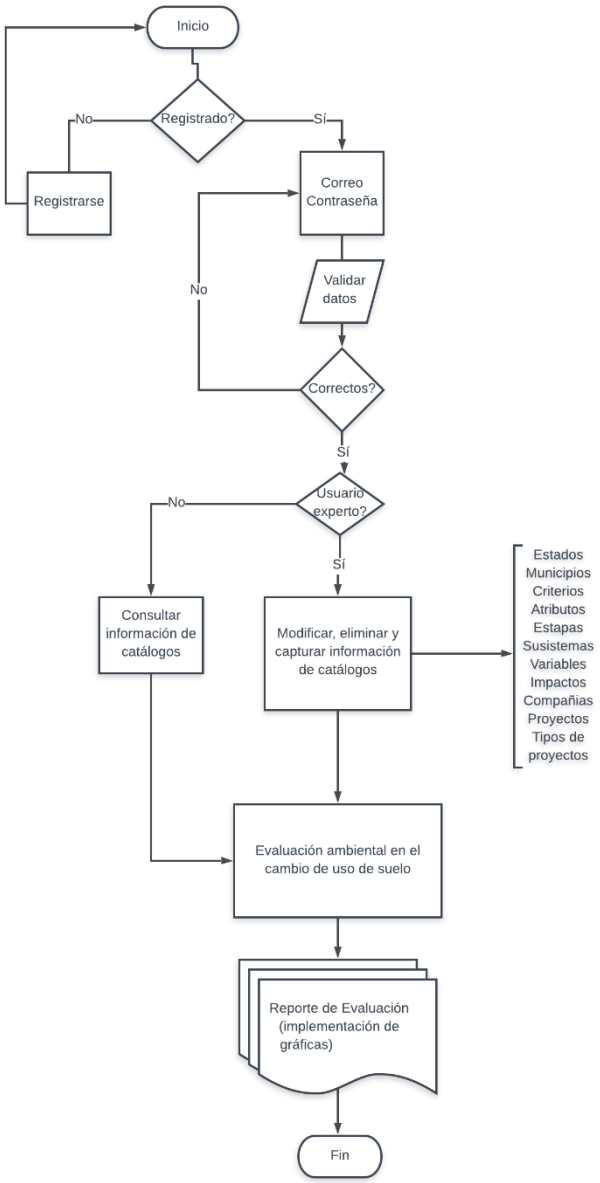


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de evaluación por parte del usuario autoría propia.

Diseño del Modelo Entidad Relación (E-R).

Es un diseño conceptual que parte de un conjunto de objetos básicos llamados entidades y de unas relaciones entre estos objetos, se utiliza para esquematizar la estructura lógica general de lo que será la base de datos, además de que permite la representación visual de cualquier abstracción, percepción y conocimiento en un sistema de información. (Cuadra, y otros, 2013).

El presente Modelo Entidad Relación se desarrolló aplicando la normalización, con la finalidad de evitar la redundancia de los datos, disminuir problemas de actualización y proteger la integridad de los mismo, de esta manera se contará con un mejor desempeño de la base de datos a futuro.

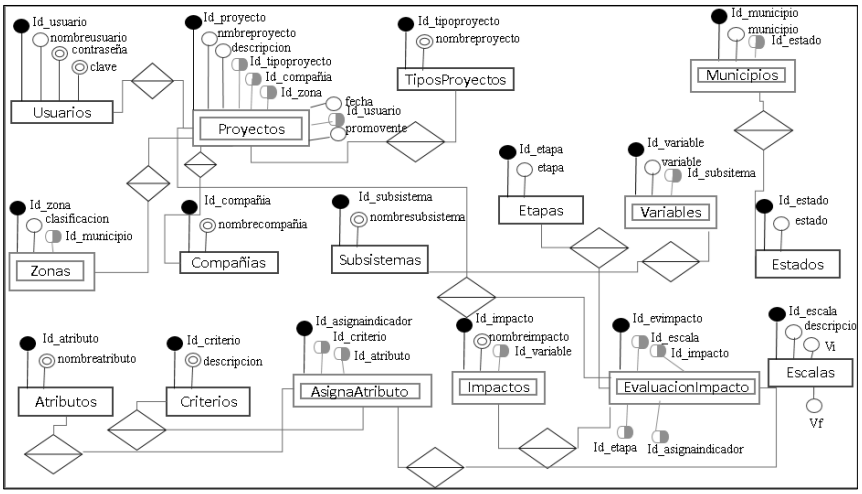


Figura 7. Modelo Entidad Relación autoría propia.

Conclusiones.

Los métodos establecidos en el proceso de evaluación de impactos ambientales son esenciales para partir con desarrollo del sistema, de esta manera surge la necesidad de realizar un análisis previo de datos para el desarrollo de la estructura lógica que tendrá el sistema, posteriormente se diseñó el Modelo Entidad Relación para implementar la base de datos ya planificada, permitiendo identificar la estructura lógica que tendrá el sistema para el funcionamiento correcto, de esta manera se podrá garantizar evitar la duplicidad de registros y de igual manera la integridad referencial.

Referencias bibliográficas.

Battistutti, O. C. (2015). Metodología de la programación . En O. C. Battistutti, *Metodología de la programación.* México: Alfaomega.

Coria, I. D. (2008). *Redalyc.* Obtenido de El estudio de impacto ambiental: características y metodologías: https://www.redalyc.org/pdf/877/87702010.pdf

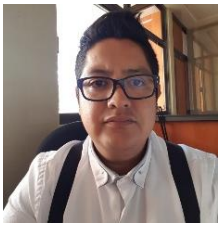
Cuadra, D., Castro, E., Inglesias, A. M., Martínez, P., Calle, F. J., & Moreno, L. (2013). Desarrollo de Base de Datos: casos prácticos desde el ánalisis a la implementación. En D. Cuadra, E. Castro, A. M. Inglesias, P. Martínez, F. J. Calle, & L. Moreno, Desarrollo de Base de Datos: casos prácticos desde el ánalisis a la implementación. AlfaOmega.

Sommerville, I. (2002). Ingeniería de software. En I. Sommerville, ingeniería de software. Addison Wesley.

Información de autores.

Miriam Martínez Solís es estudiante de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México.

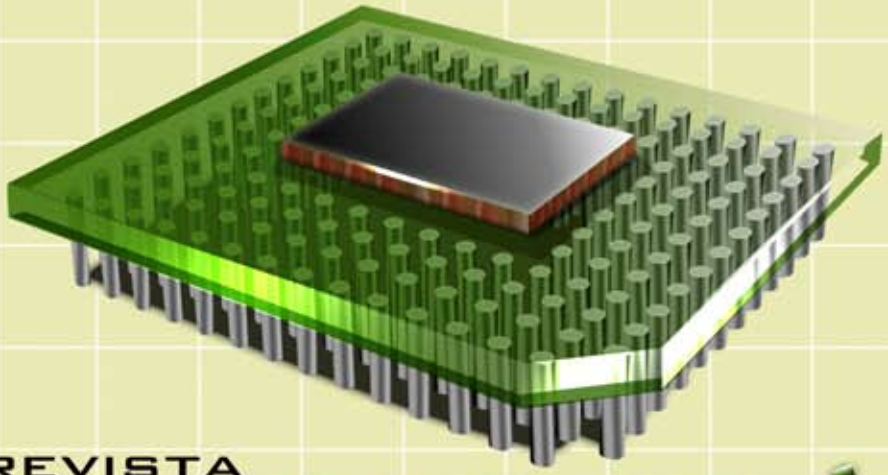
Mariana Carolyn Cruz Mendoza es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, cuenta con Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es miembro del cuerpo académico en formación "procesamiento de datos con industria 4.0" del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.



César Primero Huerta es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Estado de México, cuenta con Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Tiene la distinción de Perfil Deseable ante PRODEP y es Líder del Cuerpo Académico en Formación "procesamiento de datos con industria 4.0" del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.

José Antonio De La Cruz Hernández es biólogo y cuenta con una Maestría en Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco; Tiene un diplomado Universitario en Ecología, Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental en la Universidad Iberoamericana, Plantel Santa Fe; es candidato a Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en el área de Procesos Sociales en el Medio Rural, por la Universidad Autónoma del Estado de México.

Yasmin Elizabeth Reyes Martínez, es Ingeniero I y cuenta con una Maestría en Administración por la Universidad Tecmilenio, plantel Morelia; tiene un diplomado en Lean Manufacturing, es Perfil Deseable ante PRODEP y es miembro del Cuerpo Académico en Formación "Diseño y Mejora de Procesos", del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo.



REVISTA

TECNOLOGÍA

DIGITAL

www.revistatecnologiadigital.com