

NOTA DEL EDITOR

REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA

ISSN: 1692-7257

Depósito Legal No.: S1537

La revista de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura tiene como propósito la difusión de conocimientos en las áreas de las tecnologías de avanzada, esta es una nueva versión de la revista científica Chíchira (ISSN 0122-9966) que anteriormente publicaba nuestra antigua facultad.

Esta revista es un punto de encuentro entre los universitarios, ingenieros e investigadores tanto de la Facultad como de otras Universidades del País y el extranjero, que tienen lazos de trabajos con la *Universidad de Pamplona*, se les brinda la posibilidad de que se publiquen sus resultados investigativos.

La revista propone artículos generales y artículos especializados donde se tratan temas desde Control Automático, Automatización, Procesamiento Digital de Señales, Electrónica, Eléctrica, Telecomunicaciones, Sistemas y áreas a fines a la ingeniería. La revista tiene circulación semestral con cobertura nacional e internacional.

Se cumple con esta publicación seriada uno de los propósitos de nuestra universidad, el de dar a conocer y propiciar el intercambio de las nuevas tecnologías a toda la comunidad universitaria e industrial.

La revista COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA no se hace responsable por el contenido de los artículos publicados.

EDITOR'S NOTE

COLOMBIAN MAGAZINE OF ADVANCE TECHNOLOGIES

ISSN: 1692-7257

Legal Deposit No.: S1537

The Engineering and Architecture Faculty magazine has as main goal the knowledge diffusion in advanced technologies areas; this is a new version of the scientific magazine Chichira (**ISSN 0122-9966**) that was previously published.

This magazine is a point of contact between the college students, engineers and researchers as much from our Faculty, other foreigner Universities or of all the Country, which have works bows with the *University of Pamplona*. With this magazine all have the opportunity to publish their researching results.

The magazine proposes general and specialized papers and discusses topics such as Automatic Control, Automation, Digital Signal Processing, Electronics, Energy, Telecommunications, Systems and several areas related to engineering. The magazine has semester circulation with national and international covering.

With this publication is fulfilled one of the main goals of our university, to broadcast knowleage and to facilitate the new technologies interchange between all universities and the industrial community.

The COLOMBIAN MAGAZINE OF ADVANCE TECHNOLOGIES is not responsible for the content of papers published.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCING PSP (PERSONAL SOFTWARE PROCESS) IN CLASSROOM <i>INTRODUCIENDO PSP (PROCESOS PERSONAL DE SOFTWARE) EN EL AULA</i> MSc. Dario E. Soto Duran, MSc. Adriana X. Reyes Gamboa.....	1
FIRST PHASE OF AUGMENTED REALITY: IDENTIFICATION OF LOCATIONS <i>PRIMERA FASE DE REALIDAD AUMENTADA: IDENTIFICACION DE LOCACIONES</i> M.Eng. Diego Rolando Mahecha, MSc. Hernando González, Ing. Laura Cristina Quiroga Ardila.....	6
MUSIC ALGORITHM SIMULATION FOR UNIFORM LINEAR ARRAY OF SMARTS ANTENNAS <i>SIMULACION DEL ALGORITMO MUSIC PARA UN ARREGLO LINEAL UNIFORME DE ANTENAS INTELIGENTES</i> MSc. Eduardo Avendaño Fernández, Ing. William Rincón Hernández.....	11
AN EVALUATION OF MOODLE PLATFORM IN A TRAINING COURSE IN THE HEALTHCARE DOMAIN <i>EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA MOODLE EN LA ENSEÑANZA DE UN CURSO EN EL DOMINIO MEDICO</i> Ing. Diana C. Muñoz Meneses, Ing. Jeimy A. Ortiz Buitrón, Ph.D. Carolina González Serrano.....	17
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW METHODOLOGY FOR DESIGN BASED ON PATTERN OF MOTHERS CELLS AND ARTIFICIAL CLONING OF A BIOELECTRIC PROSTHESIS OF INFERIOR MEMBER FOR DISABLED PEOPLE OF THE VIOLENCE <i>INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE NUEVA METODOLOGÍA DE DISEÑO BASADA EN PATRONES DE CÉLULAS MADRES Y CLONACIÓN ARTIFICIAL DE UNA PRÓTESIS BIOELÉCTRICA DE MIEMBRO INFERIOR PARA DISCAPACITADOS DE LA VIOLENCIA</i> PhD. Antonio F. Muñoz Moner, Ing. July Andrea Gómez Camperos, Esp. Javier Mauricio Vega Torres...	25
VISION OF DEVELOPMENT SERVICES FOR NEXT GENERATION NETWORKS <i>VISION DEL DESARROLLO DE SERVICIOS PARA LAS REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN</i> MSc(c). Jose Luis Leal Gómez, PhD. Homero Ortega Boada.....	33
IDENTIFICATION AND FUZZY CONTROL OF A TWO TANK SYSTEM <i>IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DIFUSO DE UN SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDOS EN DOS TANQUES</i> PhD. Juan Antonio Contreras Montes.....	43
CONTROL CON MODOS DESLIZANTES DISCRETO APlicADO A UN CONVERTIDOR DE POTENCIA BUCK <i>DISCRETE SLIDING MODE CONTROL APPLIED TO A BUCK POWER CONVERTER</i> MSc. Oscar Ivan Higuera Martínez, PhD. Juan Mauricio Salamanca.....	50
DESIGN OF A SURFACE ELECTROMYOGRAPHIC REGISTER TO QUANTIFY MOTORS UNITS IN THE FOOT DROP DISEASE <i>DISEÑO DE UN REGISTRADOR ELECTROMIOGRÁFICO DE SUPERFICIE PARA CUANTIFICAR UNIDADES MOTORAS EN LA ENFERMEDAD DEL PIE CAÍDO</i> Ing. Aylen Lisset Jaimes Mogollón, PhD. Crísthian Manuel Durán Acevedo, MSc. Luis Enrique Mendoza	57
OPTIMIZATION OF THE BASE OF RULES OF A DIFFUSE CONTROLLER, BY MEANS OF TECHNICAL STOCHASTIC AS GENETIC ALGORITHMS AND SIMULATED ANNEALING <i>OPTIMIZACION DE LA BASE DE REGLAS DE UN CONTROLADOR DIFUSO, MEDIANTE TECNICAS ESTOCASTICAS COMO ALGORITMOS GENETICOS Y EL SIMULATED ANNEALING</i> Ing. José Alfredo Balcucho Mogollón, PhD. Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero.....	63

Pág

EVOLUTION AND ELEMENTS OF FINANCIAL MANAGEMENT FOR INFORMATION TECHNOLOGIES SERVICES IN ORGANIZATIONS	
<i>EVOLUCIÓN Y ELEMENTOS DE LA GESTIÓN DE COSTOS DE LOS SERVICIOS DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES</i>	
Esp. Avilio Villamizar Estrada, MSc. Jesús Evelio Ortega Arévalo.....	68
CONTROL OF TELEOPERATION SYSTEMS WITH DELAY IN THE COMMUNICATION CHANNEL	
<i>CONTROL DE SISTEMAS DE TELEOPERACIÓN CON RETARDO EN EL CANAL DE COMUNICACIONES</i>	
MSc. Pedro Cárdenas, PhD. César Augusto Peña Cortez, PhD. Eugenio Yime Rodríguez.....	77
MULTISKILLED WORKFORCE SCHEDULING FOR BUSINESS WITH VARIABLE DEMAND USING THE GRASP ALGORITHM	
<i>ALGORITMO GRASP PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS EN EMPRESAS DE DEMANDA VARIABLE</i>	
Ing. David Álvarez Martínez MSc. Eliana Mirledy Toro Ocampo, PhD. Ramón Alfonso Gallego Rendón	85
AN ARCHITECTURE FOR LEARNING TO REDUCE THE RISK OF FAILURE OF WEB SERVICES FOR ITS COMPOSITION	
<i>UNA ARQUITECTURA DE APRENDIZAJE PARA DISMINUIR EL RIESGO DE FALLA DE SERVICIOS WEB DURANTE SU COMPOSICIÓN</i>	
Ing. Byron Enrique Portilla Rosero, MSc. Jaime Alberto Guzmán Luna	93
LAND USE DISCRIMINATION FROM MULTISPECTRAL IMAGES	
<i>DISCRIMINACIÓN DE USOS DEL SUELO A PARTIR DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES</i>	
Ing. John Jairo Sanabria Sarmiento, MSc. John Faber Archila Díaz, Ing. Luis Eduardo Bautista Rojas.....	101
TELEDIAGNOSIS OF PARKINON'S DISEASE USING FUZZY CLASSIFIER	
<i>CLASIFICADOR DIFUSO PARA DIAGNÓSTICO DEL MAL DE PARKINSON VÍA TELEFÓNICA</i>	
Vanessa Caraballo, Cristian Cuadrado, Erick Herazo, Benjamín Pérez, PhD. Juan A. Contreras Montes...	109
BAXSET: RECOVERY SYSTEM OF WEB SERVICES BASED ON A MODEL OF NAVIGATION TAXONOMY	
<i>BAXSET: UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE SERVICIOS WEB BASADO EN UN MODELO DE NAVEGACIÓN TAXONÓMICA</i>	
MSc. Jaime Alberto Guzmán Luna, Ing. Ingrid D. Torres Pardo, Est. Juan Camilo Jaramillo Alzate.....	114
COOPERATIVE SERVICE ROBOTS	
ROBOTS DE SERVICIO COOPERATIVOS	
Daniel A. Correa N., Fredy A. Sanabria C., MSc(c). Wilmer A. Sandoval C., MSc(c). Reynaldo Claros L.	122
METHODOLOGY FOR DEVELOPING A SCHEDULER FOR A FLEXIBLE MANUFACTURING CELL USING HEURISTIC SEARCH	
<i>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UN PLANIFICADOR DE TAREAS PARA UNA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA UTILIZANDO BÚSQUEDA HEURÍSTICA</i>	
Esp. Camilo Arturo Lagos Mora, MSc. José Tomas Buitrago Molina, PhD. Ricardo Timarán.....	131
EVALUATION OF THE CURRICULAR ASPECTS OF COMPUTER SYSTEM ENGINEERING PROGRAM	
<i>EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS CURRICULARES DEL PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS</i>	
MSc. Torcoroma Velásquez Pérez.....	138

Recibido: 24 de agosto de 2009
Aceptado: 05 de octubre de 2009

INTRODUCING PSP (PERSONAL SOFTWARE PROCESS) IN CLASSROOM

INTRODUCIENDO PSP (PROCESOS PERSONAL DE SOFTWARE) EN EL AULA

MSc. Dario E. Soto Duran*, **MSc. Adriana X. Reyes Gamboa****

* **Tecnológico de Antioquia**

Calle 78B No. 72A – 220, Medellín, Colombia, Tel.: (034) 4547039

E-mail: dsoto@tdea.edu.co

** **Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid**

Carrera 48 N° 7-151, Medellín, Colombia, Tel.: (034) 3197900 Ext. 445

E-mail: axreyes@elpoli.edu.co

Abstract: To consolidate a culture of software is necessary to have well defined processes and skilled personnel, trained in personal discipline and teamwork. Personal Software Process (PSP) contributes to individual labor discipline. This paper proposes a set of practical considerations to introduce the PSP, gradual and incremental manner in vocational training at the university in order to create the basis for introducing methods disciplined teamwork and meet the requirements of the industry. Some strategies are proposed for implementation at the University from the area of knowledge of algorithms and programming

Resumen: Para consolidar una cultura de software es preciso contar con procesos bien definidos y un personal competente, entrenado en una disciplina personal y de trabajo en equipo. El Proceso de Software Personal (PSP) contribuye a alcanzar disciplina en el trabajo individual. Este artículo propone un conjunto de consideraciones para introducir las prácticas de PSP, de forma paulatina e incremental en la formación del profesional en la universidad; con el objetivo de crear las bases para introducir métodos disciplinados de trabajo en equipo y cumplir con los requerimientos de la industria. Se plantean algunas estrategias para su implementación en el ámbito de la Universidad desde el área de conocimiento de la algoritmia y la programación.

Keywords: Personal Software Process, PSP, Software of Engineer, Good Best.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de software es un factor fundamental para fortalecer la economía regional y proyectarse a nivel internacional. Para lograr este objetivo es necesario articular la educación tecnológica y profesional con estándares reconocidos a nivel mundial, que garanticen la inclusión de los egresados en el ámbito productivo y así consolidar una cultura de calidad en los procesos asociados al desarrollo del software.

El objetivo es mejorar la calidad en los procesos de desarrollo utilizados para la construcción de productos de software, implementando la aplicación de mejores prácticas a nivel individual, como la metodología PSP que se deriva del Modelo de capacidad y madurez, ambos desarrollados por Watts S. Humphrey en el Instituto de Ingeniería del Software SEI, adscrito a la Universidad de Carnegie Mellon.

Partiendo de la necesidad de entregar productos de software con alto nivel de calidad, es evidente garantizar que los procesos que conlleva a estos desarrollos deben surgir de un proceso maduro a nivel personal como es la planificación, y ejecución de acuerdo con dicho plan. Los resultados serán productos de alta calidad ajustados a un presupuesto y a unos plazos.

El proceso de software personal (PSP) es un marco de trabajo diseñado para enseñar a los programadores a hacer mejor su trabajo. Muestra cómo estimar y planificar el trabajo, como controlar el rendimiento frente a esos planes y como mejorar la calidad de los programas. Los métodos de calidad lleva tiempo aprenderlos y practicarlos, pero ayudaran al educando durante su carrera a mejorar consistentemente la calidad del desarrollo.

En la mayoría de las profesiones el trabajo competente requiere el uso de prácticas establecidas, planes y procedimientos que traen orden y eficiencia a cualquier trabajo y permite a los trabajadores concentrarse en producir productos de la más alta calidad.

Precisamente el Personal Software Process o Proceso Software Personal, puede ser usado por futuros desarrolladores de software como guía para un enfoque disciplinado y estructurado en el desarrollo de software.

En nuestras universidades ya se han dado los primeros pasos para introducir paulatinamente estas buenas prácticas en el desarrollo de software, articulando la enseñanza de herramientas de desarrollo y los métodos que implican el concepto de calidad en los procesos implícitos en la construcción de productos de software.

2. QUE ES PSP?

La disciplina del PSP provee un marco estructurado para desarrollar habilidades personales y métodos que se necesitarán más adelante para ir forjando al ingeniero de software. Es importante que la calidad del software desarrollado abarque hasta el más mínimo detalle, por muy pequeño que éste sea, ya que si no se hace así, puede dañar el sistema entero.

El Personal Software Process, PSP, indica a los profesionales de software cómo:

- Administrar la calidad de los proyectos de desarrollo de software
- Reducir defectos en los productos
- Estimar y planear el trabajo

PSP, fue diseñado para ayudar al ingeniero de software a hacer bien el trabajo, aplicar métodos avanzados de ingeniería en su labor diaria, a utilizar métodos detallados de planificación y estimación y controlar rendimientos frente a los tiempos planeados.

PSP es la disciplina del trabajo con alta calidad. El trabajo del ingeniero de software según PSP, se puede resumir en planificar el trabajo, hacer el trabajo de acuerdo al plan y producir productos de máxima calidad.

El costo del personal representa más del 70% de los costos de un producto de software, por esta razón la productividad y los hábitos de los ingenieros de software determinan en un gran porcentaje el resultado del proceso de desarrollo de software.

El PSP puede ser usado por los ingenieros de software como una guía disciplinada y estructurada para el desarrollo de software. El PSP es un prerequisito para una compañía que planea introducir el TSP.

El PSP puede ser aplicado en cualquier parte del proceso de desarrollo de software, como por ejemplo desarrollo de pequeños programas, definición de requerimientos, documentación, aseguramiento de calidad y mantenimiento de software.

2.1 Principios y Objetivos de PSP

El PSP es un conjunto ordenado de procesos definidos que orientan a los ingenieros de software a medir, evaluar y monitorear la manera de hacer sus tareas. Los principales objetivos del PSP son:

1. Mejorar las estimaciones
2. Mejorar la planeación y acompañamiento de cronogramas
3. Proteger contra el exceso de compromisos
4. Crear un compromiso personal con la calidad
5. Compromiso del desarrollador en la mejora continua del proceso de desarrollo
6. Aumento de la calidad a través de la reducción de la incidencia de errores
7. Mayor precisión en las estimaciones de tamaño del software y tiempo de desarrollo

Los ingenieros de software normalmente desarrollan productos a partir de sus propios métodos y técnicas o a partir de los ejemplos de los ingenieros más experimentados. PSP ofrece una forma de mejorar la calidad, la predicción y la productividad del trabajo. A medida que el trabajo mejora, también tiende a mejorar la calidad de los proyectos.

2.2 Estrategia de PSP

El modelo PSP está dividido en niveles, implantados de manera incremental. Los niveles superiores adicionan características a los niveles ya implantados lo que minimiza el impacto de los cambios en los hábitos del desarrollador. Este deberá tan sólo adaptar nuevas técnicas a las ya existentes y conocidas.

Lo más importante en el proceso de aprendizaje son los datos recogidos después de cada fase, pues con base en los resultados obtenidos en la fase actual se propone mejorar el desempeño personal para la siguiente fase. Los niveles de mejoramiento de PSP se muestran en la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Niveles de Mejoramiento PSP

Fuente: (Humphrey, 2005)

NIVEL	NOMBRE	ACTIVIDAD
PSP0	Medición personal	Registro de tiempo Registro de defectos
PSP0.1	Registro de defectos	Patrón de tipos de defectos Patrón de codificación Medida de tamaño Propuesta de mejoramiento de procesos
PSP1	Planeamiento Personal	Estimación de tamaño Informe de pruebas Planeamiento de tareas Cronogramas
PSP2	Gerenciamiento de la calidad personal	Revisões de código Revisões de projeto Patrões de projeto
PSP3	Proceso Personal Cíclico	Desarrollo Cíclico

3. BENEFICIOS DE LA METODOLOGÍA EN LA CONDUCTA DEL EDUCANDO

El PSP muestra cómo producir de forma regular software de alta calidad. Utilizando el PSP se obtienen datos que muestran la efectividad del trabajo y se identifican los puntos fuertes y las debilidades, además se practican habilidades y métodos que ingenieros del software van a desarrollar durante muchos años de pruebas y errores.

El PSP enseña a ingenieros y futuros ingenieros, cómo administrar la calidad de sus productos y cómo hacer compromisos que ellos puedan cumplir. Puede ser empleado en muchas fases en el

ciclo de desarrollo de programas pequeños, definición de requerimientos, documentación, pruebas y mantenimiento. (Velasco, 2003)

El diseño de PSP se basa en los siguientes principios de planeación y de calidad (Humphrey).

- Cada ingeniero es esencialmente diferente; es decir, los ingenieros deben planear su trabajo y basar sus planes en sus propios datos personales.
- Para mejorar constantemente su funcionamiento, los ingenieros deben utilizar personalmente procesos bien definidos y medidos.
- Para desarrollar productos de calidad, los ingenieros deben sentirse personalmente comprometidos con la calidad de sus productos.
- Para hacer un trabajo de ingeniería de software de la manera correcta, los ingenieros deben planear de la mejor manera su trabajo antes de comenzarlo y deben utilizar un proceso bien definido para realizar de la mejor manera la planeación del trabajo.
- Para que los desarrolladores lleguen a entender su funcionamiento de manera personal, deben medir el tiempo que pasan en cada proceso, los defectos que inyectan y remueven de cada proyecto y finalmente medir los diferentes tamaños de los productos que llegan a producir.

Si bien el trabajo disciplinado en cualquier esfera siempre ha demandado el uso de buenos estándares y un soporte sólido, la industria de software no tiene tradición de un desempeño disciplinado y tampoco incluye este aspecto en su enseñanza de manera profunda.

La industria colombiana necesita profesionales con una visión total del proceso de desarrollo de software y con la disciplina para enfrentarlo.

La dimensión cognitiva y procedimental en la construcción de software son factores fundamentales en la formación de profesionales en el área de informática, pero los estudiantes de nuestras universidades no cubren en su totalidad el proceso de desarrollo de software, y otros temas como planificación, asignación de recursos, estimación de costos, tamaños y tiempos, definición y trabajo con estándares, calidad, entre otros no son abordados de forma profunda llevando esto a generar una barrera en la inserción en el mundo laboral en casas productoras de software.

La disciplina, en el proceso de desarrollo de software, se define como una actividad o ejercicio que desarrolla o mejora. Los estudiantes tienden a verla como una limitación pero los profesores deben enseñarles a asumirla como un marco de trabajo para aprender y mejorar personalmente.

Normalmente temas como PSP, TSP, CMMI, son abordados en niveles de especialización y cursos especializados para profesionales, pero estos principios de calidad deben ser incorporados desde los primeros semestres de formación, y el primero que se debe incorporar es PSP de forma paralela con la formación de lógica de programación, ya que este proceso lo lleva a saber planificar su tiempo y sus proyectos para cumplir con los compromisos adquiridos inicialmente en el ámbito académico durante la carrera o después de egresados; esto les ayudará a adaptarse a los cambios que implica el dinamismo que caracteriza el sector.

4. EL DESARROLLO DE SOFTWARE EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA

Según el documento publicado por ProArgentina¹, en Colombia el sector de Tecnología de la Información es de alto crecimiento y gran dinamismo, reportando actualmente una tasa cercana al 8% reflejando la potencialidad del sector en materia de generación de oportunidades. En el 2005 los principales países que contratan empresas colombianas desarrolladoras de software son Ecuador (48%), Venezuela (28%), Costa Rica (24%), EE. UU (16%), Perú (12%), Puerto Rico (12%), Chile y México (8%).

De acuerdo con el estudio realizado por Datanalisis² para Microsoft en el año 2005, el sector analizado está conformado por 561 empresas, entre desarrolladoras locales y representantes de desarrolladoras internacionales, que emplean de manera directa e indirecta a 31,665 personas, facturando US\$ 2709 millones en software y aportando al fisco US\$129,5 millones. En este mismo año, las ventas de software en el país fueron de US\$ 270 millones, US\$ 120

millones más que en el 2002. Este total representa el 0,28% del PIB nacional. Durante el 2005, las 561 empresas del sector software generaron 31,665 puestos de trabajo, el 0,07% de la fuerza laboral del país, de los cuales 13,091 fueron fijos, 1,186 empleos directos a destajo y 17,460 indirectos. Así mismo, se calcula que hay más de 4000 empresas dedicadas de alguna manera al software, a la comercialización de hardware y a la consultoría en informática y más de 75000 personas capacitadas para trabajar en el sector.

Aunque el desarrollo de la actividad productiva y comercial del sector se concentra en el departamento de Cundinamarca con 346 empresas, donde se ubica la capital Bogotá, se destacan departamentos como Antioquia (82 empresas), Valle del Cauca (56 empresas). Casi la mitad de las empresas (48,4%) entrevistadas se dedican exclusivamente al desarrollo de software y un 46% de las mismas se encargan tanto del desarrollo de aplicaciones a la medida/comerciales como a la venta de hardware/software a terceros y a la integración de sistemas.

Las empresas desarrolladoras consideran que los mayores problemas que afecta el crecimiento de su empresa es la falta de aplicación de estándares de calidad internacionales por parte de las empresas, el desconocimiento de la logística de comercialización y la escasez de recurso humano capacitado, entre otros. Por esta razón es necesario incluir el marco de buenas prácticas a nivel individual del SEI, para garantizar que el estudiante se integre fácilmente en los equipos de desarrollo software

5. PSP EN EL AULA

La implementación de la metodología PSP, en el proceso de enseñanza permite establecer criterios para valorar el rendimiento en los procesos de desarrollo utilizados para la construcción de productos de software. Teniendo en cuenta que PSP es una metodología que se deriva del Modelo de capacidad y madurez , ambos desarrollados por Watts S. Humphrey en el Instituto de Ingeniería del Software SEI, adscrito a la Universidad de Carnegie Mellon.

Los métodos de calidad lleva tiempo aprenderlos y practicarlos, pero ayudaran al educando durante su carrera a mejorar consistentemente la calidad del desarrollo. La estrategia es implementar esta metodología en forma paralela con los cursos

¹ Características del mercado de los países de Latinoamérica, Disponible en:

http://www.colombiadigital.net/informacion/docs/SoftAL_Proarg.pdf. Enero de 2005.

² Fuente: DATANÁLISIS. "Estudio de la Industria del Software en Colombia". Presentación impresa. Agosto de 2005. Estudio contratado por Microsoft.

relacionados con el área de conocimiento de herramientas de programación autoevaluando contantemente su desempeño para evidenciar su aprendizaje y la madurez en los proceso asociados a la construcción de productos de software.

El objetivo primordial es la ejercitación y desarrollo, por parte de los estudiantes, de los roles, habilidades y funciones que deberán desplegar en su vida como profesional de la informática. Es por ello que el acercamiento a las técnicas de PSP se realiza de forma vivencial en las asignaturas que le permiten la construcción de productos de software, que se incrementan en complejidad en forma paralela a su experiencia y conocimiento.

En los cursos iniciales se busca solo que los estudiantes se familiaricen con el control del tiempo, no solo de trabajos de programación sino de la vida en general, que interioricen la necesidad de gestionar el tiempo, los compromisos y las programaciones como una vía para mejorar la calidad del software. Con esta iniciación se pretende que los estudiantes reconozcan el valor de registrar los datos de esfuerzo y tamaño y que puedan usar estos datos en la planificación de sus proyectos y analizar su efectividad personal. La estimación de trabajos futuros estaría basada precisamente en la referencia de trabajos anteriores. En las asignaturas de ingeniería de software se implementarían metodologías a nivel grupal y corporativo.

6. CONCLUSIONES

La disciplina en el proceso de desarrollo de software es, sin lugar a dudas, uno de los elementos fundamentales para tal propósito por lo que nuestros estudiantes deben comenzar a entenderla y aplicarla desde el primer año de la carrera.

Ante la tarea de convertir la informática en una de las más importantes ramas productivas del país, la Universidad es la que tiene el compromiso de formar ingenieros capaces de asumir y cumplir sus compromisos de trabajo con la más alta calidad.

Con la introducción de PSP desde los primeros años de la carrera tecnológica o ingenieril y de forma gradual, los futuros profesionales informáticos del país que infieran en la necesidad de saber gestionar correctamente sus tiempos y compromisos, no solo para el trabajo que desempeñarán sino para otras facetas de su vida.

El compromiso de la academia es formar con estándares y tecnología de vanguardia que permitan expandir el campo de acción laboral de los egresados, propiciando una cultura laboral bajo el concepto de un método, como paso fundamental para desarrollar software. Fortaleciendo el liderazgo para ser creativos en su trabajo y así comprender el sentido de empresa, y la influencia para ejercer la globalización en sus vidas y en el sector.

REFERENCIAS

- Humphrey, Watts S. (2005). *Introducción al Proceso Software Personal*. Editorial Addison Wesley.
- Castells, M. y otros. (2000) El desafío tecnológico. España y las nuevas tecnologías, Madrid, Alianza Editorial.
- Jacobson, Ivar; Booch, Gardy y Rumbaugh, James. (2000). El proceso unificado de Desarrollo de Software Addison Wesley Madrid.

SITIOS WEB

- Cedillo, Karina. Personal Software Process (PSP). <http://correo.cimat.mx:1666/Investigacion/Computacion/infoIS.php> (24 Julio 2009)
- Chapela, Leonardo. Calidad y competitividad en la industria del software. Newsletters Primavera Verano, Año 12, Vol. 39 y 40. 2003. <http://www.lania.mx/biblioteca/newsletters/2003-primavera-verano/psp.html> (29 Julio 2009)
- SEI; (2002) Software Engineering Institute. Publications. [en línea]. <http://www.sei.cmu.edu/publications/publications.html> (09 Julio 2009)
- Velasco, Perla Inés. (2003) PSP: Una alternativa para mejorar los procesos del software. LANIA. Año 12, Vol. 39 y 40. 2003. <http://www.lania.mx/biblioteca/newsletters/2003-primavera-verano/psp.html> (02 Junio 2009)
- Carnegie Mellon University. What is PSP? <http://www.sei.cmu.edu/tsp/psp.html> (10 Agosto 2009).

Recibido: 16 de junio de 2009
Aceptado: 20 de agosto de 2009

FIRST PHASE OF AUGMENTED REALITY: IDENTIFICATION OF LOCATIONS

PRIMERA FASE DE REALIDAD AUMENTADA: IDENTIFICACION DE LOCACIONES

M.Eng. Diego Rolando Mahecha*, MSc. Hernando González
Ing. Laura Cristina Quiroga Ardila**

* **Unidades Tecnológicas de Santander**

Ingeniería en Electrónica,

Calle de los Estudiantes, No 9-82. B/manga, Santander, Colombia, Tel.: 57-7-64130000

E-mail: diego.mahecha@uts.edu.co, diego_mahecha@ionix.biz

** **Universidad Autónoma de Bucaramanga**

Ingeniería Mecatrónica

Calle 48 No 39-234. Bucaramanga, Santander, Colombia, Tel.: 57-7-6436261, Ext. 298

E-mail: hgonzalez7@unab.edu.co

Abstract: Augmented reality (AR) is an integration of devices that add virtual information to the existing physical information. This technology gradually takes global boom due to applications in various fields such as education, entertainment and advertising among others. The article presents the description of the hardware that allows pinpoint user location, besides the direction and angle, basic information for the implementation of RA systems. The algorithms were developed in Matlab and are represent six locations on the Ciudadela Real de Minas, Bucaramanga.

Resumen: La realidad aumentada (RA) consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente. Esta tecnología poco a poco toma auge a nivel mundial debido a las aplicaciones en diversos campos como la educación, el entretenimiento, la publicidad, entre otros. En el artículo se presenta la descripción del hardware que permite determinar con precisión la ubicación del usuario, además de la orientación y el ángulo de inclinación, información básica para la implementación de sistemas de RA. Los algoritmos se desarrollaron en Matlab y se representan seis localidades ubicadas en la Ciudadela Real de Minas, Bucaramanga.

Keywords: Augmented reality, identification of locations, GPS, digital compass.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica de realidad aumentada (RA) permite adicionar objetos virtuales en un entorno real, así como el ocultarlos o eliminarlos. Para el modelamiento de la RA es necesario crear interfaces que puedan modelar, visualizar objetos típicos encontrados en el exterior y verificar resultados en tiempo real (Piekarski y Thomas, 2003). Uno de los principales problemas al aplicar

la RA es la alineación de los sistemas de coordenadas del mundo virtual y real para que sean coherentes, este problema se resuelve mediante técnicas de procesamiento de imagen capaces de detectar, reconocer, seguir rasgos significativos del entorno y/o dispositivos de seguimientos y técnicas de predicción para detectar la dirección en la que mira el usuario (Aguilar *et al.*, 2003). Un ejemplo de la aplicación de esta tecnología fue desarrollada por un grupo de investigación de los estados unidos

en el cementerio de Oakland de Atlanta (Fig 1). Basados en RA incorporan efectos de sonidos, imágenes y datos de las personas que yacen en las tumbas, creando un ambiente de historia y drama de esta época (Bolter y Macintyre, 2007).



Fig. 1. Proyecto en el cementerio de Oakland en Atlanta basado en la técnica de RA

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

El sistema desarrollado presenta una mezcla de diferentes componentes en hardware y software para la implementación del mismo. En la figura 2, se presenta el diagrama de bloques del sistema de posicionamiento.

La tarjeta de adquisición de datos esta compuesta por un GPS que indica latitud y longitud, una brújula que muestra la orientación del usuario y un acelerómetro que permite determinar la inclinación.

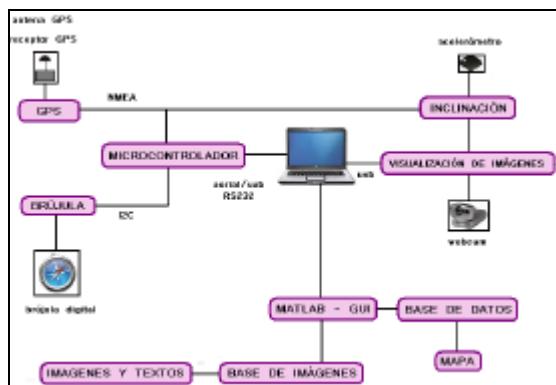


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema

2.1 Posicionamiento

Para el posicionamiento del dispositivo se utilizó el módulo receptor GPS A1029B de TYCO Electronics (Tyco 2006). La tecnología GPS utiliza el protocolo NMEA¹, para transmitir la información a través de tramas de datos que contienen las coordenadas geográficas de latitud, longitud, y otros datos característicos de la transmisión. Los datos recibidos son enviados al microcontrolador a través del puerto serial asíncrono (UART) RS232 a una tasa de 4800 baudios (NMEA, 2009).

Cuando el microcontrolador recibe las tramas de datos, realiza una selección de la información útil para la aplicación. Una vez se ha clasificado esta información y se ha estructurado en un vector, se transmite al PC, donde MATLAB recibe y procesa para posicionar al usuario en un mapa creado digitalmente.

2.2 Orientación

Para la orientación del sistema se trabajo con la brújula digital HMC6352 (HoneyWell, 2007), la cual entrega el valor en grados que representa el desfase tomando como referencia el norte terrestre; la resolución es de 0.1 grados y se alimenta a 3,3 voltios. La comunicación con el microcontrolador es a través del protocolo I2C.

Para obtener una medida correcta es necesario que la brújula se encuentre paralela al piso, por lo cual el acelerómetro se colocó junto a la brújula y a la cámara digital, garantizando la exactitud de la medida.

2.3 Acelerómetro

La inclinación del sistema juega un papel importante a la hora de conocer el punto de referencia hacia el cual observa el usuario, para lo cual se utilizó el acelerómetro MMA7260QT (Freescale, 2007) el cual maneja un rango de medidas de $\pm 1.5[g]$ en los tres ejes (X, Y y Z), utilizando la referencia de la gravedad terrestre con aceleración de $9,8[m/s^2]$ o $1[g]$ valor mostrado en el dispositivo cuando este se encuentra perpendicular a la horizontal. Los valores obtenidos en el acelerómetro se presentan en la tabla 1.

¹ National Marine Electronics Association

Tabla 1: Valores del acelerómetro

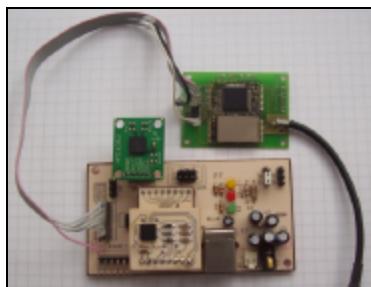
Valor en aceleración	Valor en voltaje	Valor en grados
1 g	2.85 V	90 °
0.5 g	2.25 V	45 °
0 g	1.65 V	0 °
- 0.5 g	1.05 V	-45 °
- 1 g	0.45 V	- 90°
Resolución = 600 mv		

2.4 Control del sistema

El control del sistema se realiza por medio del microcontrolador MQ9S08G8 de Motorola, cuya función es recibir los datos enviados por los sensores del sistema, procesarlos y enviarlos a la interfaz gráfica desarrollada en Matlab.

2.5 Visualización

El dispositivo de visualización es instalado en una unidad móvil, donde captura el entorno real y genera una visualización de imágenes al momento de hacer el recorrido por el área seleccionada. La resolución de la cámara es de 640x480. Esta imagen es relacionada con la base de datos de las coordenadas.

*Fig. 3. Hardware desarrollado*

2.6 Implementación del Software

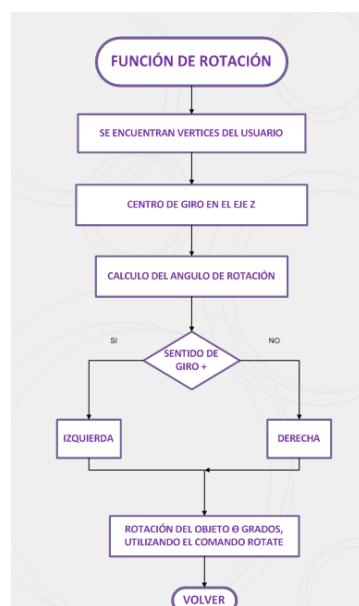
El software de interrelación con el sistema fue desarrollado a través de una GUIDE de MATLAB con el que se ofrece un espacio didáctico y de fácil manejo que le permite visualizar los diferentes sitios (Fig. 4). El lugar a representar fue una zona de la Ciudadela Real de Minas en Bucaramanga.

*Fig. 4. Panel principal*

La creación de los objetos a identificar se desarrollo con base a un algoritmo que grafica el mapa a estudio, compuesto por la representación de las 6 localidades y de igual manera se grafica el punto de posicionamiento y orientación del usuario que en conjunto con el algoritmo de las características de posicionamiento de las localidades: Patinódromo, Plaza Mayor, C.C. Acrópolis, Unidades Tecnológicas de Santander, Restaurante Cacareo y Colegio Goretti (Fig. 5).

*Fig. 5. Localización de los sitios a estudio*

Una vez situado el usuario en el mapa, el sistema determina la orientación para determinar que localidad se desea visualizar, el hardware del sistema envía la información a la interfaz y ella visualiza la localidad según la línea de visión del usuario. En este proceso intervienen varios elementos para dar en conjunto un resultado de identificación. Uno de estas subrutinas es la de orientación que determina en un espacio el giro del usuario con respecto a un origen previamente definido, esto se puede observar en la figura 6.

*Fig. 6. Subrutina para identificar la rotación*

La subrutina de determinación de la localidad correcta se realiza por medio de cálculo trigonométrico e identificación de puntos de corte, datos que son almacenados en un vector para encontrar la distancia mínima de los ejes de corte. En la figura 7 se encuentra el proceso realizado para llevara cabo esta tarea.



Fig. 7. Proceso de intersección de una localidad

De otro lado se desarrollaron subrutinas que permitían determinar la translación dentro del sitio estudiado, visualización en tiempo real de la localidad, emulación de un usuario dentro del mapa y comunicación con los periféricos y el PC. De manera generaliza se presenta el diagrama de bloques que muestra la integración de todos los procesos (Fig. 8).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos entregados por el GPS y la brújula digital, adquiridos por el microcontrolador son óptimos para los cálculos a realizar, la trama contiene 40 bytes y el tiempo de transmisión es de aproximadamente 70 mseg.

El mapa de las localidades del sistema se asemeja a los patrones comparativos utilizados para el proyecto como lo fue un GPS profesional y los datos suministrados por *Google Earth*.

Para la ubicación y orientación del usuario en el mapa e identificación de la imagen visualizada, se realizaron varias pruebas con el sistema desarrollado, en donde una vez posicionado el usuario en un punto, este da la orden y se capturan los datos para visualizar las coordenadas donde se encuentra ubicado y se procede a la identificación de la localidad por medio del GPS.

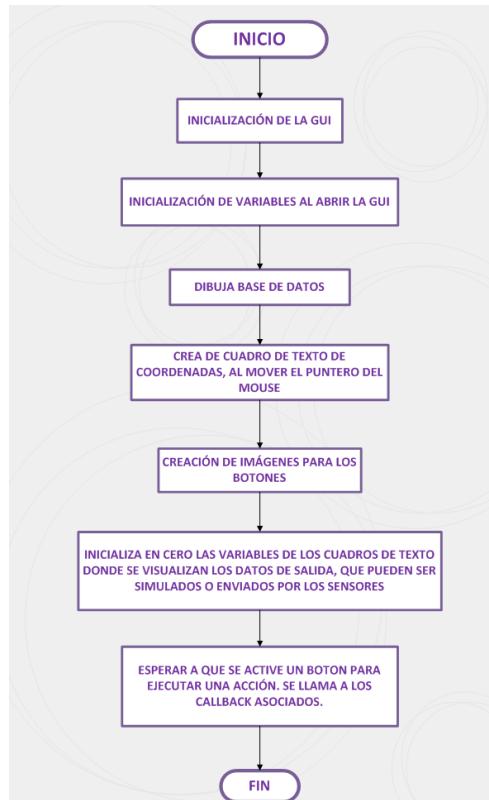


Fig. 8. Diagrama generalizado de la interfaz

Para la validación del sistema diseñado utilizando un GPS comercial, se realizó con la toma de datos de 2 equipos, con el fin de conocer el error que se presenta al tener un dato de posición de latitud y longitud del usuario. Para esto se utilizó el módulo receptor del sistema GPS TYCO (Tyco, 2006), adquirido para el desarrollo del proyecto y un GPS ETREX de Garmin (Garmin, 2009), propiedad de las Unidades Tecnológicas de Santander.

Se tomaron 5 datos en cada punto y se obtuvo un valor promedio para el GPS ETREX y para el GPS TYCO, posteriormente se calculó el error relativo de los valores de latitud y longitud. En la tabla 2 se presentan los resultados de una de las pruebas realizadas para la validación.

Tabla 2: Datos presentados por los GPS para la validación

	ETREX		TYCO	
	Lat.	Long.	Lat.	Long.
No.1	7,10495	73,12378	7,10491	73,1238
No.2	7,10493	73,12379	7,10491	73,1238
No.3	7,10495	73,12379	7,10492	73,1238
No.4	7,10496	73,12377	7,10491	73,1238
No.5	7,10496	73,12378	7,1049	73,1238
Prom.	7,10495	73,123782	7,10491	73,1238

Después de varias pruebas realizadas los resultados obtenidos para las mediciones fueron: error promedio total latitud 0.000397% y error promedio total longitud 0.000038%.

5. CONCLUSIONES

El sistema implementado puede ser manejado por una sola persona para la identificación de ubicaciones utilizando posicionamiento global por medio del GPS y direccionamiento local por medio de la brújula digital y el acelerómetro.

Se implementó un sistema que captura la señal proveniente de los sensores de posición, direccionamiento e inclinación del individuo dentro de la zona de interés, que luego son enviados al computador el cual genera un plano virtual de la ubicación del interlocutor, presentando información relevante del lugar indagado.

Por medio del algoritmo desarrollado es posible ubicar al individuo en el mapa virtual, visualizando de manera didáctica la posición, la imagen del sitio e información relevante del lugar a través de una Guide de MATLAB.

REFERENCIAS

- Piekarski, W. y Thomas, B. (2003). *Mobile Outdoor Augmented Reality Modelling Demonstration*. School of Computer and Information Science, University of South Australia Mawson Lakes, SA, 5095, Australia.
- Aguilar A., Urdiales c., Fernández-Ruiz J.A., Sandoval F. (2003) *Sistema CAD avanzado mediante Realidad Aumentada*. Dpto. Tecnología Electrónica, ETSI Telecomunicación, Univ. Málaga.
- Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S. y MacIntyre B. (2001). *Recent Advances in Augmented Reality*. IEEE Computer Graphics and Applications.
- Bolter J.D., Macintyre B. (2007). Is it live or is it AR?, IEEE Spectrum, August.
- Tyco Electronics. (Febrero 2006). *Datasheet - Receptor GPS A1029 de Tyco Electronics*. Descripción de los módulos GPS A1029-A y A1029-B, Versión 3.2, Revisión del Hardware 03.
- Nebot E., Sukkarieh S., Durrant-Whyte H. *Inertial Navigation aided with GPS information*. Department of Mechanical and Mechatronic Engineering. University of Sydney. Australia, 2006.
- Esqueda Elizando J. J. *Matlab e interfaces gráficas.pdf*. Universidad autónoma de Baja California, Unidad Tijuana, Noviembre 2002.

SITIOS WEB

- NMEA. (2009). *Estándar NMEA*. National Marine Electronic Association.
http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp. (15 de mayo 2009).
- HoneyWell. (2007). *Datasheet - Especificaciones técnicas de la brújula digital*.
<http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/HMC6352.pdf>. 15 de noviembre 2007.
- Freescale. (2007). Especificaciones técnicas del acelerómetro en el sitio web:
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf, Rev. 3, Tempe Arizona 85284, 10 de junio 2007.
- Garmin, (2009). *Especificaciones técnicas del GPS etrex de Garmin*.
<https://buy.garmin.com/shop/shop.do?pID=6403&ra=true>, 15 de mayo 2009.

Recibido: 24 de julio de 2009
 Aceptado: 15 de septiembre de 2009

MUSIC ALGORITHM SIMULATION FOR UNIFORM LINEAR ARRAY OF SMARTS ANTENNAS

SIMULACION DEL ALGORITMO MUSIC PARA UN ARREGLO LINEAL UNIFORME DE ANTENAS INTELIGENTES

MSc. Eduardo Avendaño Fernández, Ing. William Rincón Hernández

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Escuela de Ingeniería Electrónica, Sogamoso, Boyacá, Colombia.

Tel.: 57-8-7716902, Fax: 57-8-7716902, Ext. 241

E-mail: eduardo.avendano@uptc.edu.co, williryco@hotmail.com

Abstract: This paper presents the design and the simulation of a uniform linear array of smart antennas, using the MUSIC algorithm (Multiple Signal Classification) to obtain the angular position of users. The specific application is the Wideband Code Division Multiple Access, which with the introduction of the Third Generations Systems promises better experience for the users supported by smart antennas technology.

Resumen: Este artículo presenta el diseño y simulación de un arreglo lineal uniforme de antenas inteligentes, usando el algoritmo MUSIC (Clasificación de Señal Múltiple) para obtener la posición angular de los usuarios. La aplicación específica es el Acceso Múltiple por División de Código, que es la introducción a los sistemas de Tercera Generación que prometen mejor experiencia para los usuarios soportados por la tecnología de antenas inteligentes.

Keywords: Uniform linear array, smart antennas, Direction of Arrival (DOA), array factor, beam forming, eigenvectors, correlation matrix and spread spectrum.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de antenas inteligentes (Liberti, 1999; Lehne et al, 1999) combina múltiples elementos de antenas con la capacidad de procesamiento de la señal, lo que mejora su radiación y/o su lóbulo de radiación en respuesta al ambiente de operación actual. Se considera que las antenas inteligentes son la última innovación tecnológica que tiene el potencial para aumentar la funcionalidad de los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

El arreglo de antenas a trabajar emplea el algoritmo MUSIC (Shubair et al, 2007) de estimación de dirección de llegada DoA (Constantine, 2005) (Direction of Arrival).

Aunque los sistemas de telefonía móvil celular se apoyan en GSM se está migrando hacia la Tercera Generación (3G) y las bondades se soportan bajo la arquitectura de CDMA (Acceso múltiple por división de código) y WCDMA (CDMA de Banda Ancha) (Rong, 1996), por lo tanto se realiza la simulación en base al sistema CDMA que es la base para los requerimientos de radio UMTS. Las antenas inteligentes (Constantine, 2005) son aquellas que poseen la capacidad de ajustar su diagrama de radiación de forma predefinida; el sistema funciona de tal forma que cuando el usuario se desplaza, se modifica la dirección del lóbulo para que se mueva con él.

2. FUNDAMENTACION Y CONSIDERACIONES

Para la implementación del algoritmo MUSIC y el análisis del arreglo de antenas inteligentes se tiene en cuenta las siguientes presunciones:

- 1) Todas las señales incidentes al arreglo de antenas, están compuestas por ondas planas.
- 2) El transmisor y los objetos que causan múltiples trayectorias (Multipath), se encuentran en campo lejano al arreglo de antenas.
- 3) La distancia entre los elementos de la antena, es lo suficientemente pequeña para que las amplitudes de las señales recibidas a cualquier elemento del arreglo, no difieran significativamente.
- 4) Cada elemento de la antena tiene el mismo patrón de radiación y la misma orientación.
- 5) El acoplamiento mutuo entre los elementos de la antena es despreciable.

2.1 Arreglo Lineal Uniforme

De acuerdo a la figura 1, un arreglo de antenas posee M elementos, de los cuales el primero es la referencia ubicada en el origen, por lo tanto, debe existir mínimo 2 elementos en la antena.

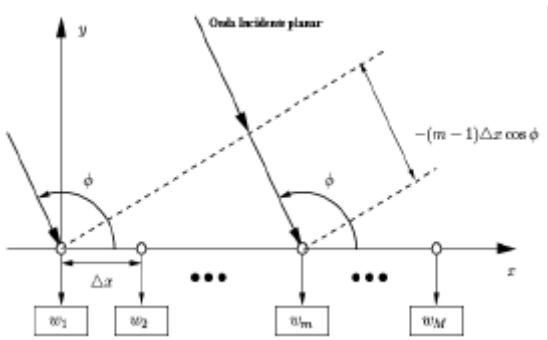


Fig.1. Arreglo Lineal uniforme de antena

Sea $\Delta x=d$ la distancia entre cada elemento del arreglo, por lo tanto $x_m=(m-1)d$. Dada la dirección de la onda incidente planar, se tiene que $\gamma_m=kd(m-1)\cos\phi$, como puede verse en la figura 1.

El espaciado entre los elementos del arreglo (d) es un factor importante en el diseño; una distancia mayor a $\lambda/2$ puede producir lóbulos rejilla en el diagrama de radiación y es muy probable que algunos usuarios no sean detectados; una distancia menor a $\lambda/2$ puede establecer acoplamiento mutuo entre los elementos del arreglo, lo cual no es conveniente para éste trabajo.

La señal entrante al primer elemento del arreglo está definida por:

$$s_l(t)=m_l(t) e^{j2\pi f_0 t} \quad (1)$$

Donde $m_l(t)$ es la función moduladora compleja de la l -ésima fuente (usuarios) y f_0 es la frecuencia de la señal portadora. Por lo tanto, para M elementos, se tiene la señal entrante:

$$x_m(t)=m_l(t) e^{j2\pi f_0 t + \Delta\gamma_m} + n_m(t) \quad (2)$$

$$x_m(t)=s_l(t)a_m(\mathbf{f})+n_m(t) \quad (3)$$

En la ecuación 3, $n_m(t)$ es la componente de ruido aleatorio sobre el m -ésimo canal; éste es asumido como temporalmente blanco, con media cero y varianza \mathbf{d}_n^2 .

Donde,

$$a_m(\mathbf{f}_l) = e^{j\Delta\gamma_m} = e^{-jkd(m-1)\cos\phi} \quad (4)$$

Ahora, podemos determinar el vector director como:

$$\mathbf{a}(\mathbf{f}_l) = (a_2(\mathbf{f}_l) \dots a_m(\mathbf{f}_l) \dots a_m(\mathbf{f}_l) \dots a_M(\mathbf{f}_l))^T \quad (5)$$

El vector de la señal entrante:

$$\mathbf{s}(t) = (s_1(t) \ s_2(t) \ \dots \ s_l(t) \ \dots \ s_L(t))^T \quad (6)$$

El vector de ruido:

$$\mathbf{N}(t) = (n_1(t) \ n_2(t) \ \dots \ n_l(t) \ \dots \ n_L(t))^T \quad (7)$$

Ahora la matriz dirección de tamaño L x N está dada por:

$$\mathbf{A} = \mathbf{a}(\mathbf{f}_l) \ \mathbf{a}(\mathbf{f}_l) \ \dots \ \mathbf{a}(\mathbf{f}_l) \ \dots \ \mathbf{a}(\mathbf{f}_L) \quad (8)$$

Finalmente, la matriz que contiene las señales entrantes será:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A} \ \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (9)$$

Dada la señal entrante definida por la ecuación 1, es necesario determinar el esquema de acceso múltiple y modulación, para propósitos de simulación suponemos que trabajamos sobre un sistema WCDMA (Acceso Múltiple por división de código de banda amplia), por consiguiente:

$$m_l(t) = d_l(t)g(t) \quad (10)$$

Donde $d_l(t)$ es un mensaje y $g(t)$ es ruido pseudo-aleatorio con valores binarios de +1 y -1.

3. ALGORITMO MUSIC

Los métodos con los cuales se extrae información de las señales entrantes son llamados métodos de estimación de dirección de arribo, entre ellos se encuentra el MUSIC (Clasificación Múltiple de la Señal) (Shabair, 2007), ubicado entre los métodos

de estructura propia, como se podrá notar posteriormente.

El algoritmo MUSIC requiere de la matriz de correlación R_{xx} , su valor está dado por:

$$R_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]x[n]^T \quad (11)$$

Donde $x[n]$ denota las muestras de la señal $x(t)$ y $x[n]^T$ denota la transpuesta de $x[n]$.

Para éste tipo de algoritmo se requiere hacer la descomposición de los valores y vectores propios de R_{xx} de la siguiente forma:

$$R_{xx} = V \Lambda V^T \quad (12)$$

Con la matriz diagonal

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \lambda_M \end{pmatrix} \quad (13)$$

Donde λ_1 denota el primer valor propio de la matriz de correlación R_{xx} y

$$V = (U_1 \dots U_2 \dots U_M) \quad (14)$$

Que contiene los vectores propios de R_{xx} .

La anterior representación también es conocida con el nombre de descomposición espectral de la matriz de correlación R_{xx} .

3.1 Espectro MUSIC

Ahora se procede a calcular el espectro MUSIC (Frank, 2005), el cual realiza una colección de los vectores propios y directores a_ϕ y se realiza una comparación, con el fin de clasificar los vectores que sean ortogonales como se muestra en la ecuación 15. Nótese que cuando se cumple lo anteriormente planteado, ocurrirán picos elevados en la dirección a_ϕ .

$$P(\mathbf{f}) = \frac{1}{a(\mathbf{f})^T V_N V_N^T a(\mathbf{f})} \quad (15)$$

Donde

$$V_N = (U_{L+1} \dots U_M) \quad (16)$$

3.1.1 Resultados de la simulación del algoritmo Music

Algunos picos en el espectro MUSIC son muy altos, lo cual hace necesario graficar en escala logarítmica y así evitar que algunos usuarios (así sean interferentes) no se puedan identificar en la gráfica.

Considerando el caso con 5 usuarios ($L=5$), 8 elementos en el arreglo ($M=8$), relación señal a ruido de 20dB (SNR), número de muestras $N=20$.

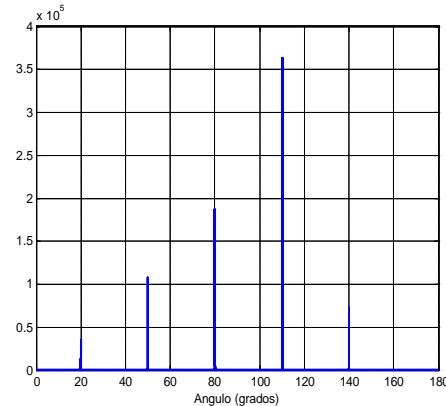


Fig. 2. Espectro MUSIC con $L=5$, $M=8$,
SNR=20db, $N=20$

Se puede observar en la figura 2, el inconveniente de no emplear la escala logarítmica cuando algunos picos son muy altos comparados con otros.

En la figura 3 se ilustra el espectro MUSIC en escala logarítmica:

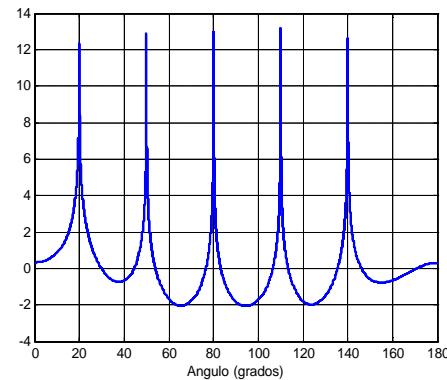


Fig. 3. Espectro MUSIC con $L=5$, $M=8$,
SNR=20db, $N=20$

En la figura 3 se observan los 5 usuarios detectados por el algoritmo MUSIC; la amplitud exacta de cada pico es irrelevante, ya que sólo nos interesa saber la posición angular exacta de los usuarios.

Para determinar las posiciones de los usuarios, calculadas por la simulación, se obtienen los cruces por cero del Espectro MUSIC a partir de su derivada para ser lo más exactos posibles, como se muestra en la figura 4.

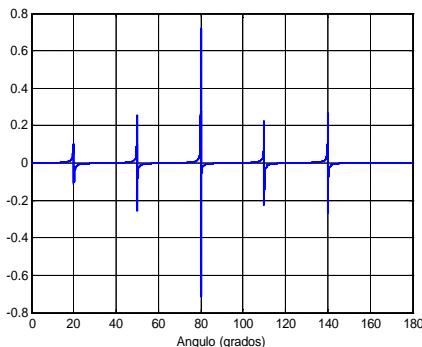


Fig. 4. Cruces por cero del Espectro $L=5, M=8, SNR=20db, N=20$

En las siguientes tablas se muestra las direcciones reales y las calculadas y el error entre ellas.

Tabla 1. Dirección real y estimada a partir del algoritmo MUSIC junto con el error relativo.

	Dirección Real	Dirección Calculada	Error Relativo
Usuario 1	20.000	20.015	0.0150
Usuario 2	50.000	50.015	0.0150
Usuario 3	80.000	80.015	0.0150
Usuario 4	110.000	109.975	-0.025
Usuario 5	140.000	139.995	-0.005

Ahora, variando la relación señal a ruido a 0dB se obtiene el espectro de las señales detectadas y se reconocen fácilmente los usuarios espaciados treinta (30) grados entre sí, ver figura 5.

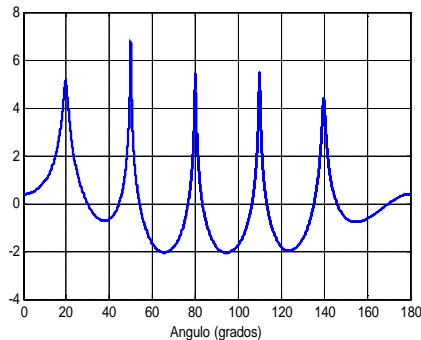


Fig. 5. Espectro MUSIC con $L=5, M=8, SNR=0db, N=20$

Se puede observar en la tabla 2, el incremento en el error relativo de las direcciones, debido al decremento de la relación señal a ruido; además, la amplitud de los picos en las figuras 3 y 5 puede

compararse para notar el decremento de dichos picos, debido a una baja relación señal a ruido.

Aunque el error que aparece en la tabla 2 es mayor al de la tabla 1, es relativamente pequeño y aceptable.

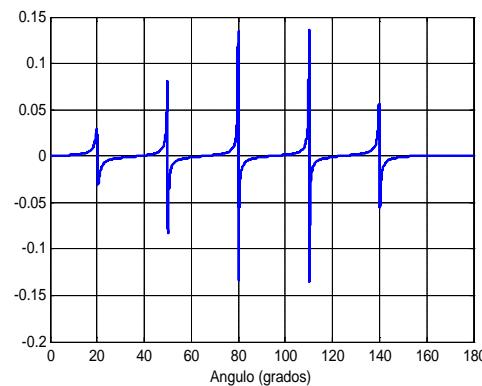


Fig. 6. Cruces por cero con $L=5, M=8, SNR=0db, N=20$

Tabla 2. Variación del error relativo en función de la SNR.

	Dirección Real	Dirección Calculada	Error Relativo
Usuario 1	20.000	19.685	-0.315
Usuario 2	50.000	49.905	-0.095
Usuario 3	80.000	79.975	-0.025
Usuario 4	110.000	109.835	-0.165
Usuario 5	140.000	139.795	-0.205

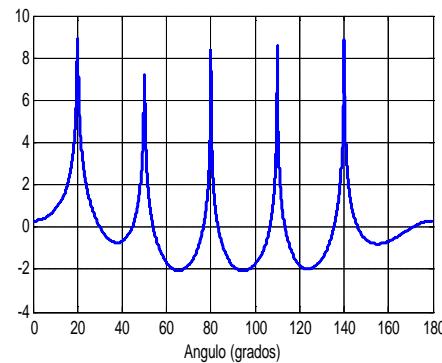


Fig. 7. Espectro MUSIC con $L=5, M=8, SNR=0db, N=100$

Sin embargo, vamos a ver que si se tiene un sistema que pueda emplear un número mayor de muestras, las direcciones de arriba con mínimo de error podrán evitarse al incrementar el número de muestras:

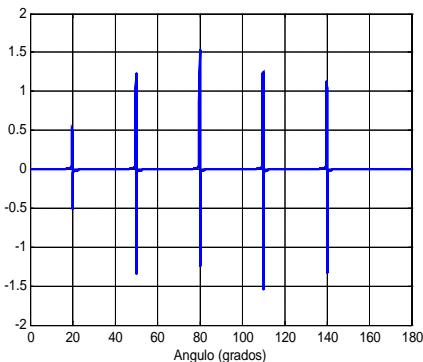


Fig. 8. Cruces por cero con $L=5$, $M=8$, $SNR=0db$, $N=100$

Notese que los picos en la figura 7, son un poco más altos que los de la figura 5, y que los cruces por cero están mejor definidos en la figura 8, lo cual conduce a unos buenos resultados en la tabla 3, donde el error se minimizó aumentando el valor de las muestras (N).

Tabla 3. Mejora en los valores del Error Relativo por incremento en las muestras.

	Dirección Real	Dirección Calculada	Error Relativo
Usuario 1	20.000	20.085	0.085
Usuario 2	50.000	50.025	0.025
Usuario 3	80.000	80.005	0.005
Usuario 4	110.000	110.035	0.035
Usuario 5	140.000	140.015	0.015

En la tabla 3 se observa que si tiene una $SNR = 0dB$, podemos aumentar el parámetro N para reducir el error en el cálculo de las posiciones.

Ahora, se hará la simulación con veinte (20) elementos en el arreglo de antenas, $SNR = 20dB$ y ocho (8) usuarios, ubicados a 20, 40, 60, 80, 90, 110, 130 y 160 grados:

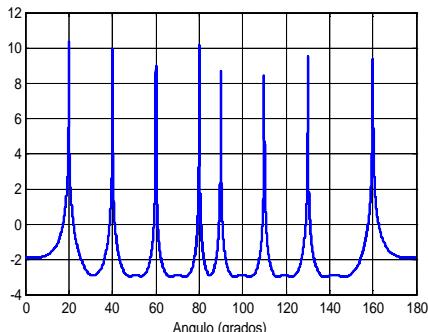


Fig. 9. Espectro MUSIC con $L=8$, $M=20$, $SNR=15dB$

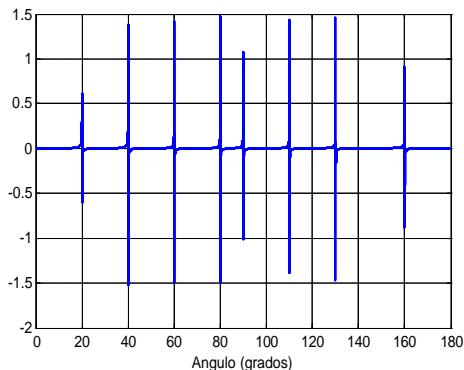


Fig. 10. Cruces por cero con $L=8$, $M=20$, $SNR=15dB$

Se puede notar que el algoritmo no tiene inconvenientes al detectar a los ocho (8) usuarios y según la tabla 4, el error al calcular los cruces por cero del Espectro MUSIC, con pequeños.

Tabla 4. Detección para ocho usuarios y Error Relativo.

	Dirección Real	Dirección Calculada	Error Relativo
Usuario 1	20.000	20.075	0.075
Usuario 2	40.000	39.995	0.005
Usuario 3	60.000	60.015	0.015
Usuario 4	80.000	80.015	0.015
Usuario 5	90.000	90.025	0.025
Usuario 6	110.000	110.035	0.035
Usuario 7	130.000	130.025	0.025
Usuario 8	160.000	160.065	0.065

Ahora, se hará la simulación, teniendo a 3 usuarios con ángulo de separación de 2 grados, ubicados a 20, 40, 60, 80, 82, 84, 130 y 160 grados, y $N = 20$.

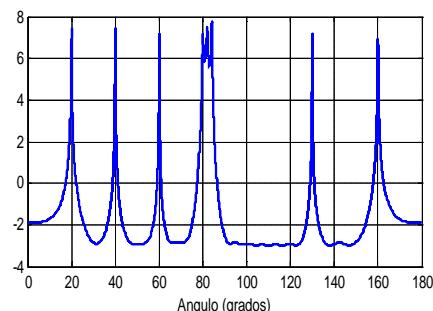


Fig. 11. Espectro MUSIC con $L=8$, $M=20$, $SNR=15dB$

En las figuras 11 y 12 no se distinguen muy bien los 3 usuarios más cercanos, pero puede verse en la tabla 5, que el error al calcular la dirección de arriba es pequeño.

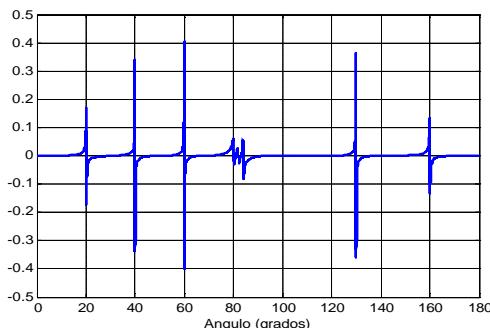


Fig. 12. Cruces por cero con $L=8$, $M=20$,
 $SNR=15dB$.

Tabla 5. Optimización del Error Relativo a través de realimentación del algoritmo.

	Dirección Real	Dirección Calculada	Error Relativo
Usuario 1	20.000	20.005	0.005
Usuario 2	40.000	39.005	0.005
Usuario 3	60.000	60.005	0.005
Usuario 4	80.000	80.055	0.055
Usuario 5	82.000	81.955	-0.045
Usuario 6	84.000	84.025	0.025
Usuario 7	130.000	130.005	0.005
Usuario 8	160.000	160.025	0.025

Es necesario aclarar que no se puede establecer dentro de la simulación la condición $M=L$, de acuerdo a la ecuación 16.

5. CONCLUSIONES

Según las simulaciones y las tablas presentadas, el Algoritmo MUSIC ha demostrado ser una herramienta bastante efectiva para los parámetros planteados, incluso en condiciones extremas; sin embargo, se hace necesario un estudio sobre las implicaciones que tiene el insinuante y lento decremento de la potencia entre los usuarios ubicados a diferentes ángulos, teniendo en cuenta la condición $M > L+1$.

Sería interesante para trabajos futuros, emplear otro tipo de geometría para el arreglo de antenas, ya sea circular, pentagonal y así poder aplicar este conocimiento a los sistemas actuales de comunicación, después de verificar el desempeño del algoritmo respecto a la detección de ángulo de arriba MUSIC.

A partir del funcionamiento del algoritmo MUSIC, se puede crear un sistema de antenas inteligentes, lo cual puede lograrse simulando uno o más usuarios moviéndose angularmente y por medio de un factor de arreglo establecer el patrón de radiación del sistema.

REFERENCIAS

- Constantine A. B., (2005). *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edition, Cap. 16, John Wiley & Sons New York.
- Frank B. G., (2005). *Smart Antennas for Wireless Communications with Matlab*, Cap. 7, Mc Graw Hill.
- Liberti J.C. y Rappaport T.S. (1999). *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice Hall.
- Lehne P. H. y Petersen M. (1999). *An overview of smart antenna technology for mobile communications systems*. IEEE Communications Surveys, Vol. 2, No. 4.
- Shubair R.M, Mahmoud A. y Jassim M. S. (2007). *A Setup for the Evaluation of MUSIC and LMS Algorithms for a Smart Antenna System*, Journal of Communications, Vol. 2, No. 4.
- Rong, Z. (1996). *Simulation of Adaptive Array Algorithms for CDMA Systems*. Tesis para el Grado de Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.

Recibido: 02 de junio de 2009
Aceptado: 13 de agosto de 2009**AN EVALUATION OF MOODLE PLATFORM IN A TRAINING COURSE IN
THE HEALTHCARE DOMAIN****EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA MOODLE EN LA ENSEÑANZA DE UN
CURSO EN EL DOMINIO MEDICO**

**Ing. Diana Cristina Muñoz Meneses, Ing. Jeimy Alexandra Ortiz Buitrón
Ph.D. Carolina González Serrano**

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software - IDIS
Departamento de Sistemas, Popayán, Cauca
E-mail: {dcm, aleortiz, cgonzals}@unicauca.edu.co

Abstract: This paper describes the evaluation of the Moodle platform in a training course in healthcare, aiming at determining the level of content's adaptation according to the student's profile. Therefore, the knowledge level acquired by students during the course, and also the course structure were evaluated. The results show that the Moodle platform allows to effectively and clearly defining the course objectives and evaluation activities. However, the main limitations found are the quality, content's organization and the adaptability according to the student profile.

Keywords: Evaluation, indicators, Moodle, knowledge level, adaptation.

Resumen: Este artículo describe la evaluación de la plataforma Moodle en la enseñanza de un curso de capacitación en salud, con el objetivo de determinar el nivel de adaptación de los contenidos según el perfil de cada estudiante. Por tanto, se evalúa el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes durante el desarrollo del curso y la estructura del mismo. Los resultados muestran que la plataforma permite definir de manera clara los objetivos del curso y las actividades de evaluación. Sin embargo, las principales limitaciones están relacionadas con la organización de los contenidos y la adaptación según el perfil del estudiante.

Palabras clave: Evaluación, indicadores, Moodle, nivel de conocimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Las *plataformas* de formación académica o *plataformas e-learning* son programas informáticos que se instalan en una máquina servidora a la que tendrán acceso los clientes, habitualmente, como usuarios registrados (Arias, 2008a).

Moodle es una plataforma de formación académica que promueve un enfoque pedagógico constructivista social (Zenha-Rela y Carvalho,

2006). Por otro lado, sirve como herramienta de soporte a los docentes en la creación de comunidades de aprendizaje en línea y ofrece diferentes actividades para los cursos existentes dentro la plataforma (Dougiamas, 2008; Berry, 2005).

Moodle se ha convertido en una de las plataformas más utilizadas por la comunidad educativa para impartir diferentes cursos en distintos idiomas (Cole y Foster, 2007). Diferentes estudios con

distinto nivel de complejidad se han realizado para evaluar diferentes plataformas entre las que se encuentra Moodle. Sin embargo, muchos de éstos estudios son generales y no han considerado un ámbito de aprendizaje específico (Monti y San Vicente, 2006).

Por lo anterior, nuestro trabajo se enfoca en la evaluación de la plataforma Moodle en la enseñanza de un curso de capacitación en salud, específicamente en la estrategia AIEPI (Atención Integrada a las Enfermedades Prevalentes de la Infancia) (Palacio *et al.*, 2005). El principal objetivo del trabajo es determinar el nivel de adaptación de los contenidos según el perfil de cada estudiante. Por tal motivo, se evaluó (i) el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes durante el desarrollo del curso y (ii) la estructura del curso orientado a través de la plataforma.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2, se mencionan algunos trabajos relacionados con evaluación de plataformas *e-learning*. En la sección 3, se hace una descripción del proceso de diseño del curso orientado a través de la plataforma Moodle y de las actividades realizadas con los estudiantes durante el curso. En la sección 4 se define la metodología de evaluación, posteriormente, en la sección 5 se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. EVALUACIÓN DE PLATAFORMAS DE E-LEARNING

En los últimos años, se han realizado diferentes estudios sobre evaluación de plataformas *e-learning*. A continuación se describen brevemente algunos de ellos: (Dougiamas, 2002) presenta un estudio sobre la relación entre las experiencias de los participantes y la plataforma Moodle. El trabajo de (Graf y List, 2005) evalúa la capacidad de adaptación de nueve plataformas *e-learning*, siendo Moodle la plataforma con los mejores resultados. (Reyes *et al.*, 2005) presentan los resultados de la valoración de las actividades de Moodle (chat, foro, cuestionario) en la evaluación del aprendizaje de los estudiantes y concluye que éstas actividades bajo un adecuado diseño y desarrollo de un curso, permiten al profesor cumplir con las funciones de evaluación.

El trabajo de (Monti y San Vicente, 2006) considera tres categorías para evaluar diferentes plataformas, las categorías son: didáctico-

funcional, tecnológica y financiera. También, expone las experiencias de orientar un curso de aprendizaje lingüístico en modalidad *e-learning*. Por otra parte, (Gallego *et al.*, 2006) realizan una evaluación para determinar las ventajas y desventajas que presenta la plataforma Moodle y proponen nuevas funcionalidades para mejorar las limitaciones de la plataforma. Sin embargo, en este trabajo no se realiza la evaluación de las mejoras propuestas.

(Kakasevski, *et al.*, 2008) realizan la evaluación de los módulos estándar de Moodle. Con los resultados obtenidos presentan una serie de recomendaciones para los usuarios de la plataforma. En (Al-Ajlan y Zedan, 2008) se describen las fortalezas y limitaciones de la plataforma Moodle frente a otras plataformas. (Arias, 2008a) evalúa la plataforma Moodle con el fin de validar un cuestionario de evaluación para plataformas *e-learning*.

A pesar de que se han realizado diferentes estudios, existen pocas evidencias de trabajos relacionados con evaluación de la plataforma Moodle en la enseñanza de cursos de capacitación en salud. Además, pocos estudios consideran que la experiencia previa con sistemas *e-learning* puede influir en la aceptación o rechazo de usar una nueva plataforma como complemento del proceso de aprendizaje.

En este artículo se describe la experiencia del uso y evaluación de la plataforma Moodle para capacitar a estudiantes en un curso dentro del dominio de Salud. El trabajo descrito, considera experiencias previas de aprendizaje de los estudiantes y enfrenta el desafío de romper la barrera existente frente al uso de plataformas de *e-learning*, las cuales son consideradas difíciles de entender y gestionar.

3. DESCRIPCIÓN DEL CURSO

En esta fase se desarrollaron las actividades para el diseño del curso virtual orientado a través de la plataforma Moodle, el cual fue evaluado posteriormente. El proceso de diseño del curso virtual se llevó a cabo en tres etapas. En la primera se seleccionó el curso y la población objetivo. En la segunda, se estableció el proceso de aprendizaje, se definieron los objetivos de aprendizaje, recursos educativos y se hizo la propuesta de evaluación. En la tercera fase se llevó a cabo la puesta en marcha del curso, se hizo el proceso de inscripción y desarrollo del curso.

3.1 Diseño del curso

El curso seleccionado fue “**Estrategia AIEPI: Módulo Recién Nacido**”, el cual, actualmente se imparte de forma presencial a los estudiantes del programa de Enfermería de la Universidad del Cauca.

En el proceso de diseño del curso virtual participaron profesores expertos en el dominio. El contenido del curso se estructuró por temas. Cada tema tiene asociados diferentes recursos didácticos como: texto, material fotográfico y videos. Además, con la ayuda del profesor encargado de orientar el curso se planteó la propuesta de evaluación, para determinar el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes.

3.2 Desarrollo del curso

Después de concluir la etapa de diseño del curso, se realizó una sesión presencial con los estudiantes en la que se hizo la inducción a la plataforma y el proceso de registro. Así mismo, se les proporcionó una guía sobre el funcionamiento básico de la plataforma.

Durante el desarrollo del curso, la comunicación con los estudiantes se estableció por medio de correo electrónico y el *chat* que proporciona la plataforma Moodle. Por otro lado, se usó el módulo *cuestionario* para evaluar el tema reanimación neonatal y pediátrica.

4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Con el objetivo de evaluar la plataforma Moodle en la enseñanza del curso “**Estrategia AIEPI: Módulo Recién Nacido**”, el proceso de evaluación se lleva a cabo en dos contextos. En el primero, se evalúa el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes al finalizar el curso virtual. En el segundo, se evalúa la estructura del curso virtual teniendo en cuenta un conjunto de indicadores.

4.1 Identificación de la muestra

La muestra la conformaron 22 estudiantes de noveno semestre del programa de enfermería de la Universidad del Cauca. De los cuales, 72,7% pertenece al género femenino y 27,3% pertenece al género masculino. La edad promedio de los estudiantes fue de 23,45 años, con un rango de edad entre los 20 y 29 años. Éste grupo de estudiantes en cursos anteriores, ya habían

adquirido una experiencia previa usando el entorno virtual de aprendizaje EVA (Solarte y Urbano, 2006).

4.2 Evaluación nivel de conocimiento

Teniendo en cuenta que los estudiantes a través de su experiencia adquieren diferentes conocimientos y competencias, no se puede afirmar que al iniciar un curso todos los estudiantes tienen el mismo nivel de conocimiento. Como lo expresa (Montserrat, 2007), las variables personales tenderán siempre a personalizar la aplicación de las estrategias de enseñanza, dado que nunca los conocimientos y experiencias previas de los estudiantes ante el aprendizaje de una materia o de un tema, serán las mismas. En este sentido, es importante hacer uso de algún mecanismo que permita determinar el nivel de conocimiento de los estudiantes al iniciar un curso.

Según (Yela, 1996), los test son un instrumento de medida y diagnóstico. Se usan para medir con precisión y objetividad los conocimientos o rendimiento actual de un sujeto en relación con los que, en una determinada materia, han mostrado poseer los sujetos de su población. Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió utilizar este instrumento de medida y aplicar un test preliminar llamado *Test de conocimiento inicial*, para determinar el nivel de conocimiento de los estudiantes al iniciar el curso, y un *Test de conocimiento final*, para determinar el nivel de conocimiento de los mismos estudiantes pero, al finalizar el curso.

El test de conocimiento inicial estuvo conformado por 10 preguntas de selección, las cuales fueron redactadas teniendo en cuenta el contenido del curso y bajo la supervisión del profesor encargado de orientarlo. Así mismo, con la asesoría del profesor se asignó el puntaje para cada pregunta. Por otra parte, las preguntas que conformaron el test de conocimiento final fueron diseñadas con un nivel de complejidad mayor. Es importante mencionar que, por la estructura de algunas preguntas y las restricciones de la plataforma, los test de conocimiento inicial y final, no se realizaron haciendo uso de Moodle.

Finalmente, para determinar el nivel de conocimiento adquirido por los estudiantes durante el desarrollo del curso, se hizo una comparación de los resultados obtenidos por cada estudiante en el test de conocimiento inicial con los resultados obtenidos en el test realizado al finalizar el curso.

4.3 Evaluación de la estructura del curso virtual

Para evaluar la estructura del curso virtual, se realizó un estudio sobre trabajos relacionados con evaluación de plataformas virtuales y sistemas e-learning. Algunos de estos trabajos se mencionan a continuación: (Martínez y Gallego, 2007) presentan el e-learning como una alternativa frente a la enseñanza tradicional y analizan la relación entre edad, género, conocimientos informáticos, experiencia previa en programas e-learning, tamaño del grupo y variedad de medios con la satisfacción de los usuarios de diferentes programas.

El estudio realizado por (Pichastor *et al.*, 2009) evalúa las características del entorno virtual Human Site¹, para lo cual considera la motivación intrínseca, el aprendizaje y el disfrute. Además, examina el papel de la auto-eficacia y el valor percibido del entorno. (Jiménez, 2005) plantea una propuesta en la cual pretende evaluar la satisfacción del estudiante de cursos de formación continua teniendo en cuenta las características persona-lógicas, capacidad de adaptación a las necesidades y calidad de formación y evalúa al estudiante desde tres puntos de vista: como estudiante, como trabajador y como cliente.

En el trabajo de (Arias, 2008a), se clasifica el material virtual y/o multimedia como: plataformas e-learning, cursos virtuales, unidades didácticas y programas de apoyo y se desarrolla un cuestionario común basado en indicadores para evaluar cada tipo de sistema.

Así mismo, se define un conjunto de indicadores los cuales determinan qué preguntas aplicar para evaluar cada tipo de sistema. Estos indicadores se agrupan en cinco categorías: Calidad Pedagógica, Calidad Técnica, Gestión, Usabilidad y Valoración General. La escala de valoración es de 0.0 a 4.0, siendo 0.0 la puntuación más baja y 4.0 la más alta puntuación que un sistema puede obtener, tanto en la valoración general como en cualquier categoría o indicador.

Teniendo en cuenta que la fiabilidad y pertinencia de los cuestionarios desarrollados por (Arias, 2008a) han sido validadas por diferentes expertos en informática, psicopedagogía, enseñanza primaria, entre otros (Arias, 2008b), en este trabajo se ha decidido adaptar uno de estos cuestionarios, específicamente el cuestionario de evaluación de cursos virtuales. La adaptación del cuestionario consiste en evaluar la categoría pedagógica y la categoría usabilidad. No obstante, para cada

categoría se evalúan todos los indicadores definidos en el cuestionario original y se mantiene la misma escala de valoración. A continuación se presenta la definición de cada categoría según (Arias, 2008a):

- **Calidad Pedagógica:** En esta categoría se deben medir las pretensiones del sistema, la estructura de los contenidos, las actividades, el sistema de evaluación, el aprendizaje modular etc.
- **Usabilidad:** Esta categoría medirá indicadores que hagan referencia a la facilidad de navegación, interacción con el usuario, calidad estética, etc.

Los indicadores definidos para evaluar las categorías mencionadas anteriormente son:

- **Guía didáctica:** Evalúa si están claras las pretensiones del curso, unidad didáctica o programa de apoyo, de forma que se pueda usar fácilmente por alguien que no sea el autor del sistema
- **Metodología:** Evalúa la calidad didáctica de los elementos básicos que deben estar definidos: objetivos, contenidos, actividades y evaluación.
- **Organización de los contenidos:** Evalúa la arquitectura de los contenidos que se muestran.
- **Calidad de los contenidos:** Evalúa el grado de adecuación de los conocimientos que se explican dentro del sistema.
- **Recursos didácticos:** Evalúa la versatilidad que tiene el sistema para enseñar lo mismo de distintas formas.
- **Capacidad de motivación:** Evalúa el grado de motivación que puede lograr el sistema.
- **Elementos multimedia:** Evalúa los elementos multimedia usados en el sistema.
- **Estilo del lenguaje:** Evalúa la sintaxis y semántica de los textos usados.
- **Discriminación y valores:** Evalúa el grado de discriminación y valores de todo el sistema.
- **Singularidad del usuario:** Evalúa si el sistema se puede acoplar a las características y circunstancias personales del usuario final.
- **Facilidad de navegación:** Al hacer referencia a la facilidad de navegación sobre una plataforma o curso, se hace en realidad sobre

¹ Entorno Virtual de Aprendizaje Interactivo, aplicado a asignaturas relacionadas con el factor humano.

la cantidad de problemas que ese material ayuda a resolver al estudiante en relación con su proceso de auto estudio.

- *Legibilidad de la información:* Dado que la mayoría de la interfaz de usuario llegará a este a través de la lectura del texto, se considera un indicador necesario el evaluar la visualización del texto.
- *Calidad estética del interfase general:* Evalúa los elementos básicos de la interface de usuario, como: iconos, menús, formularios, barras de navegación, enlaces, títulos, ventanas, botones, espacio de texto e imágenes

La Tabla 1, presenta los indicadores asociados a la categoría *Calidad Pedagógica* y *Usabilidad* de los cursos virtuales.

Tabla 1: Relación Categoría-Indicador

Categoría	Nombre Indicador
Calidad Pedagógica	Guía didáctica
	Metodología
	Organización de los contenidos
	Calidad de los contenidos
	Recursos didácticos
	Capacidad de motivación
	Elementos multimedia
	Estilo del lenguaje
	Discriminación y valores
	Singularidad del usuario
Usabilidad	Facilidad de navegación
	Legibilidad de la información
	Calidad estética de la interfaz general

5. RESULTADOS

En primer lugar, se presentan los resultados de la evaluación realizada a los estudiantes para determinar el nivel de conocimiento. Posteriormente, se presentan los resultados de la evaluación de la estructura del curso virtual.

La escala de calificación usada en el test de conocimiento inicial y final fue de 0.0 a 5.0, siendo 0.0 la calificación más baja y 5.0 la más alta. Además, se considera que el estudiante aprueba el test con una calificación mayor o igual a 3.0.

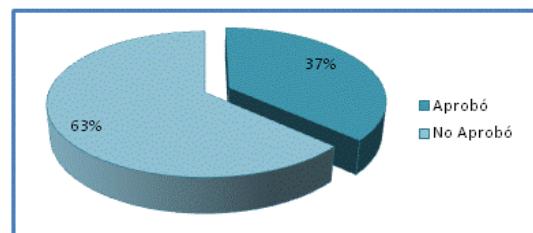


Fig. 1. Resultados Test Conocimiento Inicial

De los 22 estudiantes inscritos en el curso, 19 presentaron el test de conocimiento inicial y 3 no presentaron la prueba. En la Fig. 1, se observa que de los 19 estudiantes que presentaron el test inicial, el 63% aprobó el test y el 37% lo reprobó. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que todos los estudiantes inician el curso con diferente nivel de conocimiento.

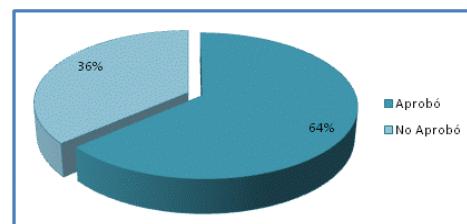


Fig. 2. Resultados Test Conocimiento Final

El test de conocimiento final fue presentado por todos los estudiantes inscritos en el curso. Los resultados presentados en la Fig. 2, muestran que el 64% de los estudiantes aprobaron el test y el 36% no obtuvieron la calificación mínima para aprobarlo. En la Fig. 3, se aprecia que el 55% de las calificaciones oscilan entre 3.0 y 4.0 y solo el 9% de las calificaciones es mayor que 4.0. Además, el 36% de los estudiantes reprobó el test con una calificación inferior a 3.0.

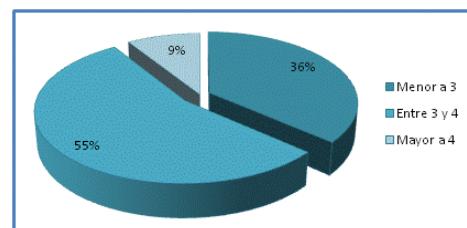


Fig.3. Consolidado Calificaciones Test Conocimiento Final

Por otro lado, es importante destacar que no se aprecia una variación significativa entre la calificación promedio del test de conocimiento inicial, la cual fue de 2.73 y la calificación promedio del test de conocimiento final, la cual fue de 3.29.

A continuación, en la tabla 2 se presentan los resultados de la evaluación de la estructura del curso virtual, teniendo en cuenta cada indicador.

Tabla 2: Resultados por Indicador

Nombre Indicador	Resultado
Guía didáctica	3,63
Metodología	3,05
Organización de los contenidos	2,96
Calidad de los contenidos	2,79
Recursos didácticos	2,74
Capacidad de motivación	2,81
Elementos multimedia	3,13
Estilo del lenguaje	2,93
Discriminación y valores	3,45
Singularidad del usuario	2,9
Facilidad de navegación	3,02
Legibilidad de la información	3,19
Calidad estética de la interfaz general	3,11

La Fig. 4 ilustra los resultados de la evaluación de cada indicador.

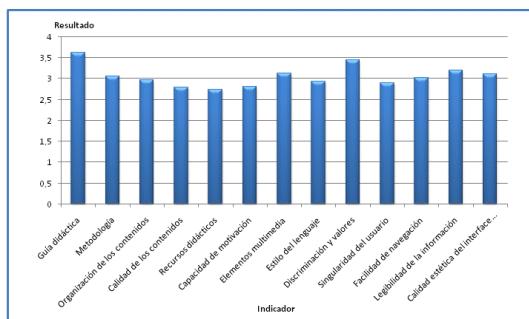


Fig. 4. Resultados para cada indicador

De acuerdo a los resultados presentados en la Fig. 4, el indicador relacionado con la *guía didáctica* del curso virtual “**Estrategia AIEPI: Módulo Recién Nacido**” fue el que obtuvo la mejor calificación.

Sin embargo, el indicador que hace referencia a los *recursos didácticos* fue el que obtuvo la calificación más baja, lo cual indicaría que la plataforma no es muy adaptable. No obstante, según la escala de valoración utilizada, los resultados para cada indicador son considerados aceptables.

A continuación, en la tabla 3 se presentan los resultados de la evaluación por categoría.

Tabla 3: Resultados por Categoría

Categoría	Resultado
Calidad Pedagógica	3,03
Usabilidad	3,1

La Fig. 5 presenta gráficamente los resultados de la evaluación discriminados por categoría.

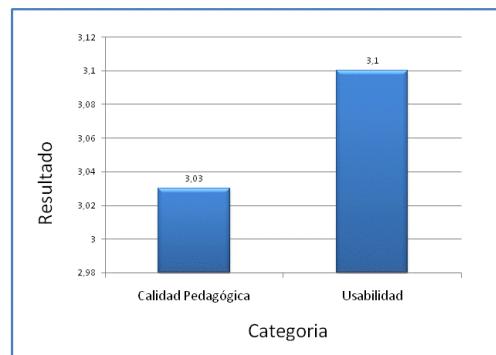


Fig. 5. Resultados para cada categoría

Como se puede observar en la tabla 3, la categoría calidad pedagógica como la categoría de usabilidad obtienen un resultado aceptable. La Fig. 5, muestra gráficamente que la categoría mejor calificada ha sido la categoría relacionada con la usabilidad.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo, se ha descrito la evaluación de la plataforma Moodle en la enseñanza de un curso de capacitación en salud. Teniendo en cuenta los resultados globales por categoría y los resultados por cada indicador, se puede decir que el curso “**Estrategia AIEPI: Módulo Recién Nacido**” orientado usando la plataforma Moodle, ha obtenido una calificación aceptable por parte de los estudiantes que desarrollaron el curso.

De igual forma, los resultados muestran que las principales ventajas de usar esta plataforma es que permite identificar claramente los objetivos de enseñanza y actividades de evaluación. Además, la interfaz mantiene un aspecto agradable para los estudiantes, lo que les permite moverse por el curso libre y rápidamente. No obstante, los resultados evidencian que la mayor limitación de la plataforma es que no proporciona diferentes guías de aprendizaje, que sean adecuadas a las características propias de cada estudiante. Por lo anterior se deben mejorar algunos aspectos, especialmente, relacionados con la calidad y organización de los contenidos, los recursos didácticos, la capacidad de motivación y el perfil del estudiante.

Por otro lado, se han presentado los resultados de la evaluación del nivel de conocimiento de los estudiantes. Del análisis realizado se puede determinar que la utilización de la plataforma ha influido positivamente en el 63.6% de los estudiantes. Sin embargo, se puede apreciar que el nivel de conocimiento en cada estudiante no se incrementa significativamente.

Actualmente, se está trabajando en el diseño de un prototipo de sistema tutor inteligente adaptable al perfil de los estudiantes del dominio de Salud. La implantación y evaluación formal del prototipo permitirá determinar, las ventajas reales del uso de sistemas tutores inteligentes frente a sistemas de enseñanza tradicional.

7. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del departamento de Enfermería de la Universidad del Cauca, especialmente a la enfermera pediátrica María Consuelo Santacruz y a la enfermera en neonatología Mabel Cuellar Tobar. Así mismo, agradece la colaboración del grupo de estudiantes de noveno semestre de Enfermería Superior de la institución, sin los cuales no habría sido posible obtener los resultados del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Al-Ajlan, A. y Zedan, H. (2008). *Why Moodle*. 12th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, pp. 58-64.
- Arias M., J. (2008a) *Evaluación de la calidad de Cursos Virtuales: Indicadores de calidad y construcción de un cuestionario de medida. Aplicación al ámbito de asignaturas de Ingeniería Telemática*. Tesis Doctoral, Departamento de ciencias de la educación, Universidad de Extremadura, Mérida, España.
- Arias M., J. (2008b) *Anexo II. Validación por Expertos*. Departamento de ciencias de la educación, Universidad de Extremadura, Mérida, España.
- Berry, M. (2005). *An investigation of the effectiveness of Moodle in primary education*. Deputy Head. Haslemere.
- Cole, J. y Foster, H. (2007) *Using Moodle: Teaching with the Popular Open Source Course Management System*. O'Reilly Media, Inc.
- Dougiamas, M. y Taylor, P. (2002). *Interpretive analysis of an internet-based course constructed using a new courseware tool called Moodle*. <http://dougiamas.com/writing/herdsa2002/> (02 de septiembre 2009)
- Dougiamas, M. (2008). <http://www.Moodle.org>. (02 de septiembre 2009)
- Gallego, A., et al. (2007). *Mejora del sistema Moodle mediante personalización de contenido y generación evolutiva de actividades aleatorias*. Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (Jenui).
- Graf, S. y List, B. (2005). "An evaluation of open source e-learning platforms stressing adaptation issues," Advanced Learning Technologies, 2005. ICALT 2005. Fifth IEEE International Conference on, pp. 163-165.
- Jiménez M., M. P. (2005). *La Satisfacción del Alumnado de la Teleformación Continua*, Universidad de Granada. http://www.ugr.es/~sevimeco/revistaeticanet/numero5/Articulos/Formateados/Pilar_Nogueira.pdf. (25 de agosto 2009)
- Kakasevski, G., et al. (2008). *Evaluating usability in learning management system Moodle*. ITI 2008 - 30th International Conference on Information Technology Interfaces, pp. 613-618.
- Martínez C., E. y Gallego R., A. (2007). *La creación y distribución del conocimiento a través del e-learning: ¿qué factores determinan el éxito?*. Asociación Española de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM): Vol. 1. p.74. Decisiones basadas en el conocimiento y en el papel social de la empresa: XX Congreso anual de AEDEM: Ponencias.
- Monti, S. y San Vicente, F. (2006). "Evaluación de plataformas y experimentación en Moodle de objetos didácticos (nivel A1/A2) para el aprendizaje E/LE en e-learning". RedELE, Revista electrónica de didáctica/español lengua extranjera, Vol. 8.
- Montserrat, M., et al. (2007). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje, formación del profesorado y aplicación en la escuela*. México D.F: Colofón. [http:// www.grao.com](http://www.grao.com) (20 de Junio de 2009)
- Pichastor R., P, Nieto S., A. y Navarro G., M. A. (2009). *Entornos virtuales de aprendizaje: El papel del valor del entorno virtual y la autoeficacia en los resultados de los estudiantes*. International Conference on Multimedia and ICT in Education, April 22-24, 2009, Lisbon, Portugal.

- Reyes, A., et al. (2005). *La evaluación del aprendizaje usando las actividades de Moodle*. 3rd International Conference on Multimedia and Information and Communication Technologies Education m-CTE2005
- Palacio B., D., et al. (2005). *Atención Integrada a las enfermedades prevalentes de la infancia - AIEPI -: curso clínico para profesionales de la salud*, Ministerio de la Protección Social.
- Solarte, M. y Urbano, F. (2006). *Perspectivas de Investigación para el Cauca. Capítulo 8: Desarrollo de Entornos Virtuales para la educación: ELANE*.
- Yela, M. (1996). "Los Test". Psicothema, Vol. 8, No. sup, pp. 249-263.
- Zenha-Rela, M. y Carvalho, R. (2006). *Work in Progress: Self Evaluation through Monitored Peer Review Using the Moodle Platform*. Frontiers in Education Conference, 36th Annual. San Diego, CA: IEEE.

Recibido: 10 de marzo de 2010
Aceptado: 17 de mayo de 2010

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW METHODOLOGY FOR DESIGN
BASED ON PATTERN OF MOTHERS CELLS AND ARTIFICIAL CLONING OF
A BIOELECTRIC PROSTHESIS OF INFERIOR MEMBER FOR DISABLED
PEOPLE OF THE VIOLENCE**

**INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE NUEVA METODOLOGÍA DE DISEÑO
BASADA EN PATRONES DE CÉLULAS MADRES Y CLONACIÓN
ARTIFICIAL DE UNA PRÓTESIS BIOELÉCTRICA DE MIEMBRO INFERIOR
PARA DISCAPACITADOS DE LA VIOLENCIA**

PhD. Antonio Faustino Muñoz Moner*, Ing. July Andrea Gómez Camperos
Esp. Javier Mauricio Vega Torres***

*** Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB**

Ave. 42, No. 48-11, Tel. (+577) 643 6111 /643 6261

E-mail: amunozm@unab.edu.co, ingjaviermvega@yahoo.com

**** Centro de Investigaciones en Ingeniería y/o Organizaciones**

Universidad Francisco de Paula Santander, Ave. Gran Colombia No. 12E-96B Colsag
San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Tel. (+577) 5776655 Ext. 277- 284

E-mail: jagcomez@hotmail.com

Abstract: This work deals with the research and the development of a new methodology based on patterns of mothers cells and artificial cloning of a bioelectric prosthesis of member inferior for disabled people of the violence; equipping it with a data acquisition system, which takes their biological signals of its couple and then be replied in the prosthesis using artificial intelligence.

Keywords: Methodology, artificial intelligence, artificial cloning, sensors and controllers genome, replication, mechatronics control, prosthesis.

Resumen: Este proyecto trata de la investigación y el desarrollo de una nueva metodología basada en patrones de células madres y clonación artificial de una prótesis bioeléctrica de miembro inferior para discapacitados de la violencia; equipándolo con un sistema de adquisición de datos que tome las señales de su par biológico y luego sean replicadas en la prótesis usando técnicas de inteligencia artificial.

Palabras clave: Metodología, inteligencia artificial, clonación artificial, genoma de sensores y controladores, replicación, control mecatrónico, prótesis.

1. INTRODUCCIÓN

Es difícil pensar en la vida de una persona con amputación del miembro inferior y en general de cualquier persona con movilidad reducida sin ponerse en sus zapatos; para ellos la cotidianidad se transforma en un constante estado de

limitaciones físicas que impiden sentirse como una persona normal. Una solución a sus limitaciones es el uso de prótesis. La metodología propuesta hace parte fundamental de un proyecto de investigación que pretende utilizar células madres de naturaleza mecatrónica, que combina la mecánica de alta precisión, los circuitos electrónicos, el control

inteligente y la programación con software de alto nivel, para desarrollar una prótesis que imite por el método de clonación el movimiento de la pierna sana y garanticé que la persona al caminar no cojee y ejecute su desplazamiento en forma normal, muy similar como lo realiza el miembro inferior sano. Esta opción permite generar mayor autoestima en la persona amputada.

El siguiente cuadro refleja el procedimiento a seguir para obtener el modelo experimental; se desarrollaran algunas actividades complementarias necesarias para lograr llevar a cabo el proceso de investigación y obtención de resultados.



Fig. 1: Metodología de desarrollo del proyecto

2. METODOLOGÍA BASADA EN ANÁLISIS CINEMÁTICO EXTREMIDAD INFERIOR

Es esta la etapa fundamental del trabajo, acá se realiza el estudio de la anatomía y morfología de la extremidad inferior; esto con el fin de conocer y llegar a una familiarización con los patrones de movimiento y las variables físicas (desplazamiento, velocidad angular, ángulos juntas, torque o momento, etc.)

Después de realizado el estudio de la anatomía, el siguiente paso consiste en hacer un análisis cinemático y cinético de la extremidad inferior, para ello existen diversos modelos propuestos por autores e investigadores reconocidos a nivel mundial. Algunos de estos modelos son:

2.1 Método para gráficos de unión basado en el análisis cinético

Está basado en la dinámica newtoniana y en algunos conceptos propios de la técnica de gráficos de unión. El análisis general de partida para realizar un gráfico de unión, comprende llevar a cabo el diagrama de cuerpo libre de un eslabón o fragmento de miembro inferior, al cual se la hace un análisis cinético; es decir, se analizan todas las fuerzas y momentos externos que pueden actuar sobre él (figura 2).

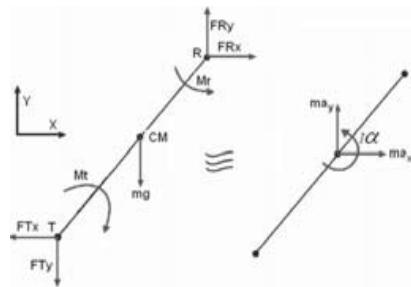


Fig. 2: Diagrama de cuerpo libre y cinético de un eslabón [7]

Para el análisis de la extremidad inferior durante el proceso de la marcha humana, se debe tomar en cuenta las dos fases más importantes durante el proceso de la marcha humana, la fase de balanceo y la fase de apoyo, a continuación se muestran los modelos a tomar para cada una de las etapas.

2.2 Modelo del doble péndulo invertido

Durante la fase inicial de apoyo o de respuesta a la carga, la masa corporal se desacelera controlando la flexión de la rodilla y el tobillo realiza una flexión plantar; se continúa después con la fase media de apoyo, en la cual ambos péndulos se encuentran en posición vertical (extensión de rodilla y cadera); se culmina con la fase final de apoyo, en la cual se produce una nueva flexión de la rodilla; en esta última fase, la función principal del miembro es prepararse para la oscilación o balanceo (figura 3).

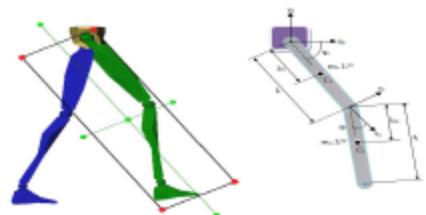


Fig. 3: Aplicación del modelo de doble péndulo durante la marcha [8]

2.3 Modelo del péndulo invertido fase de apoyo

En esta etapa, se presenta triple péndulo invertido, pues hay una interferencia significativa del tronco en esta fase de la marcha. En la figura 4, L3, L4 y L5 son longitudes de los segmentos, r3 y r4 y r5 son las distancias entre el centro de masa y la articulación; m3, m4 y m5 son los centros de masa de cada segmento y Ø3, Ø4 y Ø5 son los respectivos ángulos para cada una de las articulaciones.

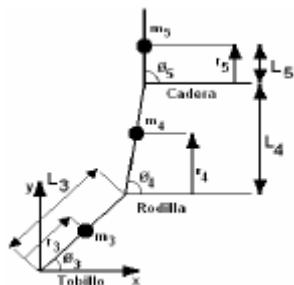


Fig. 4: Modelo de ensamble

En el modelo, los centros de masa de la extremidad inferior están concentrados en los centros de gravedad de cada uno de los segmentos y las masas de las articulaciones son despreciadas. Las coordenadas de referencias para la articulación de la cadera durante la fase de oscilación son fijas y lo mismo ocurre para la articulación del tobillo durante la fase de apoyo.

3. CLONACIÓN ARTIFICIAL EN INGENIERÍA

La metodología anteriormente mencionada, es de gran importancia, pero es evidente que precisa de un elemento físico, debido a esta necesidad, es imperioso aplicar la metodología a un hardware que permita su aplicación, tanto en la parte de aprendizaje (si se desea que este se haga directamente en el hardware) como su ejecución y reaprendizaje, para este objetivo, es necesario implantar una metodología de clonación artificial.

La metodología de clonación aquí propuesta, permite la replicación del movimiento de la pierna sana. Garantizando que la persona al caminar no cojee y ejecute su desplazamiento en forma normal, para esta metodología se proponen los siguientes pasos:

- Creación de los clusters.
- Creación de los cromosomas.
- Búsqueda de consecuentes.
- Identificar los operadores correctos.
- Crear algoritmo genético que busque la secuencia.
- Evaluar los individuos.
- Seleccionar los mejores (evaluados según error).
- Reproducir y generar nueva población.
- Repetir ciclo optimizando el error.
- Identificación de valores de salida.
- Desfusificación.

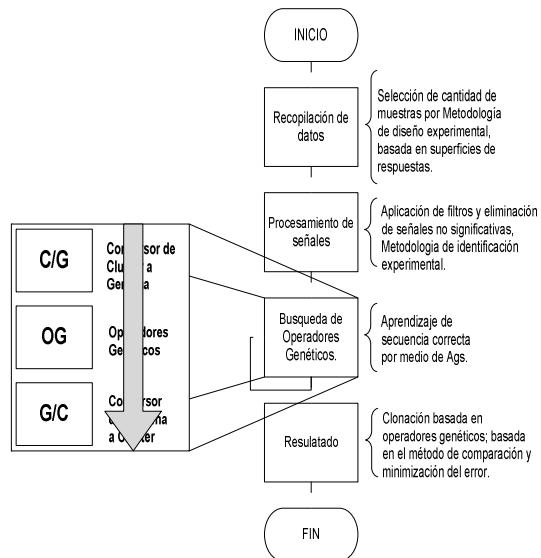


Fig. 5: Metodología de clonación

El primer paso del proceso de clonación, consiste en la recopilación de datos, esta se fundamenta en la selección de una cantidad de muestras representativas, para el caso de la prótesis bioeléctrica estas muestras se van a tomar de las señales recibidas de los sensores, luego se amplifican, y se someten a un procesamiento digital para entregar la señal EMG ya filtrada como se muestra en la figura 6.

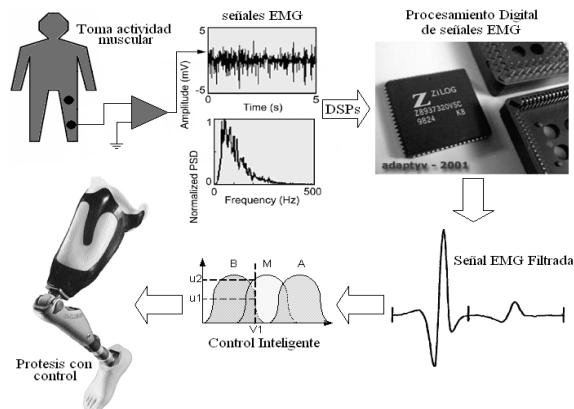


Fig. 6: Esquema general de sistema de control por clonación artificial

Las señales electromiográficas (EMG) son señales eléctricas producidas por un músculo durante el proceso de contracción y relajación.

Realizado los dos primeros pasos, los cuales consisten más en una selección y preprocesamiento de las señales, se ejecuta la segunda etapa de clonación, el primer paso reside en crear los

clusters para los valores de las entradas y salidas (independiente del número de estas, lo que conlleva a ser una metodología multivariable), identificando señal por señal, entrada por entrada y salida por salida, los clusters más adecuados para cada uno de ellos.

Para lograr los clusters es necesario, aplicar el “*fuzzy c-mean*” y de esta forma encontrar los respectivos “conjuntos naturales” de cada señal. El agrupamiento difuso (*Fuzzy c-mean*) o también llamado “*Clustering*”, es una metodología, que permite la partición del universo de discurso de una variable en diferentes grupos; el propósito de este agrupamiento es identificar los “grupos naturales” [10] de datos a lo largo de un “*data set*”, donde este grupo representa fielmente el comportamiento del sistema. Los clusters desarrollados en esta metodología tienen una representación (o se pueden reflejar) en conjuntos difusos, por lo que un valor V_1 se puede representar en n valores de pertenencia, donde n es el número de clusters de la variable en mención. Este procedimiento se aprecia en la 0.

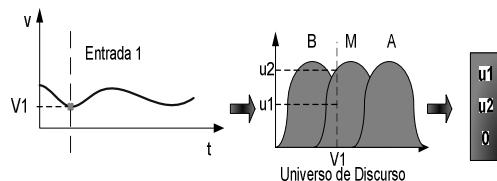


Fig. 7: Representación de Clusters difusos

Este procedimiento se repite para las entradas del sistema y para todas las salidas, pasando de una representación por valor a una representación por grado de pertenencia en los clústeres, tal y como se aprecia en la figura 8.

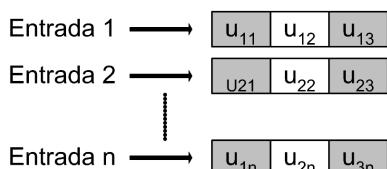


Fig. 8: Representación por Clusters

Definidos los valores de la entrada y salida, y colocados en términos de clusters, codificamos esta información en forma de cromosoma para su utilización en el algoritmo genético, para esta creación de cromosoma, fue implementada la visión dada por la referencia [10], en la cual se utiliza una división del cromosoma en antecedentes y consecuentes (AC), los antecedentes correspon-

den a las entradas del sistema, es decir, todas las diferentes variables que influyen en la inferencia de la o de las variables de salida, en esta sección también se pueden encontrar la información codificada de los clusters, grados de pertenencia, tipos de conjuntos difusos, entre otros. Los consecuentes del cromosoma contienen información que ha sido obtenida del los antecedentes, estas pueden ser, características estáticas y dinámicas [4], valor de salida propuesto, error estático y dinámico.

El procedimiento para encontrar los consecuentes es propio en cada sistema, pero es necesario saber, que esta información, como su nombre lo indica, es una consecuencial de la implementación de los antecedentes en el sistema, por lo que se debe tener especial cuidado en la elaboración de esta característica.

Los operadores genéticos, serán los encargados de hacer interactuar los cromosomas previamente armados, estas operaciones convertirán los cromosomas de entrada en cromosomas de salida, estos cromosomas de salida deben corresponder a una estructura de cromosoma AC, para lograrlo, la metodología de clonación dispone de una etapa de aprendizaje utilizando un método de comparación con el patrón, donde, evidentemente el patrón a utilizar como referencia es la señal de salida deseada; para lograr este objetivo, los operadores genéticos modifican la información, esto nos genera una pregunta, ¿Cuál debería ser la secuencia correcta?, ¿Qué operadores genéticos se deben utilizar?, ¿Cuántos operadores son necesarios?.

Para responder las preguntas anteriormente propuestas, es necesario implementar un algoritmo genético (AG), cuyo objetivo sea el encontrar una población optima de secuencia de operaciones, las cuales serán evaluadas tomando en cuenta el valor deseado de salida y el número de operaciones genéticas (entre menos operaciones, mejor calificación tendrá el individuo).

El AG es el encargado de realizar la búsqueda de la correcta secuencia de operadores genéticos [5], que llevarán las entradas a la salida deseada, el procedimiento se ilustra en la figura 4. Las primeras etapas se enlistan a continuación.

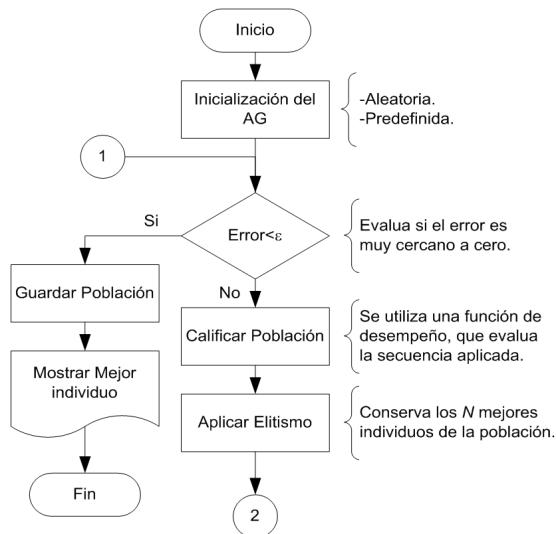


Fig. 9: Algoritmos genéticos

Con esto la información completa del mapa genético (genoma), es suficiente para el análisis aprovechando la potencialidad del software basado en algoritmos genéticos, con el cual se identifican los patrones de las señales EMG para realizar el control adaptativo de los movimientos de la extremidad inferior.

El empleo de técnicas de inteligencia artificial basadas en redes neuronales y computación evolutiva, garantiza la estrategia de accionamiento distribuido, y los operadores genéticos, la evolución de la técnica de control, para la replicación del comportamiento de la prótesis en el amputado.

4. HARDWARE EVOLUTIVO

El hardware evolutivo, es una herramienta necesaria para la implementación de la clonación artificial en ingeniería [1], las razones que fundamentan esta afirmación son varias, una de las más importantes, radica en la necesidad de aprendizaje del sistema, es evidente que el equipo desarrollado, sea sensor o controlador, va a funcionar por una cantidad de tiempo indeterminado, que en la mayoría de los casos se espera que sea un tiempo prolongado. Debido a esta situación es necesario prever que las condiciones, en las que fue “educado” el dispositivo, cambian o evolucionan, adicionando nuevas variables al proceso, lo que requeriría una adaptación del clon a su nuevo ambiente.

Para la implementación de un dispositivo o clon que aprenda periódicamente es posible que se haga

de dos formas, “off-line” o “on-line”, la primera de ellas consiste en detener el funcionamiento del clon, llevarlo a un laboratorio o unidad de aprendizaje e introducirle los nuevos parámetros vía software o hardware, el gran problema de esta concepción es que ciertamente se inducirán tiempos muertos en el funcionamiento del clon, es decir, el dispositivo estará fuera de funcionamiento cada vez que sea necesario (o el mismo dispositivo lo pida) un reaprendizaje, la totalidad de este tiempo será dada por la rapidez con la cual los encargados de realizar esta labor la cumplan, incluyendo factores humanos al proceso de aprendizaje, específicamente a los tiempos de los mismos.

En el aprendizaje “On-line”, pasa todo lo contrario, el dispositivo, activa su función de aprendizaje cada cierto periodo de tiempo y lo ejecuta paralelamente a su funcionamiento, evitando el tener que detener el proceso en el cual el clon forma parte, posterior a un tiempo de aprendizaje, el clon puede modificar su estructura (Hardware evolutivo) para ya sea permitir la entrada de una nueva configuración que el mismo pueda suplir, o modificar totalmente su estructura [2].

En este caso en particular se desea implementar el uso del aprendizaje “On-line”, para lo cual se ha estudiado muy de cerca el uso de células madres electrónicas, que al igual que sus homólogas en la biología, estas células pueden convertirse en cualquier otro tipo de células dentro del cuerpo y a replicarse en una cantidad aun indeterminada de veces [2], lo que ha llevado a los investigadores a interesarse en este de comportamiento y en ahondar en su estudio y evidentemente iniciar todo tipo de debates en el tema [3]; afortunadamente las células madres que en esta investigación se utilizan distan sustancialmente de la polémica ética y moral, pero aportan una valiosa información para el desarrollo de sistemas de alta tecnología, cerrando una nueva brecha entre la ciencia biológica y la ciencia tecnológica.

La célula madre que en este documento se desarrolla, es una unidad de procesamiento lógico digital, la cual, debido a su estructura puede modificar su comportamiento, gracias a la inclusión de una entrada denominada entrada de mutación, esta célula madre a diferencia de su homóloga en la naturaleza, no es capaz de replicarse a si misma, esta habilidad es reemplazada por la habilidad que poseerá el software para exigir la generación de nuevas células madres.

Para la implementación de este paradigma, es necesario contar con elementos que permitan una rápida y flexible configuración en hardware, para lograrlo utilizamos cualquier tipo de dispositivo lógico programable, en este caso en específico se utiliza un FPGA (*Field Programmable Gate Array*).

El diseño de circuitos digitales, entre los paradigmas ya propuesto se conocen los diseños de compuerta AND y OR y sus correspondientes inversores, NAND y NOR, con estos operadores básicos se puede diseñar cualquier clase de los circuitos lógicos existentes (OR, AND, XOR, NOT), por lo que estas 2 compuertas se pueden llamar las compuertas base de toda la lógica digital.

Centrando la atención en las compuertas NAND y NOR, la característica más importantes de estos operadores es que uno o cualquiera de los dos es el resultado de negar o invertir las entradas de señal del otro es por esto que el diseño del circuito evolutivo se enfocará en la implementación de estas dos compuertas.

Para este diseño se implementara una FPGA SPARTAN3 de XILINX que es muy comercial y de fácil acceso. El primer paso consiste en modelar la célula madre en la FPGA, debido a la sencillez del ejemplo, se trabaja en la modalidad “*schematic*” del software proporcionado por la compañía desarrolladora, esta visualización nos ayuda a observar y analizar de una mejor manera la célula madre.

Posterior a esta selección es necesario implementar una compuerta NOR y compuerta NAND dentro del mismo circuito, en este caso en especial, se trabajarán compuertas de 2 entradas, para lograr el funcionamiento del circuito como célula madre, se debe incorporar una 3 entrada, la cual funcionará como operador lógico mutable entre la NAND y la NOR el circuito se puede apreciar en la figura 10.

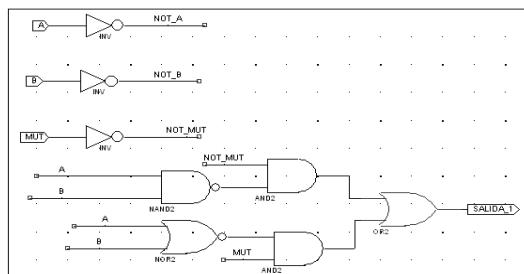


Fig. 10: Hardware Evolutivo

Como se puede observar, la célula madre puede trabajar tanto como NOR o NAND, dependiendo de su entrada de operador lógico mutable, lo que permite, al implementar una amplia cantidad de estas células, el desarrollo de una alta variedad de aplicaciones, así como igual número de arreglos lógicos. Esto se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 1: Operaciones célula madre

A	B	Mutación	Salida
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	0
0	0	1	1
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

5. SOFTWARE DESARROLLADO

El software que se desarrollo para la demostración de esta metodología utiliza datos de las variables del miembro inferior (prótesis) tales como posición, velocidad, fuerza-torque, los cuales afectan una variable denominada desempeño, con estos datos se podrá trabajar para la demostración de la metodología, el software consta, además de las mismas etapas explicadas en este documento, el primer paso es identificar las señales y hacer un procesamiento, esto se observa en la figura 11, en donde se aprecia unas señales ya filtradas y listas para la implementación de la metodología.

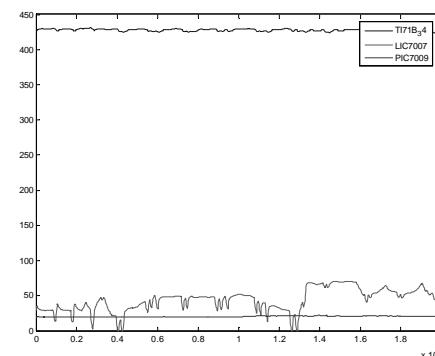


Fig. 11: Entradas del sistema

A las señales obtenidas anteriormente se les aplicó la metodología de clonación propuesta, sin conocer previamente las relaciones entre las variables de entrada y de salida.

Aplicando la metodología, se pudo encontrar una relación en algoritmos genéticos, con la modalidad fuzzy-genético, que permite la inferencia de la salida, los resultados se aprecian en Figura 11 y Figura 12 la evolución de esta población (200 individuos) en 350 generaciones es evidente, en la figura 12, en donde se encuentran las 3 primeras calificaciones de cada población, el criterio para detener el algoritmo genético fue dado por el tiempo máximo de ejecución (12 horas).

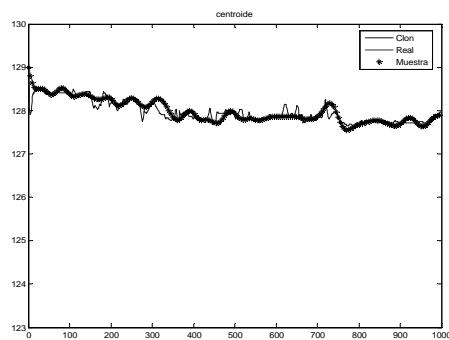


Fig. 12: Variable clonada vs Real

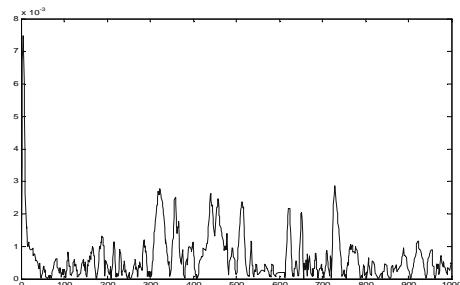


Fig. 13: Error de Clonación

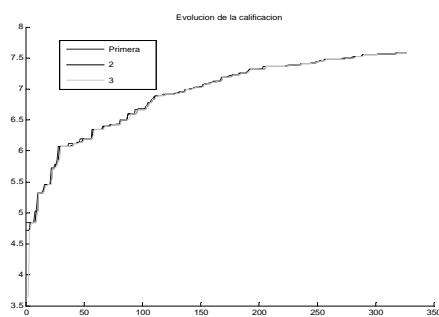


Fig. 14: Evolución de la calificación

Como se puede observar, el máximo porcentaje de error obtenido es del 0.08%, y la media de esta medida es del 0.01% aproximadamente, lo que permite acercarnos a un sistema de alta precisión con costos inferiores a los requeridos para tal fin, confirmando que la metodología acá implementada no solo es valida para la obtención de clones en

ingeniería reduciendo costos a la industria y optimizando los recursos de las mismas.

5.1 Árboles de decisión

En el desarrollo de la investigación se encontró otra concepción para la implementación de la metodología planteada, esta es denominada los árboles de decisión, los cuales se aprecian en la Figura 15, estos al igual que los cromosomas anteriormente explicados, contienen información que permite la solución de problemas tipo SISO (*Simple Input Simple Output*) y MISO (*Multiple Input Simple Output*), esta representación se puede complementar con el uso de AG's, que permitan la generación de múltiples árboles y la selección de las mejores expresiones, para su posterior cruce y generación de nuevas poblaciones de árboles de decisión, que a su vez, crean nuevas expresiones que buscan la solución o la representación de un modelo matemático del sistema físico analizado.

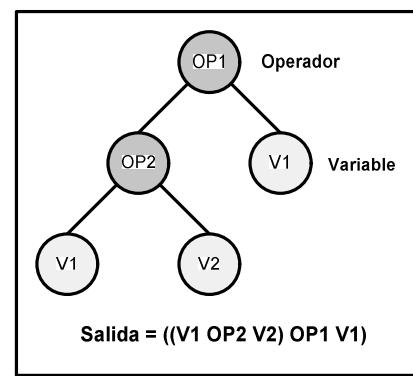


Fig. 15: Árbol de decisión

Como se aprecia en la figura 15, un árbol de decisión esta conformado básicamente por dos tipos de unidades representativas, los operadores y las variables, los operadores se encuentran dentro del árbol, mientras que las variables se encuentran en el exterior del mismo, esta arquitectura permite la elaboración de expresiones que pretenden emular modelos matemáticos en busca de emular la salida del sistema. Algunos de los resultados aplicando esta técnica se aprecian en la figura 16 y en la figura 17, en donde se puede observar los resultados de aplicar árboles de decisión y AG's (1000 generaciones y un máximo de 5 niveles en el árbol); lo que permite encontrar valores de errores inferiores al 0.2%.

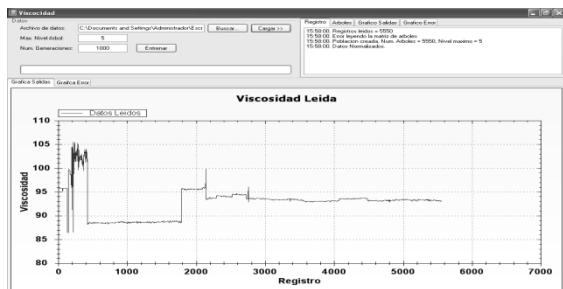


Fig. 16: Gráfica de la señal objetivo

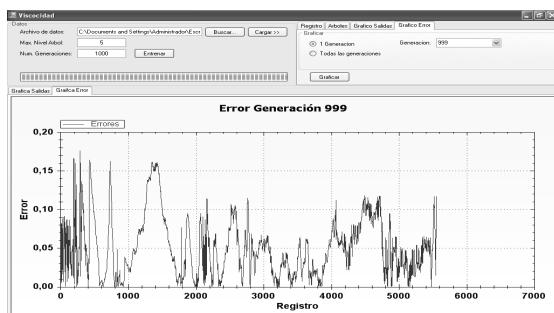


Fig. 17: Gráfica del error

6. CONCLUSIONES

Esta metodología es aplicable a modelos que representan sistemas no-lineales. Su alcance es amplio, en la práctica se dispone de modelos adecuados para solucionar el problema planteado.

Se logró replicar el movimiento de la pierna real, por mapeo genético evolutivo, partiendo del concepto tecnológico de la clonación artificial con base en algoritmos genéticos y aplicando sistemas adaptativos.

Con el uso de técnicas de clonación artificial, basada en algoritmos evolutivos, es posible diseñar y construir sistemas inteligentes capaces de solucionar problemas con calidad superior a la lograda mediante otros métodos tradicionales, incluso de aquellos imposibles de resolver por métodos convencionales.

REFERENCIAS

- [1] Winter, D. A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Warterloo: Warterloo Press, 1991.
- [2] Russi, Pedro Carlos. *Estudo De Um Modelo Dinâmico Para Avaliação Física Do Corpo Humano*. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista, Sao Paulo, Brasil.
- [3] Vera Pérez, Fredy. *Sistema electrónico de clonación artificial de un sensor de viscosidad basado en hardware evolutivo*. Trabajo de grado, Universidad de Pamplona, 2006
- [4] Muñoz, A. F. *Sensórica e instrumentación, mecánica de alta precisión*. Editorial Pueblo y Educación, Habana, 1997.
- [5] Malavé Ninoska, Maneiro. *Algoritmos genéticos aplicados al problema cuadrático de asignación de facilidades*. Departamento de Investigación Operativa, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Valencia. Venezuela, febrero 2002.
- [6] Loyo De Sardi, Jaqueline. *Algoritmos Genéticos y Optimización en la Investigación de Operaciones. Caso: Problema de Optimización con Objetivos Múltiples Expresado como un Modelo de Programación No – Lineal por Metas*. Departamento de Computación, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Febrero 2002.
- [7] Contreras Bravo, Leonardo Emiro y Roa Garzón, Máximo Alejandro. *Modelamiento de la marcha humana por medio de gráficos de unión*.
- [8] Grosso, J. M. y Tibaduiza, D. *Diseño Conceptual de un exoesqueleto para asistir la Rehabilitación de Miembro Inferior*.
- [9] Boudouda, H.; Seridi, H. and Akdag, H. "The Fuzzy Possibilistic C-Means Classifier". Asian Journal of Infomation Technology 4 (11): 981-985, 2005.
- [10] Delgado, Alberto. *Inteligencia Artificial y Minirobots*. Ecoe Ediciones, 1998.

Recibido: 13 de julio de 2009
Aceptado: 31 de agosto de 2009

VISION OF DEVELOPMENT SERVICES FOR NEXT GENERATION NETWORKS

VISION DEL DESARROLLO DE SERVICIOS PARA LAS REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN

MSc(c). Jose Luis Leal Gómez, PhD. Homero Ortega Boada

Universidad Industrial de Santander

Grupo de Investigación Radio - GIS

Cr. 27 con Calle 9, Ciudadela Universitaria. Bucaramanga, Santander, Colombia.

Tel.: 6344000, Ext. 2356

E-mail: jose.leal@radiogis.uis.edu.co, homero.ortega@radiogis.uis.edu.co

Abstract: Today, thanks to the apparent growth of the telecommunications market, has promoted research and development of new and innovative multimedia content-based services and location. These services have evolved into what has been called next generation services (NGN services), services that pose new challenges for the sector that must be faced in the coming years and are part of a general philosophy called Communications Convergence.

Aware of this situation, the research group RADIOGIS of Industrial University of Santander aims to accelerate the arrival of this new vision of NGN services to Colombia betting in general the global vision of the convergence of communications. So comes forward and proposes a network model and a base environment for the development of NGN services with the aim of clarifying the picture, carrying out the development of an NGN service prototype using the philosophy and proposed technologies.

Keywords: Next Generation Networks NGN, Web Services, Convergence, Location-based services LBS, Developers of Telecommunications Services.

Resumen: Hoy en día, gracias al evidente crecimiento del mercado de telecomunicaciones, se ha fomentado la búsqueda y desarrollo de nuevos e innovadores servicios basados en contenidos multimedia y localización. Estos servicios han ido evolucionando hacia lo que se ha denominado servicios de próxima generación (servicios NGN), servicios que plantean nuevos desafíos para el sector que deben ser afrontados en los próximos años y hacen parte de una filosofía general denominada la Convergencia de las Comunicaciones.

Consciente de esta situación, el grupo RadioGIS pretende acelerar la llegada de esta nueva visión de servicios NGN a Colombia apostándole en general a la visión mundial de la Convergencia de las Comunicaciones. Por eso se adelanta y propone un modelo de red y un entorno base para el desarrollo de servicios NGN con el objetivo de esclarecer el panorama, llevando a cabo el desarrollo de un servicio NGN prototipo utilizando la filosofía y tecnologías propuestas.

Palabras clave: Redes de Próxima Generación, Servicios Web, Convergencia, Servicios Basados en Localización, Desarrollador de Servicios de Telecomunicaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de telecomunicaciones vienen presentando un modelo de cambio hacia la convergencia de servicios. Una de las transformaciones más importantes fue lograr pasar de ser un sistema cerrado, ligado a las grandes compañías operadoras a ser un sistema abierto, permitiendo en principio, que cualquier persona pueda desarrollar nuevos servicios a los usuarios.

Hoy están casi dadas las condiciones para que cualquier persona con imaginación y sólo un PC conectado a Internet pueda crear servicios de telecomunicaciones avanzados que hasta el momento eran del dominio exclusivo de las grandes empresas de telecomunicaciones. Esto gracias a cambio de paradigma que han sufrido redes, operadores, servicios y mercados, mejor conocido con el nombre de “Convergencia de las Comunicaciones”. Desde el punto de vista de servicios, era el operador quien dedicaba a su desarrollo. El nuevo paradigma apunta a crear las condiciones para que cualquier persona acceda a los recursos de las redes para que pueda crear nuevos servicios. Surge así un nuevo actor: el desarrollador de servicios de telecomunicaciones (DSTel). Con esto se espera surja una gran cantidad de novedosos servicios de telecomunicaciones para apoyar la industria, el comercio, la salud, el medio ambiente, etc., y en síntesis, para mejorar las condiciones de vida de las personas. A esto se refieren los servicios NGN (Next Generation Networks), término puede sonar ambiguo si no se tiene en cuenta que se refiere a un nuevo paradigma que cambia radicalmente la visión de las redes y el papel que juegan todos los actores de las telecomunicaciones (operadores, autoridades reguladoras, usuarios, fabricantes, diseñadores de servicios de telecomunicaciones, etc). Es decir, se trata de una revolución en las telecomunicaciones que seguramente hará realidad la globalización del mundo.

Se puede decir de esta manera que NGN mas que una nueva arquitectura de red, es más bien todo un concepto que gira alrededor de un modelo para que las redes modernas de los operadores, las antiguas, pero sobre todo las futuras, se estructuren como una sola para facilitar los servicios del futuro.

Aunque en Colombia se tienen prácticamente todas las tecnologías de punta como UMTS, GSM, GPRS, EDGE, xDSL, WiMax, Redes Multiservicios basadas en ATM, MPLS, Giga Ethernet, etc., se está muy distante de lograr el

impacto que debe producir la Convergencia de las Comunicaciones. Las causas se encuentran en aspectos económicos, regulatorios, de cultura, pero también de mayor acción por parte de todos los actores de las telecomunicaciones. Así por ejemplo, hasta el momento, las empresas operadoras de telecomunicaciones están muy concentradas en el negocio en sí y permanecen muy distantes de las intenciones de las universidades, desmotivando su labor y tornándola en un simple ejercicio académico.

El grupo RadioGIS tiene un proyecto llamado PraConCo (Proyecto RadioGIS para la Convergencia de las Comunicaciones en Colombia) que busca descubrir, de acuerdo a los modelos actuales y futuros y a las condiciones presentes en Colombia y en muchos países como el nuestro, el modelo más conveniente a seguir para el desarrollo de servicios NGN. Pero también pretende desarrollar una primera versión del ambiente necesario para estos servicios, así como la implementación, al menos en calidad de demostración, de algunos de ellos.

Este artículo busca exponer y argumentar un modelo realista para que en Colombia se pueda darse inicio al desarrollo de servicios NGN por parte de la comunidad de DSTel, aún ante las adversidades que se presentan. De igual manera se presentan algunos ejemplos de servicios NGN desarrollados (o en desarrollo) por el grupo RadioGis y sus socios. Inicialmente se busca esclarecer la terminología asociada con el tema y el panorama que se ha encontrado.

2. LAS NGN Y LOS SERVICIOS NGN

2.1 Definición NGN

NGN es el acrónimo que se ha dado a las Redes de Próxima Generación (*Next Generation Networks*) cuya definición de mayor validez, es la otorgada por el Grupo de Estudio 13 del Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) en la Recomendación Y.2001, que define una NGN como: “Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS (*Quality of Service*), y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a

proveedores de servicios y/o servicios de su elección (UIT, 2004a).

Las NGN también se conocen como Redes Convergentes (*Converged Networks*) (Jain, *et al.*, 2004). Se refieren al nuevo modelo de redes que adoptarán los operadores de telecomunicaciones para garantizar una convergencia entre los servicios de voz, datos, videos e imágenes. Hasta el momento los operadores tenían una red especializada en cada servicio (Ortega, *et al.*, 2001), por ejemplo la red de telefonía fija o PSTN, la red de telefonía móvil o PLMN, la red de datos, la red de televisión, la red de radio digital. Unir PSTN y PLMN normalmente ha sido algo sencillo, pero la integración con la red de datos y televisión digital ha demandado un cambio total en la infraestructura de las redes que incluyen conceptos de Softswitches, Mediagateways, red de transporte con commutación de multietiquetas (Multilabel switching), banda ancha, Osa/Parlay, protocolos de señalización como Megaco, SIP, H232.

Las nuevas redes capaces de soportar todos los servicios a la vez e integrar todas las tecnologías de comunicaciones es lo que se conoce como NGN y deben presentar las siguientes características (UIT, 2004b):

- La transferencia estará basada en paquetes
- Las funciones de control están separadas de las capacidades de portador, llamada/sesión, y aplicación/servicio
- Desacoplamiento de la provisión del servicio del transporte, y se proveen interfaces abiertas
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en construcción de servicios por bloques
- Tendrá capacidades de banda ancha con calidad de servicio (QoS) extremo a extremo.
- Tendrá interfuncionamiento con redes tradicionales a través de interfaces abiertas
- Movilidad generalizada
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios
- Diferentes esquemas de identificación
- Convergencia entre servicios fijos y móviles
- Independencia de las funciones relativas al servicio con respecto a las tecnologías subyacentes de transporte
- Soporte de las múltiples tecnologías de última milla
- Cumplimiento de todos los requisitos reglamentarios, por ejemplo en cuenta a

comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.

Estas características, se enfocan en la necesidad de ver al usuario como un cliente potencial, cuya demanda debe ser atendida a través de nuevas herramientas tecnológicas, que le reporten beneficios en términos de costos, calidad de los servicios prestados y diversidad de servicios.

2.2 Servicios NGN

Las NGN han permitido la evolución para pasar de un conjunto de servicios sobre múltiples redes a una única red que los soporta (Camelo, *et al.*, 2008). Estas nuevas funcionalidades son conocidas como servicios NGN, los cuales han evolucionado como respuesta al aumento en la demanda de nuevas necesidades tecnológicas aplicadas a la vida diaria.

Hoy día según el concepto de NGN existe una tendencia a separar la capa de transporte y los servicios que sobre ella se prestan (UIT, 2004a). Esta separación se debe en gran medida al avance e impulso que han tenido los servicios de valor agregado en el mercado y la reducción de los mismos de la infraestructura de red para pasar a manos de terceros.

Los servicios NGN no se aferran necesariamente a las redes NGN. La flexibilidad de estos debe ser tal que es posible adaptarlos a cualquier red. Así por ejemplo, muchos servicios que corren hoy en redes de Telefonía sobre IP (VoIP) son muy completos y podrán fácilmente adaptarse a las redes NGN repotenciándose con las facilidades adicionales que estas brinden. Las características siguientes brindaran mayor comprensión.

2.3 Características de los Servicios NGN

Mario Muñoz, en su tesis doctoral (Muñoz, 2003) brinda una mayor claridad sobre los servicios NGN, resaltando que deben de poseer características de personalización, independencia del terminal y de la red de acceso, movilidad, universalidad, adaptación al usuario y ubicuidad, adicional a esto los servicios deben ser desarrollados en cortos espacios de tiempo, para ello, el operador debe ofrecer un ambiente de desarrollo que permita al DSTel usar recursos del operador evadiendo la complejidad de las tecnologías de la red y de todas las anteriores características de los servicios NGN.

En función de estas características se plantea la transformación que deben sufrir las redes y los entornos de creación de servicios actuales. Aparecen dificultades a la hora de desarrollar e implementar estos Servicios que se deben en gran parte a la falta de preparación de las redes existentes y a la no previsión de la evolución tecnológica, pero que ya han empezado a ser tenidos en cuenta en la generación de los nuevos modelos de redes. Así por ejemplo, la red UMTS está plenamente basada en la visión NGN, pero no es suficiente cuando los operadores que las implementan no han cambiado su mentalidad de abrir las redes o cuando esta conciencia no ha llegado a los entes de regulación.

3. SITUACIÓN EN COLOMBIA

El campo de las Telecomunicaciones ocupa un lugar fundamental en la sociedad y la economía colombiana y del mundo. La sociedad ha modificado sus hábitos involucrando este campo de la tecnología en su vida, llevándolo en muchos casos al punto de ser indispensable para algunas de las actividades cotidianas de la comunidad. Este comportamiento se ve reflejado en el crecimiento de este campo en los últimos años tanto a nivel técnico como económico.

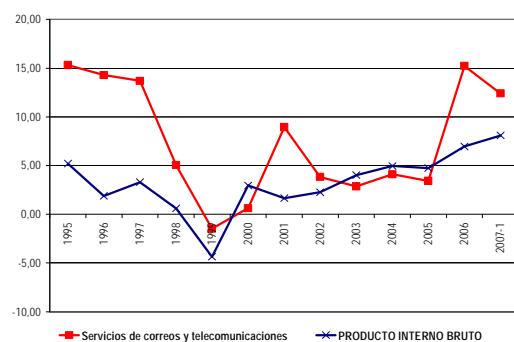


Fig. 1: Relación de Crecimiento del PIB de las Telecomunicaciones y del País
Fuente: DANE (marzo 2007)

La creación de servicios de valor agregado por parte de los operadores en el mercado ha provocado un incremento en el movimiento financiero de las telecomunicaciones ubicándolo, porcentualmente, por encima del movimiento general del país. Esto se ilustra en la figura 1 que muestra el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia en relación al Producto Interno del campo de las Telecomunicaciones.

En cifras reveladas por la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones en Mayo de 2008 el crecimiento del campo de las telecomunicaciones superó los 8 billones de pesos, donde los ingresos por los servicios de Valor Agregado y servicios de telecomunicaciones fueron de 2,2 y 0,12 billones de pesos corrientes respectivamente (CRT, 2008).

Según estos precedentes, centrar la atención en el campo de las Telecomunicaciones, y en los Servicios que este puede prestar, no es una especulación para esperar resultados a un futuro que, si bien antes se veía lejano, está latente y produciendo grandes utilidades y beneficios para todos los actores de la sociedad. Pero aún con estas cifras, el ambiente de creación de servicios de telecomunicaciones que se encuentra en Colombia es un poco difícil, por ejemplo

Las empresas de telefonía móvil han dedicado sus mayores esfuerzos a ofrecer servicios de voz y en menor medida de datos. Para la voz utilizan centrales telefónicas basadas en conmutación de circuitos, para los datos actualmente han incursionado con acceso UMTS/HSDPA en las principales ciudades y GPRS/EDGE a nivel nacional, totalmente orientado a la Internet. Su negocio gira en torno a los servicios de conectividad y promueven el desarrollo de los demás servicios de telecomunicaciones por parte de terceros, los DSTel que no pueden hacer uso de todos los beneficios de la red del operador. Los productos de los DSTel tienen un mercado muy específico en el cual debe tenerse en cuenta el alto costo que tiene el acceso, además, que se deben basar en la Web y algunos recursos como el sistema de mensajería SMS, a pesar de que varios operadores ya han implementado redes internas de alta velocidad y plataformas abiertas para el desarrollo de servicios. Ejemplo de algunos servicios son: sistema para el apoyo a la fuerza de ventas de una empresa apoyados en celulares o PDAs, seguimiento de los carros en la carretera para las empresas de carga apoyados en GPS, SMS, telemetría, etc.

Importantes empresas de telecomunicaciones en Colombia han implementado redes de transporte basadas en las tecnologías elegidas para el núcleo de las NGN. Telebucaramanga fue la primera en Colombia en dar este paso y cuenta con lo que ellos llaman La Red Multiservicios. Sobre ella se soporta toda la infraestructura de ADSL para acceso de banda ancha y ahora para el sistema WiFi/PreWimax.

Mientras tanto, en Telebucaramanga la telefonía sigue siendo basada en conmutación de circuitos. La red multiservicios brinda la posibilidad de transmitir información de banda ancha (por ejemplo a 10 Mbps) a largo y ancho de la ciudad, sin necesidad de entrar a la Internet. Esta posibilidad se está desaprovechando debido a que no se cuenta con suficientes y atractivos servicios para ofrecer. La mayoría de los usuarios entran a ese núcleo solo para buscar una salida a la Internet. Algunos DSTel se han aventurado a desarrollar y prestar servicios especializados, por ejemplo transmitiendo imágenes y video para empresas de vigilancia. Colombia Móvil, al ingresar al mercado con los PCS en el 2001, implementó la plataforma de OSA/Parlay con el apoyo de Ericsson pero esta tuvo muy poco impacto debido a la falta de madurez del mercado, una legislación que favorezca a los DSTel y políticas internas de la empresa.

Resulta interesante ver que muchos de los conceptos de NGN están entrando a Colombia en forma de soluciones empresariales de VoIP (Voice over IP). Por ejemplo, la red de ToIP (Telephony over IP) que se está implementando en la Universidad Industrial de Santander, con apoyo de RadioGis y con tecnología principalmente de la empresa Avaya, tiene elementos propios de las NGN como: Softswitch, MediaGateways, protocolo Megaco y SIP, plataforma de desarrollo de servicios, etc. Sin embargo, estos recursos solo facilitan una gama de productos convergentes solo dentro de la tecnología Avaya.

En materia de regulación se ha iniciado un proceso para la liberación del comercio de servicios de telecomunicaciones en búsqueda de un entorno convergente y globalizado.

Mediante el Decreto 2870 de 2007¹ el gobierno nacional adopta medidas para facilitar la Convergencia de los Servicios y Redes en materia de Telecomunicaciones, pero aun los estudios muestran la necesidad en Colombia de apostarle a la Convergencia de las Comunicaciones (Colciencias, 2005), faltando aun más elementos en materia de regulación, a nivel de acuerdos entre los diversos actores y políticas claras en lo que se relaciona al ingreso de los DSTel en el mercado y la apertura de las redes por parte de los operadores.

Por esta razón se puede decir que en Colombia no existe una política clara para impulsar el desarrollo de los servicios NGN, tampoco se tiene modelo a seguir acorde con nuestras redes. Consecuentemente, se está desaprovechando un gran potencial que existe en ellas y en el recurso humano que entregan las universidades.

En Colombia se necesita que las empresas de telecomunicaciones establecidas comiencen a crear oportunidades para motivar a los ingenieros a desarrollar los servicios de telecomunicaciones que requiere la sociedad (personas, negocios, industria, educación, etc). Esta es una tarea muy amplia donde los principales actores son el gobierno y las empresas operadoras.

4. PROYECTO PRACONCO

4.1 *La importancia del proyecto de RadioGIS*

El desarrollo de servicios NGN, además de las facilidades y posibilidades que ofrece al usuario, contribuye al progreso social y económico de la sociedad colombiana en áreas clave como la medicina, comercio, turismo entre otros. Al formar parte de las telecomunicaciones, conforman un campo continuamente creciente y altamente productivo de la sociedad.

El grupo de investigación RadioGIS es consciente de los grandes beneficios de los Servicios NGN, por esta razón, los tiene en cuenta dentro de su trabajo e invierte esfuerzos para impulsar su desarrollo. RadioGIS tiene intenciones de descubrir, de acuerdo a los modelos actuales, los modelos futuros y a las condiciones presentes en Colombia, y en muchos países como el nuestro, el modelo más conveniente a seguir para el desarrollo de Servicios NGN. Además de esto, también pretende desarrollar una primera versión del ambiente necesario para estos servicios, así como la implementación, al menos en calidad de demostración, de algunos de ellos. Todo esto para propiciar la aparición de un nuevo actor: el DSTel (Desarrollador de Servicios NGN). Esta iniciativa se puede observar dentro del denominado “Proyecto de RadioGIS para la Convergencia de las Comunicaciones en Colombia” (PraConCo).

PraConCo se trata de un reto del grupo de investigación RadioGis para lograr integrar los esfuerzos que se realizan en Colombia en electrónica, informática y telecomunicaciones, para el desarrollo de soluciones útiles e innovadoras a la

¹ Fuente Web del Decreto
http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/?page=/modulos/legislacion/legislacion_user&id=338&state=V&id_tool=0

medida de las necesidades de nuestra sociedad. El grupo de investigación propone dentro PraConCo combinar las tecnologías modernas con las tradicionales permitiendo impulsar el desarrollo y la creación de Servicios NGN desde ya, iniciando con la elaboración de prototipos, y abriendo la posibilidad de una evolución hacia el modelo ideal.

Con PraConCo también se busca sentar un precedente, buscando mostrar qué son realmente los servicios NGN, cómo funcionan y cuál es el ambiente propicio para su desarrollo. Propiamente, los servicios NGN son caso del futuro, es una meta a muchos años, pero con PraConCo se buscará demostrar lo que significa un servicio que aprovecha los recursos de comunicaciones que se tienen en Colombia sin perder la visión NGN.

4.2 Modelo de Red Propuesto en PraConCo

El grupo de trabajo NGN del grupo de investigación RadioGis busca aprovechar su potencial, conocimientos del estado de las redes y relaciones con otras entidades para desarrollar Servicios NGN basados en Internet Móvil, posicionamiento y SIG (Sistemas de Información geográfica).

Es consciente que las condiciones de las redes y la regulación del país ameritan la definición de un modelo adecuado que beneficie la creación de servicios. En la figura 2 se puede observar un modelo de red NGN híbrido propuesto en el marco de este proyecto, que combina las tecnologías modernas con las tradicionales para permitir desde ya el desarrollo de Servicios NGN.

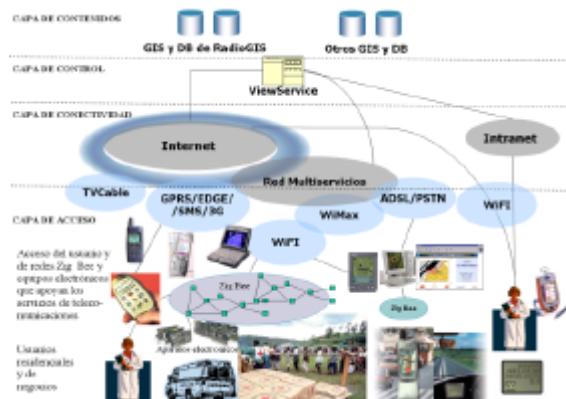


Fig. 2: *Modelo de Red propuesto por RadioGIS para el desarrollo de Servicios NGN*

Este modelo se debe interpretar solo como un primer paso en Colombia que permitirá impulsar el desarrollo de Servicios NGN. De ninguna manera

se trata de competir con los productos que se están desarrollando en el mundo, solo de crear las condiciones en Colombia para iniciar desde ya el desarrollo de este tipo de servicios, en lugar de someter a los desarrolladores a la incertidumbre de esperar cuando decidirán las empresas operadoras adquirir las plataformas, o los organismos de regulación promover que los operadores abran sus redes. A continuación se presenta una breve descripción de las capas del modelo presentado en la figura 2:

Capa de acceso: En esta capa se ubican la mayoría de los equipos de comunicación disponibles por los usuarios, como celulares, PDAs, BlackBerry, PCs, pero también la mayoría de los dispositivos electrónicos que se desarrollan en Colombia, las redes inalámbricas de poco alcance (Bluetooth, ZigBee, Infrarrojos, UWB, etc.). Las redes WiFi, GPRS/EDGE/3G, WiFi/PreWiMax, WiMax, ADSL y gran parte de la Red de Televisión Digital pertenecen también a esta capa y sirven como compuerta de acceso al núcleo de conectividad.

Capa de conectividad o Transporte: Aunque pueda sonar absurdo para los especialistas en NGN, el modelo está colocando la Internet en el núcleo de conectividad, ante una realidad que no podemos desconocer: La Internet es lo único común que los operadores de telecomunicaciones de nuestro país ponen a disposición de los usuarios y los DSTel.

En el modelo NGN la Internet no es más que una forma de acceso o destino. En el contexto de Santander, la red Multiservicios de Telebucaramanga, basada en IP o ATM y MPLS con capacidad de ofrecer QoS, estará indudablemente en esta capa y va a jugar un papel clave para el desarrollo de servicios muy similares a los que prometen las comunicaciones móviles 3G y 4G, pero no es la solución única para el modelo que buscamos, debido a que a ella solo se tiene acceso desde los abonados ADSL y WiFi/. Algo similar ocurre con los núcleos de datos que están desplegando los operadores móviles con UMTS.

Capa de control y Capa de Contenido: Es aquí donde centrarán su atención los desarrolladores de Servicios NGN. Allí se encuentra la parte de control de cada servicio y hace interfaz con los contenidos que se encuentran en la capa de contenidos. De esta manera, se entiende que un servicio es la unión de equipos de acceso, ayudas de visualización en los equipos de acceso, control del servicio, contenidos.

4.3 Modelo de Entorno de Desarrollo de Servicios NGN propuesto en PraConCo

Siguiendo la visión de Red NGN propuesta por PraConCo, se plantea el siguiente modelo para el implementar un entorno de desarrollo de servicios NGN dentro del grupo RadioGIS como se ilustra en la figura 3.

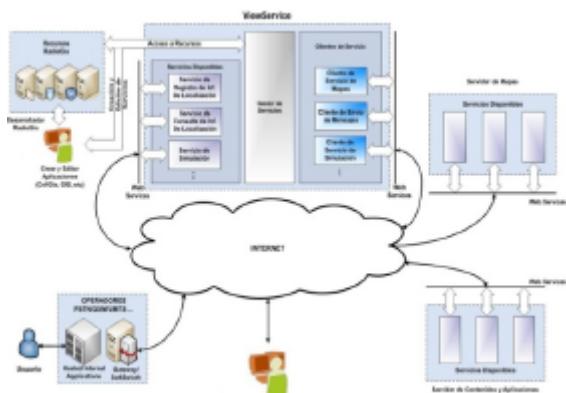


Fig. 3: Propuesta de Modelo de Entorno de Desarrollo de Servicios para RadioGis

El modelo plantea a los usuarios del modelo una serie de requisitos específicos para cada uno de los actores involucrados en el modelo (los DSTel, el Grupo RadioGIS y los usuarios finales de los servicios). En la tesis de grado “*Estudio para el desarrollo de servicios de telecomunicaciones de nueva generación en Colombia*” se presenta una descripción detallada de estos requerimientos y en general del modelo Praconco (Martínez y Quintero, 2007).

Dentro del grupo PraConCo se ha trabajado en varios proyectos y tesis de grado usando tecnologías de WebServices, LBS (*Location Based Services*) y Arquitecturas SOA (*Service Oriented Architecture*) con el objetivo de implementar y hacer uso del modelo de red propuesto, siguiendo los lineamientos de desarrollo del entorno adecuado a RadioGIS, de esta manera poder conocer los beneficios aportado y lograr corregir las deficiencias encontradas.

Entre los proyectos se encuentra el desarrollo de servicios para apoyar la gestión del espectro radioeléctrico. La idea del servicio es ofrecerle al usuario, según su posición, información sobre niveles de radiación electromagnética ya sea en forma de mapas o cifras que indican si se encuentra en una zona de riesgo.

El potencial del grupo gira en torno a el desarrollo principalmente de servicios LBS sobre redes de telefonía móvil con el objetivo de integrar soluciones a la medida del cliente. Este tipo de servicios es uno de los más atrayentes ya que en ellos se relaciona el contenido del mensaje con la posición estimada del terminal del usuario.

Adicional a esto, ProConCo trabaja en la idea de dar valor agregado a muchos productos que se crean en la Universidad Industrial de Santander que quedan en el olvido al no poderseles encontrar aplicaciones prácticas o comerciales. La idea es que estos desarrollos mediante su combinación con algunos componentes del modelo de red presentado en el apartado anterior, puedan convertirse en Servicios de Telecomunicaciones.

5. PROTOTIPO DE SERVICIO NGN

Entre los desarrollos adelantados se encuentra el desarrollo de un servicio NGN para la Solicitud de Puntos de Interés Cercanos a una Ubicación usando el emulador de Redes NGN de Ericsson (Martinez y Quintero, 2007). El objetivo de este servicio es permitir a un usuario con un dispositivo móvil, consultar o ingresar información sobre sitios de interés turístico o comercial ya sea a través de Internet o a través del servicio de mensajería de un operador de telefonía celular.

5.1 El Telecom Web Service Network Emulator

El prototipo desarrollado en Praconco utilizo como operador de telefonía móvil el emulador *Telecom Web Service Network Emulator*. Se trata de una herramienta de Ericsson, que puede ser descargada gratuitamente desde el sitio web de la empresa, e implementa características de un Gateway de Parlay X que pueden ser usadas para probar aplicaciones sin la necesidad de un Gateway conectado a la red de telecomunicaciones de un operador real. Está enfocado a los DSTel usando cualquier lenguaje de programación y que quieren desarrollar aplicaciones de telecomunicaciones.

Las características importantes del *Telecom Web Service Network Emulator* son:

- Cuenta con emulación de terminales con capacidad en enviar y recibir mensajes SMS y MMS, y muestra incluso un mapa para emular la localización de un terminal móvil permitiendo demostrar y probar aplicaciones de una manera más realista.

- Es un software abierto. El código fuente del emulador se encuentra incluido en el mismo.
- Pueden agregársele nuevas características que extiendan las capacidades presentes.
- Puede ser configurado para enviar y recibir mensajes SMS y MMS a teléfonos reales haciendo uso de una cuenta IPX de Ericsson.

5.2 Diseño del Servicio

En el servicio se pueden diferenciar 3 componentes principales tal como lo ilustra la figura 4, en la vertiente de telefonía móvil: el Operador de telefonía móvil, el Sistema de Información Geográfico y los servidores de aplicaciones de terceros. Se cuenta con el operador de telefonía móvil (*Telecom Web Service Network Emulator*) y una primera versión de un Sistema de Información Geográfico. El tercer componente corresponde al Servidor de Gestión de Localización (SGL), el cual ofrece funciones de un Servidor de Aplicaciones externo a la red del operador de telefonía móvil.

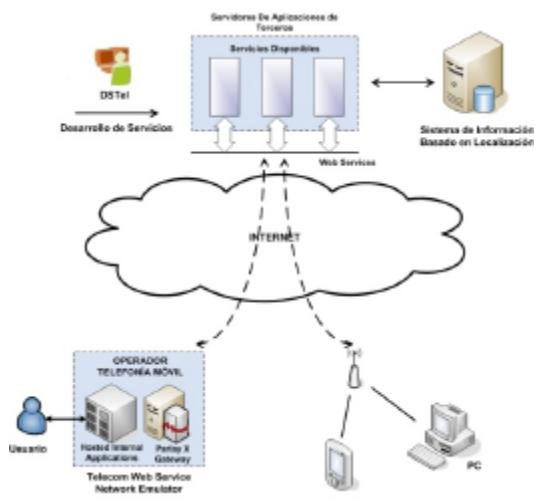


Fig. 4: Arquitectura General del Prototipo de Servicio de Solicitud de Puntos de Interés Cercanos a una Ubicación

Entre las características y funciones con las que debe contar este SGL se pueden encontrar:

- Debe ser una aplicación web y la interacción entre los componentes debe hacerse a través de Web Services.
- Debe atender las peticiones de los usuarios a través del servicio de Notificación de Mensajes ofrecido por el Gateway de Parlay X.

- Debe obtener la posición del usuario usando el Servicio de Localización ofrecido por el Gateway de Parlay X.
- Debe enviar y recibir información del Sistema de Información Geográfico.

El Usuario del Servicio realiza una única acción a través de la cual va a obtener la información que solicita, en la Figura 5, se presenta el caso de uso.

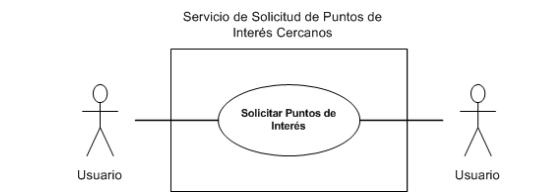


Fig. 5: Caso de Uso Principal del Software del Prototipo de Servicio de Solicitud de Puntos de Interés Cercanos a una Ubicación

El proceso de obtención de los puntos de interés cercanos a una ubicación para un usuario de telefonía móvil para llevar a cabo el caso de uso anterior, se ilustra en la figura 6

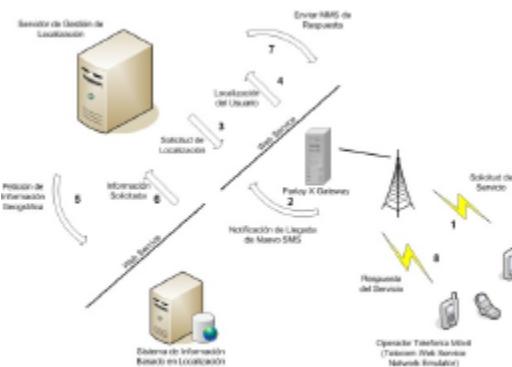


Fig. 6: Proceso de Obtención de los Puntos de Interés Cercanos a una Ubicación en su vertiente de telefonía móvil

Gracias a este prototipo en el cual se utilizó el entorno de desarrollo propuesto y las tecnologías que se deben usar en él, se logró probar las bondades del desarrollo de servicios NGN. Se puede decir con seguridad que esto es algo que se logró al usar las tecnologías, filosofía y modo de creación de servicios del entorno propuesto, obteniéndose las siguientes observaciones a partir de la experiencia realizada. Debido a que es posible hacer uso de los recursos de la red del operador de forma transparente, se obtuvo una reducción de la complejidad en el desarrollo por ende menor tiempo para tener al aire servicios de valor agregado para los usuarios.

Sólo se necesita un conocimiento básico de la red para lograr el desarrollo del servicio. Esta es una gran ventaja a la hora de crear servicios ya que el desarrollador no debe ser un experto en telecomunicaciones, proceso que dura un buen tiempo y que cuesta cierta cantidad de dinero. Más personas pueden entrar en el negocio del desarrollo de servicios, lo que incrementa la cantidad de desarrolladores potenciales y no en una poca cantidad, ya que fácilmente se puede hablar de pasar de unos cuantos miles a millones alrededor de todo el mundo.

No es necesario contar con una gran infraestructura de capital para crear servicios, ya que la infraestructura de red es proporcionada por el operador y solo basta un par de computadores y un *hosting* para mantener el servicio.

El desarrollador de servicios puede trabajar de forma independiente del operador, ya que se observa el principio de interoperabilidad, donde la tecnología del desarrollador puede ser totalmente diferente de la del operador, sin que esto afecte el montaje y puesta en marcha de los servicios.

6. RECONOCIMIENTO

Esta investigación fue realizada gracias a la financiación recibida de parte de la VIE (Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander, código 8538, 8543), el DIFE (División de Investigación y extensión de la Facultad de Ingenierías Fisicomatemáticas de la Universidad Industrial de Santander, código 5542) y el Estado Colombiano (Departamento Colciencias y Sena).

7. CONCLUSIONES

Un Servicio NGN no es una aplicación aislada en una red de telecomunicaciones de un operador. Un verdadero Servicio NGN tiene características como la independencia del terminal, independencia de la red de acceso, la movilidad, la itinerancia, los cortos espacios de desarrollo, la ubicuidad y la personalización, que se pueden alcanzar si puede logra una interoperabilidad entre diferentes entornos. Además de esto, los Servicios NGN se diferencian de servicios como los de Internet porque el DSTel usa para su desarrollo recursos que le facilitan los operadores de telecomunicaciones, quienes además se encargan de explotar el servicio (ofrecerlo al público,

garantizar su funcionamiento, tarificar, etc.) y responderle al DSTel por los ingresos que a este le corresponden. En otras palabras, el DSTel, quien es ajeno a la empresa, solo se ocupa en desarrollar servicios novedosos para las más diversas necesidades.

Los operadores de telecomunicaciones en Colombia aún no han desarrollado una filosofía de apertura de la funcionalidad de sus redes. Hasta este momento es algo que está comenzando a tomar forma en el entorno mundial y pasará algún tiempo antes de su total imposición en el contexto de nuestro país. Esta es la principal limitante a corto y mediano plazo para los DSTel a la hora de pensar en desarrollar servicios NGN. Sin embargo, no cabe duda de que esta filosofía de apertura de funcionalidad de las redes terminará por imponerse en el entorno local dadas sus claras ventajas y potencialidades en el tamaño y modelo del negocio. Esto hace pensar que los operadores en Colombia estarán en capacidad de ofrecer un entorno adecuado para el desarrollo de servicios NGN, no inmediatamente, pero si por lo menos a mediano plazo.

Las tecnologías de desarrollo disponibles basadas en estándares abiertos son aprovechadas con el uso de los Web Services, una alternativa excelente para desarrollar aplicaciones que integren Servicios NGN. Sus características de independencia de las plataformas de software de los servidores que albergan los distintos componentes de servicio, así como de las tecnologías de transporte, al encontrarse basadas en el estándar XML, sumadas a la posibilidad de integración rápida y sencilla con distintos servicios o componentes para formar sistemas más grandes y complejos que oculten la complejidad interna de los mismos (Lozinski, 2005), hacen que el modelo de Entorno de Desarrollo de Servicios propuesto en este trabajo sea una primer iniciativa en el camino de creación de Servicios NGN que da cuenta de la validez de la visión del grupo de investigación RadioGis en esta materia.

El prototipo de servicio que se desarrolló es un claro ejemplo de la potencialidad del modelo propuesto. Haciendo uso de Parlay X, se ilustró, aún sin desarrollar un servicio NGN como tal, que se pueden crear servicios en un tiempo bastante corto, sin necesidad de tener conocimientos extensos o detallados de tecnologías particulares de la red de un operador, requisitos fundamentales para la vinculación masiva de los DSTel en el desarrollo de servicios NGN.

REFERENCIAS

- Camelo M., Castro H. y Donoso Y. (2008) *Convergencia de Servicios en Redes de Próxima Generación. "Descripción de la realidad que acompaña a la industria de las telecomunicaciones"*, Bogotá, Colombia.
- Colciencias (2005). *Plan estratégico programa nacional de electrónica, telecomunicaciones e informática. Bases para una política de promoción de la innovación y el desarrollo tecnológico en Colombia 2005-2015*. Bogotá, Colombia.
- CRT (2008). *Informe Sectorial de las Telecomunicaciones*, Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. Bogotá, Colombia.
- Estupiñan A. y Rueda H. (2008). *Herramienta de Software para Localización Geográfica de Terminales en Redes Móviles Celulares*, tesis de grado, Bucaramanga.
- Jain R., Bakker J y Anjum F. (2004) *Programming Converged Networks. Call Control in Java, XML, and Parlay/OSA*, Editorial John Wiley & Sons.
- Lozinski y Zygmunt. (2005) *Parlay/OSA and the Intelligent Network*.
- Martínez R. y Quintero E. (2007). *Estudio para el desarrollo de servicios de telecomunicaciones de nueva generación en Colombia*. Trabajo de grado, Bucaramanga.
- Muñoz M. (2003). *SCMM: Metamodelo para la Creación de Aplicaciones en Redes de Siguiente Generación*. Tesis Doctoral Leganes.
- Ortega B, Espindola H. y Castellanos W. (2001). *Hacia las redes de Próxima Generación*, Simposio Internacional de Investigación y desarrollo de Electrónica y Telecomunicaciones. Bogotá, Colombia.
- Schiller J. y Voisard A. (2004). *Location Based Services*. Amsterdam, Elservier.
- UIT (2004a). *Recomendación UIT-T Y.200. Visión general de las redes de próxima generación*, Sector de Normalización de Telecomunicaciones de la UIT
- UIT (2004b). *Recomendación Y.2011: Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación*, Sector de Normalización de Telecomunicaciones de la UIT.

Recibido: 03 de agosto de 2009
Aceptado: 09 de octubre de 2009**IDENTIFICATION AND FUZZY CONTROL OF A TWO TANK SYSTEM****IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DIFUSO DE UN SISTEMA DE NIVEL DE
LÍQUIDOS EN DOS TANQUES****PhD. Juan Antonio Contreras Montes****Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla**

Escuela Naval Almirante Padilla, Facultad de Ingeniería Naval

Cartagena, Colombia, Tel.: 57-5-6694124.

E-mail: epcontrerasj@ieee.org

Abstract: This work presents the implementation of a new methodology for identification and control using fuzzy systems with triangular membership functions with 0.5 overlap in the antecedent and consequent singleton type. Average operators are used instead of T-norm operators for rule evaluation. To check the performance of the proposed method has been developed an experiment identifying and controlling liquid level in parallel tanks, as addressed by other researchers who try to emulate these systems in chemical processes and also in handling problems variations in the plant and disturbances. To prove the asymptotic stability of the fuzzy controller was used fuzzy Lyapunov synthesis, which is the version of the classical method of *Lyapunov* in the so-called *computing with words*.

Resumen: Se presenta la aplicación de una novedosa metodología para identificación y control empleando sistemas difusos con funciones de pertenencias triangulares con solapamiento de 0.5 en el antecedente y consecuentes tipo singleton en los consecuentes. Se emplean operadores de promedio en vez de operadores tipo T-normas para la evaluación de las reglas. Para comprobar el desempeño del método propuesto se ha desarrollado un experimento de identificación y control de nivel de líquidos en tanques paralelos, ya abordado por otros investigadores con el cual se trata de emular sistemas presentes en los procesos químicos y que, además, permite enfrentar problemas de variaciones en la planta y perturbaciones. Para demostrar la estabilidad asintótica del controlador difuso se empleó la *síntesis difusa de Lyapunov*, la cual es la versión del método clásico de *Lyapunov* en la denominada *computación con palabras*.

Keywords: Identification, Fuzzy logic, Fuzzy control, Tanks systems.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales áreas de aplicación de la lógica difusa ha sido sin duda el control automático de procesos debido, principalmente, a la especial característica de los sistemas difusos de manejar en el mismo marco información numérica y lingüística.

Muchos procesos industriales que son regulados manualmente por los operadores no han podido ser

automatizados por la naturaleza lineal de los controladores convencionales y, además, porque el operador integra diversas estrategias que no pueden ser implementadas en una estrategia de control clásica (Albertos y Sala, 2004).

Estas falencias de los controladores convencionales se han ido superando con la aplicación de la lógica difusa en la implementación de sistemas expertos para control de procesos.

Los primeros sistemas basados en reglas difusas eran construidos con base en la información suministrada por expertos; sin embargo, para el caso de sistemas complejos las reglas así construidas no permitían una aproximación aceptable del sistema. La búsqueda de sistemas difusos que aproximen de manera aceptable la dinámica de sistemas complejos ha conllevado al desarrollo de investigación en técnicas de extracción de reglas difusas a partir de datos experimentales de entrada y salida; es decir, al desarrollo de técnicas de identificación difusa (Wang y Mendel, 1992; Paiva y Dourado, 2004).

Muchas de estas técnicas de identificación borrosa generan sistemas precisos pero con poca interpretabilidad (Diez et al., 2004), debido a que en el proceso de ajuste de las funciones de pertenencia se generan solapamiento de más de 2 conjuntos, particiones en valores superiores a 0.5, y funciones de pertenencia con formas irregulares. Otros investigadores han desarrollado métodos de identificación borrosa que garantiza la interpretabilidad mediante la restricción de solapamientos en 0.5, pero con una leve disminución en la precisión (Espinosa y Vandewalle, 2000; Guillaume y Charnomordic, 2005)

Durante los últimos 20 años se han empleado de manera exitosa un gran número de técnicas de control difuso para regular complejos procesos industriales sin requerir de complejos modelos matemáticos de los procesos (Chengying y Yung, 2005; Contreras et al., 2007b).

2. SISTEMA DE DOS TANQUES

Se ha desarrollado un experimento, que se muestra en la figura 1, ya abordado por otros investigadores (Thomas and Sebastian, 1994; Ordoñez et al, 1997; Zumberge and Passino, 1998) con el cual se trata de emular sistemas presentes en los procesos químicos y que, además, permite enfrentar problemas de variaciones y perturbaciones en la planta.

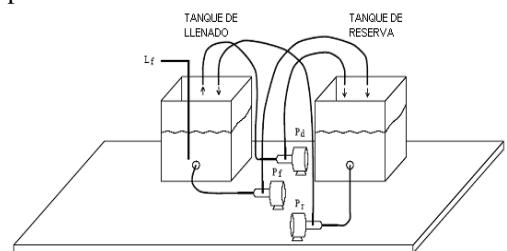


Fig. 1. Sistema de Nivel de Líquido en dos Tanques

El tanque de la izquierda, llamado tanque de llenado, contiene un volumen de líquido que va a ser controlado y tiene una capacidad total de 5 galones. El volumen de este líquido es proporcional a su nivel y se denotará por L_f . El tanque de la derecha, denominado tanque de reserva, contiene el líquido que será bombeado hacia dentro y hacia fuera del tanque de llenado y tiene la misma capacidad. Se dispone de tres bombas: la primera bomba, denotada por P_i , es una bomba de 12 voltios de corriente directa cuyo flujo depende del voltaje aplicado, y bombea líquido desde el tanque de reserva hacia el tanque de llenado; la segunda bomba, denotada por P_o , solo opera en las condiciones de encendida y apagada, y se emplea para bombear líquido del tanque de llenado al tanque de reserva; la tercera bomba, denotada por P_p , de características similares a la bomba P_i , es empleada para generar una perturbación removiendo líquido del tanque de llenado hacia el tanque de reserva. La señal de control es un valor de voltaje de CD de manera tal que si el valor es positivo, y superior a una magnitud dada, la bomba P_i se activará y suministrará líquido del tanque de reserva al tanque de llenado a una tasa de flujo proporcional al valor de voltaje positivo aplicado; si el valor de voltaje es negativo y de magnitud superior a un valor dado, se activará la bomba P_o y fluirá líquido del tanque de llenado al tanque de reserva. La figura 2 muestra la razón de flujo de entrada (valores positivos) o de salida (valores negativos) de acuerdo al valor y polaridad de la señal de control u.

Las características del exp. que ocasionan problemas con la regulación de nivel son:

- El sensor de nivel consiste de un flotador colocado al final de un brazo que está conectado al eje de un potenciómetro lineal. El bombeo de líquido hacia y desde el tanque de llenado crea ondas que causan problemas en la medición.
- Las bombas tienen "zonas muertas"; es decir, para que exista bombeo de líquido el nivel de voltaje aplicado a cada bomba debe alcanzar un valor determinado. Se debe aclarar que el voltaje necesario para iniciar el bombeo de líquido es diferente al voltaje al cual el bombeo se detiene.
- Existe no linealidad, tipo saturación, en la relación al cual las bombas pueden transferir líquido entre los tanques.
- Las bombas introducen ruido en el sistema, el cual ocasiona castañeo (*chattering*) en la salida de control, lo cual a su vez puede incrementar el ruido que las bombas introducen al sistema y afecta la vida útil de éstas.

- Existe un pequeño retardo en el sistema cuando se encienden o apagan las bombas
- Existe una pequeña perturbación en el sistema ocasionada por un flujo de agua que permanece, en uno u otro sentido, cuando las bombas son apagadas.

Un modelo razonable del proceso está dado por

$$\dot{L}_f = \mathbf{a}_r(u) - \mathbf{a}_f(L_f) \quad (1)$$

Donde $\mathbf{a}_r(u)$ representa el efecto de las bombas P_i y P_o , siendo u el voltaje de control aplicado a las bombas, y $\mathbf{a}_f(L_f)$ es la perturbación causada por la bomba P_d , siendo L_f el nivel en el tanque de llenado. También se tiene que:

$$\mathbf{a}_r(u) = R(u) \quad (2)$$

$$R(u) = \begin{cases} -0.0044 & \text{si } u < -7.5 \\ 0 & \text{si } -7.5 \leq u < 2.5 \\ 0.000745u - 0.00142 & \text{si } 2.5 \leq u \leq 10 \end{cases} \quad (3)$$

Como se muestra en la figura 2, y:

$$\mathbf{a}_f(L_f) = \begin{cases} 0.87R(d_{L_f}) & \text{si } d_{L_f} \geq 0 \\ 0 & \text{si } d_{L_f} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Donde d_{L_f} representa la perturbación al nivel de líquido, la cual se escogió como:

$$d_{L_f} = \frac{6}{p} \tan^{-1}(L_f)$$

Por dos razones. Primero, para que el modelo opere en una región controlable fuera de la zona muerta de cada bomba, el valor de la perturbación estará entre 2.5 y 2.6 voltios. Note que para un nivel L_f mayor que 4 galones el valor de voltaje aplicado a la bomba d_{L_f} será superior a 2.5 voltios, por lo que la entrada de referencia es condicionada a ser mayor de 4 galones. Segundo, la perturbación se asemeja al efecto de un ser humano, o de otro subsistema, que remueve más líquido del tanque cuando hay más líquido disponible.

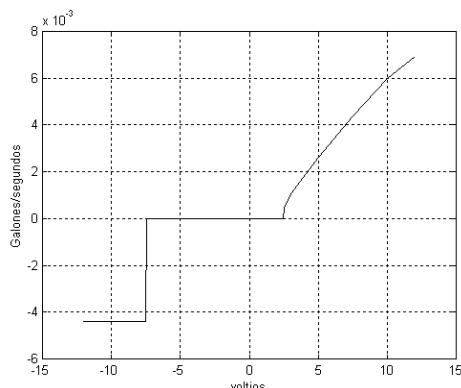


Fig. 2. Gráfica de $R(u)$

El sistema debe seguir a una entrada de referencia dada como una onda cuadrada de frecuencia 0.00125 Hz que toma valores entre 4 y 4.5 galones. Se consideran dos plantas diferentes:

- Planta nominal (sin perturbación: $\mathbf{a}_f(L_f) = 0$)
- Planta con perturbación: $\mathbf{a}_f(L_f) = 0.87 d_{L_f}$

3. IDENTIFICACIÓN BORROSA DEL SISTEMA DE DOS TANQUES

3.1 Identificación de la Planta

Para la identificación difusa del proceso se empleará el algoritmo basado en la minimización del error de inferencia presentado por (Contreras et al, 2007a; Contreras et al, 2009). El usuario solo debe introducir los datos de las variables de entrada y salida. El algoritmo determina los rangos de cada variable, distribuye uniformemente las funciones de pertenencia triangulares en los universos de cada variable de entrada, ubica los consecuentes tipo singleton en el espacio de salida (un consecuente por cada función de pertenencia triangular), determina las reglas y ajusta la ubicación de los consecuentes, empleando mínimos cuadrados, para minimizar el error de aproximación. El algoritmo se detiene cuando se ha alcanzado una métrica de error menor a la requerida por el usuario o cuando el número de conjuntos borrosos por variable de entrada es mayor a 9. La distribución de las funciones de pertenencia en cada universo de entrada se hace de manera uniforme para garantizar que la partición resultante sea suma 1; es decir, la suma de los grados de pertenencia de un dato en una variable de entrada será siempre igual a 1. El modelo difuso tiene la forma:

$$Y = Wq \quad (5)$$

Donde W contiene los valores de la evaluación de cada dato de entrada en las funciones de pertenencia triangulares y q contiene los consecuentes singleton asociados a cada función de pertenencia triangular del antecedente.

Se entrenó, o identificó, un controlador difuso para que remplazara a un controlador proporcional que regula el nivel de líquido en la planta. Para lograrlo se utilizó el algoritmo de identificación borrosa, empleando como señal de entrada la señal de control, del controlador proporcional, y como señal de salida, el nivel de líquido en la planta. Inicialmente no se consideraron las perturbaciones, las cuales se emplean posteriormente para analizar la forma de ajuste de parámetros del nuevo controlador difuso.

La figura 3 muestra la respuesta del sistema sin perturbación y con controlador proporcional con ganancia igual $K_p = 300$, la cual se empleará como señal de salida en el proceso de identificación. La figura 4 muestra la salida del controlador proporcional, la cual se empleará como entrada en el proceso de identificación.

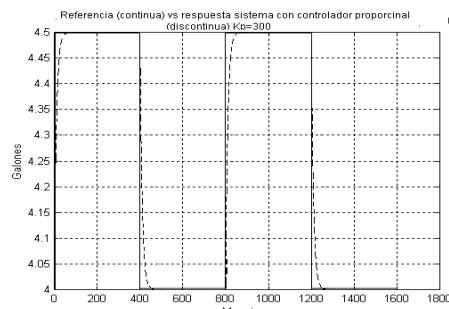


Fig. 3. Salida del sistema de nivel con controlador proporcional, $K_p=300$.

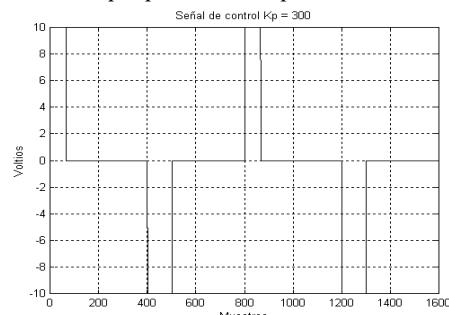


Fig. 4. Acción del controlador ($K_p=300$).

Con esos datos se procedió a una primera identificación, obteniendo la partición y distribución de consecuentes mostrada en la figura 5. Para realizar la identificación se tomaron como entrada al sistema la variable de entrada al proceso $u(k)$ y la primera regresión de la señal de nivel $y(k-1)$ y como salida la señal de nivel $y(k)$. El modelo borroso resultante solo requirió de 2 conjuntos por variable de entrada.

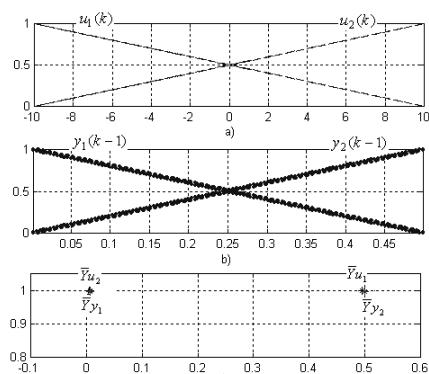


Fig. 5. Modelo borroso del sistema: a) partición de $u(k)$; b) partición de $y(k-1)$; c) ubicación de los consecuentes en el espacio de salida

De la figura 5 se aprecia que el consecuente $\bar{Y}u_2$ generado por $u_2(k)$ quedó ubicado en la misma posición que el consecuente $\bar{Y}y_1$ generado por $y_1(k-1)$, por lo que estas dos reglas se puede fusionar en una sola. La base de reglas queda de la forma:

$$\begin{aligned} u_2(k) \wedge y_1(k-1) &\rightarrow \bar{y}^1 \\ u_1(k) &\rightarrow \bar{y}^2 \\ y_2(k-1) &\rightarrow \bar{y}^3 \end{aligned}$$

Luego del ajuste por mínimos cuadrados, el vector de consecuentes quedó de la forma:

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \bar{y}^1 & \bar{y}^2 & \bar{y}^3 \end{bmatrix} = [0.0037 \ -0.0077 \ 0.500]^T$$

El error cuadrático medio alcanzado fue de 0.000000027.

3.2 Obtención del Controlador Borroso

A partir del modelo borroso obtenido inicialmente se procedió a obtener el control inverso borroso (Babuska, 2001). Se estipuló como modelo de referencia Y_r una señal empleada por otros investigadores a este mismo problema y que está dada por:

$$L_d = 0.5 - 0.5e^{-0.022t}; \text{ para } 0 \leq t \leq 400 \text{ seg}$$

$$L_d = 0.0 + 0.5e^{-0.022t}; \text{ para } 400 < t \leq 800 \text{ seg}$$

Considerando que la variación del nivel ocurrirá sobre la línea de 4 galones. El intervalo de muestreo T empleado fue de 0.5 segundos y el tiempo de duración de la prueba fue de 800 segundos.

La base de reglas del modelo borroso obtenido puede expresarse de la forma

$$W = [(u_2(k) + y_1(k-1))^T \quad u_1(k)^T \quad y_2(k-1)^T] \\ \mathbf{q} = \begin{bmatrix} \bar{y}^1 & \bar{y}^2 & \bar{y}^3 \end{bmatrix}$$

Y_r , que es el valor de salida deseado ó modelo de referencia, puede entonces expresarse de la forma

$$Y_r = W_1 \mathbf{q}_1 + W_2 \mathbf{q}_2$$

Donde

$$W_1 = [y_1(k-1)^T \quad y_2(k-1)^T]$$

$$\mathbf{q}_1 = \begin{bmatrix} \bar{y}^1 & \bar{y}^3 \end{bmatrix}^T$$

$$W_2 = [u_1(k)^T \quad u_2(k)^T]$$

$$\mathbf{q}_2 = \begin{bmatrix} \bar{y}^2 & \bar{y}^1 \end{bmatrix}^T$$

Los vectores $y_1(k-1)^T$, $y_2(k-1)^T$, $u_1(k)^T$ y $u_2(k)^T$ contienen los grados de pertenencia en las particiones de las variables $y(k-1)$, y $u(k)$ respectivamente.

Los dos primeros vectores son conocidos y corresponden a la señal modelo de referencia Y_r retardada. El objetivo es encontrar cuál es el valor de entrada (acción de control) necesaria para producir Y_r , lo cual se obtiene a partir de:

$$W_2 q_2 = Y_r - W_1 q_1$$

W_2 incluye a $u_1(k)$ y $u_2(k)$, pero sabemos que $u_2(k) = 1 - u_1(k)$ por lo que el problema se reduce a determinar $u_1(k)$ y, seguidamente, se procede a determinar la forma de la señal de control requerida para que la salida del modelo borroso, y del sistema real, siga el modelo de referencia. La figura 6 muestra la forma que debe tener la señal de entrada al proceso, o señal de control, para alcanzar la respuesta dada por el modelo de referencia.

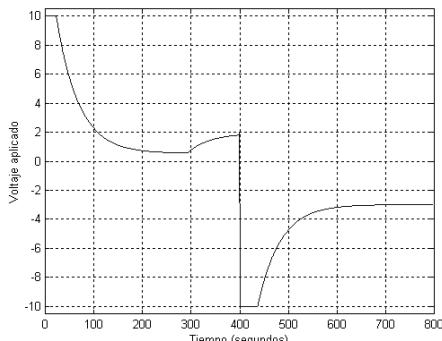


Fig. 6. Acción de control requerida para seguimiento de modelo de referencia en el sistema de nivel de dos tanques

El controlador borroso tiene como entradas la señal del modelo de referencia $yr(k+1)$ y la salida real del proceso $y(k)$ y tiene como salida la señal de control. $u(k)$. Se obtuvieron dos conjuntos difusos por variable de entrada distribuidos uniformemente sobre el rango de cada variable. Las etiquetas para los conjuntos de las variables de entrada son:

$y_1(k)$: Nivel de líquido en el tanque BAJO

$y_2(k)$: Nivel de líquido en el tanque ALTO

$yr_1(k+1)$: Nivel de líquido deseado en el tanque BAJO

$yr_2(k+1)$: Nivel de líquido deseado en el tanque ALTO

La base de reglas obtenida está dada por:

$$\begin{aligned} yr_2(k+1) \wedge y_2(k) &\rightarrow y^{-1} \\ yr_1(k+1) &\rightarrow y^{-2} \\ y_1(k) &\rightarrow y^{-3} \end{aligned}$$

Luego del ajuste por mínimos cuadrados, el vector de consecuentes quedó de la forma:

$$q = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -3 \\ y & y & y \end{bmatrix} = [0.5 \quad -1414 \quad 1414]$$

A continuación se procedió a incluir la perturbación, lo cual afectó el desempeño de ambos controladores. Para el caso del controlador proporcional fue necesario incrementar la ganancia a 650 para conseguir una respuesta similar, como se observa en la fig. 7.

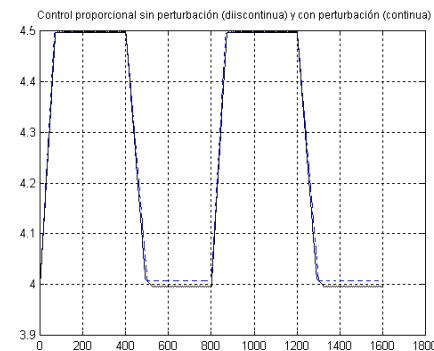


Fig. 7. Respuesta del sistema sin perturbación y $K_p = 300$ vs con perturbación y $K_p = 650$.

Ante la presencia de perturbación y con la señal de referencia como modelo de referencia, el controlador borroso ajustó los consecuentes, ubicándolos en:

$$d = [0.3996 \quad -1492 \quad 1533]$$

Las fig. 8 y 9 muestran las señales de control producida por el controlador proporcional y el controlador adaptativo borroso. Se aprecia una acción más "suave" del segundo controlador.

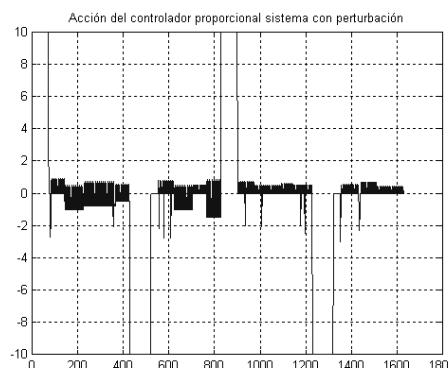


Fig. 8. Acción del controlador proporcional sistema con perturbación

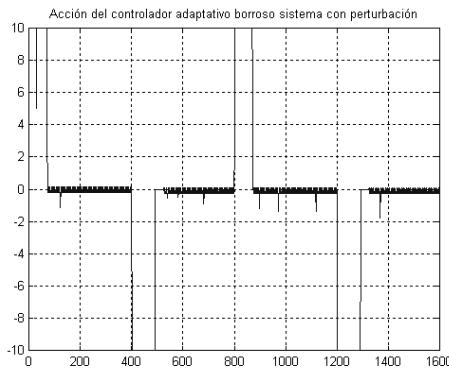


Fig. 9. Acción del controlador borroso en sistema con perturbación

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Las propuestas de análisis de estabilidad basada en la técnica de *computación con palabras* (Margaliot and Langholz, 1998, 2004; Zhou, 2002) resultan bastante atractivas por la facilidad en su aplicación. Aunque las estrategias que los autores mencionados plantean está encaminada al diseño del un controlador borroso estable basándose en la función de Lyapunov y en el conocimiento básico del funcionamiento de la planta, en esta investigación se van a utilizar para demostrar que el controlador obtenido es asintóticamente estable.

Antes de iniciar con el análisis de estabilidad, y para dar más claridad al mismo, la base de reglas obtenida inicialmente se representará mediante 4 reglas, así:

- Re gla 1: $yr_2(k+1) \rightarrow 0.5$
- Re gla 2: $y_2(k) \rightarrow 0.5$
- Re gla 3: $yr_1(k+1) \rightarrow -1414$
- Re gla 4. $y_1(k) \rightarrow 1414$

Si tenemos en cuenta que la salida del controlador está regida por el consecuente singleton de cada regla, el voltaje aplicado a las bombas P_i y P_o será proporcional a la magnitud y polaridad del consecuente tipo solitario \bar{y}^j . Las reglas anteriores podrían representarse de manera lingüística de la siguiente forma.

Regla 1: “Si la señal de referencia es ALTA el voltaje aplicado a las bombas será positivo bajo”

Regla 2: “Si el nivel de líquido en el tanque es ALTO el voltaje aplicado a las bombas será positivo bajo”

Regla 3: “Si la señal de referencia es BAJA el voltaje aplicado a las bombas será negativo alto”

Regla 4: “Si el nivel de líquido en el tanque es BAJO el voltaje aplicado a las bombas será positivo alto”

Considerando la función de Lyapunov candidata $V = (y - yr)^2 / 2$, donde y es el nivel o salida real en el tanque y yr es la señal de referencia que, sin pérdida de generalidad, asumiremos constante. La derivada de la función está dada por

$$\dot{V} = (y - yr) \dot{y} = (y - yr)(q_{ent}(t) - q_{sal}(t)).$$

Donde $(q_{ent}(t) - q_{sal}(t))$ representa la variación en el nivel de líquido en el tanque dado por la diferencia entre el caudal de entrada de agua $q_{ent}(t)$ y el caudal de salida $q_{sal}(t)$, los cuales son gobernados por las bombas P_i y P_o respectivamente. La ecuación presentada nos permite inferir las condiciones para hacer que \dot{V} sea negativa en cada uno de los modos de operación, así:

- Si el nivel de líquido y es bajo; es decir por debajo del valor de la referencia (ó el valor de referencia por encima del nivel real de líquido), entonces $(y - yr) < 0$. Por lo tanto, para que \dot{V} sea negativa es necesario que el factor $(q_{ent}(t) - q_{sal}(t))$ sea positivo, lo cual se deduce de las reglas activadas en esta condición (reglas 1 y 4).
- Si el nivel de líquido y es alto; es decir por encima del valor de la referencia (ó la referencia por debajo del nivel de líquido), entonces $(y - yr) > 0$. Por lo tanto, para que \dot{V} sea negativa es necesario que el factor $(q_{ent}(t) - q_{sal}(t))$ sea negativo, lo cual se deduce de las reglas activadas en esta condición (reglas 2 y 3), ya que la regla 2 produce un voltaje positivo bajo para las bombas mientras que la regla 3 produce un voltaje negativo alto.

Se puede apreciar la facilidad de la aplicación de la propuesta de *computación con palabras* para el análisis de estabilidad de controladores borrosos obtenidos mediante la metodología propuesta en esta investigación, en especial por su garantía de interpretabilidad.

5. CONCLUSIONES

Se presentó la identificación borrosa de un sistemas de nivel de dos tanques empleando dos variables de entrada, cada una con dos funciones de pertenencia triangulares normales y solapamiento en 0.5, y una variable de salida. De esta manera se mantiene la interpretabilidad del modelo difuso que es afectada en otros métodos de identificación borrosa.

Se realizó la identificación empleando dos casos: primero sin considerar la perturbación y posteriormente considerando perturbación. La estructura del modelo difuso se mantuvo y solo fue necesario un ajuste de la ubicación de los consecuentes tipo *singleton*, lo que muestra la facilidad del método de identificación para adaptaciones en línea.

Se determinó el controlador borroso empleando la técnica de control inverso. La estabilidad del controlador se realizó empleando el novedoso método de la *síntesis difusa de Lyapunov*, la cual es la versión del método clásico de Lyapunov en la denominada *computación con palabras*. La aplicación de este método para el análisis de estabilidad fue posible gracias a la condición de interpretable del modelo difuso obtenido.

REFERENCIAS

- Albertos, P., Sala A. (2004) *El control borroso: una metodología integradora*. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Babuska, R. (2001) *Fuzzy and Neural Control*. Disc Course Lecture Notes. Delft University of Technology. Delft, the Netherlands.
- Chengying, X., Yung, C.S. (2005) *Design of a Multilevel Fuzzy Controller For Nonlinear Systems and Stability Analysis*. IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 13, No. 6, pp.761-778.
- Contreras, J., Acuña, O. (2009) *Generating Dynamic Fuzzy Models for Prediction Problems*. 28th North American Fuzzy Information Processing Society Annual Conference, Cincinnati, Ohio, USA.
- Contreras, J., Misa, R., Murillo, L., Paz J., Sarabia J. (2007) *Identificación Borrosa Eficiente Basada en Error de Inferencia*. Revista Tecnologías Avanzadas. Vol.1, No.9, pp. 62-67. Universidad de Pamplona. Colombia.
- Contreras, J., Misa, R., Murillo, L. (2007) *Interpretable Fuzzy Models from Data and Adaptive Fuzzy Control: A New Approach*. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. IEEE Computational Intelligence Society. Pags.: 1591-1596.
- Espinosa, J., Vandewalle, J. (2000) *Constructing fuzzy models with linguistic integrity form numerical data-afreli algorithm*. IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 8, pp. 591 – 600.
- Guillaume, S., Charnomordic, B. (2004) *Generating an interpretable Family of Fuzzy Partitions Form Data*. IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 12, No. 3, pp. 324 – 335.
- Margaliot, M., Langholz, G. (1999) *Fuzzy Lyapunov Based Approach to the Design of Fuzzy Controllers*. Fuzzy Sets and Systems, 106(1). 49-59.
- Margaliot, M., Langholz, G. (2004) *Fuzzy Control of a Benchmark Problem: a Computing with Words Approach*. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 12(2). 230-235.
- Paiva, R. P., Dourado, A.(2004) *Interpretability and Learning in Neuro-Fuzzy Systems*. Fuzzy Sets and System. 147, pp. 17-38.
- Thomas, H., Sebastian, E. (1994) *Approximately Time Optimal Fuzzy Control of a Two-Tank System*. IEEE Contr. Sys. Mag., vol 14, pp 24-30.
- Wang , L-X., Mendel, J.M. (1992) *Generating Fuzzy Rules by Learning form Examples*. IEEE Transactions System, Man and Cybernetics, vol. 22, pp. 1414-1427.
- Zhou, Ch. (2002) *Fuzzy-Arithmetic-Based Lyapunov Synthesis in the Design of Stable Fuzzy Controllers: a Computing-with-Words Approach*. Int. Journal. Appl. Math. Comput. Sci., 12(3), 411-421.
- Zumberge, J., Passino, K. (1998) *A Case Study in Intelligent vs. Conventional Control for a Process Control Experiment*. Journal of Control Engineering Practice, Vol. 6, No. 9, pp. 1055-1075

Recibido: 01 de junio de 2009
Aceptado: 11 de agosto de 2009

CONTROL CON MODOS DESLIZANTES DISCRETO APLICADO A UN CONVERTIDOR DE POTENCIA BUCK

DISCRETE SLIDING MODE CONTROL APPLIED TO A BUCK POWER CONVERTER

MSc. Oscar Ivan Higuera Martínez, PhD. Juan Mauricio Salamanca

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Grupo de Investigación en Procesamiento de Señales DSP-UPTC.

Escuela de Ingeniería Electrónica. Cale 4 Sur # 15-134, Sogamoso, Boyaca, Colombia.

Tel.: 57-8-7705450, Ext. 241

E-mail: {oscar.higuera, juan.salamanca}@uptc.edu.co, ohiguera@gmail.com

Abstract: This paper presents the design of a controller with discrete sliding mode controls applied to a Buck power converter; the converter model in space states and the robust control law design are presented. The controller is proved in a converter model with real parameters simulated in Matlab/Simulink and the results obtained are showed considering different model parameters disturbances and changes, The analysis of results are presented

Keywords: Discrete, sliding mode, robust, power converter, variable structure.

Resumen: Este artículo presenta el diseño de un controlador basado en modos deslizantes discreto aplicado a un convertidor de potencia Buck, se presenta el modelo del convertidor en espacio de estados y el diseño de la ley de control robusta. El controlador se prueba en un modelo del convertidor con parámetros reales simulado en Matlab/Simulink y se muestran las gráficas de los resultados obtenidos frente a diferentes perturbaciones y cambios en los parámetros del modelo, realizando un análisis de los resultados reportados.

Palabras clave: Discreto, modo deslizante, robusto, convertidor de potencia, estructura variable.

1. INTRODUCCIÓN

Los convertidores DC-DC se usan ampliamente en la industria, un buen convertidor debe satisfacer requerimientos económicos, de rendimiento estático y dinámico, es así que los avances en el estudio de diversos métodos de control de estos dispositivos le han hecho una herramienta muy utilizada en la teoría de control.

Los sistemas de estructura variable son aquellos en los que su topología cambia en el tiempo de forma intencionada y consecuentemente la acción de

control es discontinua y la planta es no lineal. La característica distintiva de los controladores de estructura variable es su habilidad de resultar en un sistema de control robusto y bajo algunas condiciones resulta un control invariante (Emelyanov: 1995).

La principal característica que distingue a los sistemas de control de modo deslizante es su insensibilidad a la incertidumbre de parámetros y perturbaciones externas. Sin embargo el esquema de control de modo deslizante es especialmente satisfactorio para el control en lazo cerrado en

sistemas de convertidor de potencia con baja variación en la carga.

Debido al uso de los computadores para control, el concepto de diseño de controladores con modos deslizantes digitales o discretos (DSM) ha sido un tema de investigaciones durante los últimos años. Algunos algoritmos basados en control conmutado para sistemas discretos pueden ser encontrados en la literatura (Sarpturk: 1987) – (Liu: 1992). En el caso de diseño de DSM, la entrada de control es aplicada solo en ciertos instantes de muestreo y el esfuerzo de control es constante sobre el intervalo de muestreo. Es más, cuando los estados alcanzan la superficie de conmutación, el subsecuente control debe hacer que los estados permanezcan dentro de la superficie, como resultado, el DSM puede solo ocurrir como el modo cuasi deslizante (QSM).

Este documento presenta el desarrollo de una estrategia de control basada en modos deslizantes discreto aplicada a un convertidor Buck, el diseño de la ley de control está basado en el modelo discreto del sistema, la ley de control se diseña en base a la aproximación de ley de alcance continua, la cual cumple los requerimientos de estabilidad de Lyapunov. La simulación del sistema controlado se realiza con el modelo continuo del sistema, la estrategia de control se implementa de forma discreta utilizando retenedor de orden cero, el sistema empleando para simulación se puede observar en la Figura 1.

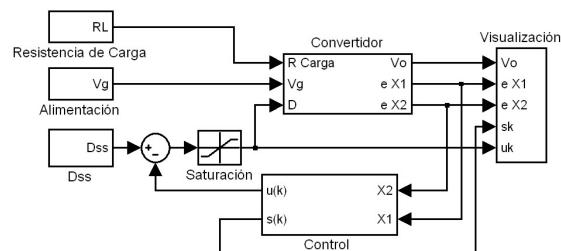


Fig. 1: Sistema empleado para simulación

2. MODELO DEL CONVERTIDOR

En la figura 2 se puede observar la estructura típica de un convertidor Buck. Los convertidores de potencia presentan diferentes tipos de modelado, pero en forma general pueden ser descritos según la expresión (1), en donde el vector de estado X está formado por la corriente en la bobina y la tensión en el condensador, ya sea que se esté trabajando el modo de conducción continua o en modo de conducción discontinua (Fang: 1997).

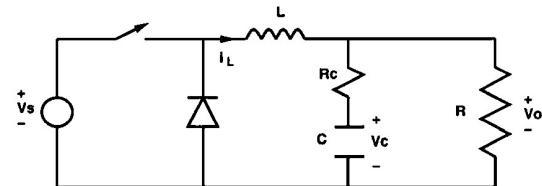


Fig. 2: Convertidor DC/DC Buck

$$\begin{aligned} S_1 &= \begin{cases} \dot{X} = A_{ON} X + B_{ON} U \\ V_0 = C_{ON} X \end{cases} \\ S_2 &= \begin{cases} \dot{X} = A_{OFF} X + B_{OFF} U \\ V_0 = C_{OFF} X \end{cases} \\ S_3 &= \begin{cases} \dot{X} = A_{DCM} X + B_{DCM} U \\ V_0 = C_{DCM} X \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Las matrices del sistema A_{ON} , B_{ON} y C_{ON} son obtenidas cuando el elemento comutador está en ON; A_{OFF} , B_{OFF} y C_{OFF} cuando está en OFF; y A_{DCM} , B_{DCM} y C_{DCM} cuando la corriente en la bobina es cero, es decir el modo de conducción discontinua.

En este artículo sólo se trabajara el modo de conducción continua. Entonces se considerarán los dos posibles estados del sistema presente en la figura 2 para realizar el modelado y control sobre el convertidor Buck,

2.1 Modelo General del Convertidor

Un sistema convertidor esta descrito por las ecuaciones de estado y los estados de conmutación, el cual es un modelo discontinuo.

En (Higuera, 2009T) se encuentra el modelo simplificado, para este convertidor se puede determinar que $A_{ON} = A_{OFF} = A$, $B_{ON} = B$ y $B_{OFF} = 0$, con lo cual se obtiene:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= (I + TpA)x(k) \\ &+ TpBU_{ss}d(k) + TpBD_{ss}u(k) \end{aligned} \quad (2)$$

El cual es un sistema lineal con polos fijos en el plano Z, su función con respecto a la entrada $u(k)$ es una función lineal de D_{ss} , y con respecto a la entrada de ciclo útil es función lineal de U_{ss} . Teniendo ya la generalización, las matrices del sistema para el convertidor Buck presente en la Figura 2 son:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{Rr_c + Rr_L + r_c r_L}{L(R+r_c)} & -\frac{R}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & -\frac{1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B_{on} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad B_{off} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$v_o = \begin{bmatrix} Rr_c \\ R+r_c \end{bmatrix} x \quad (5)$$

3. LEY DE CONTROL

Para realizar el diseño del controlador, primero se debe establecer la condición de alcance discreto, entre algunos trabajos donde se proponen diferentes condiciones de alcance están [2 - 3], [11-14]. Antes de realizar el diseño del controlador, primero se dan algunos atributos del control de estructura variable (VSC) discreto, así como otras definiciones importantes [4, 15].

3.1 Atributos de VSC discreto

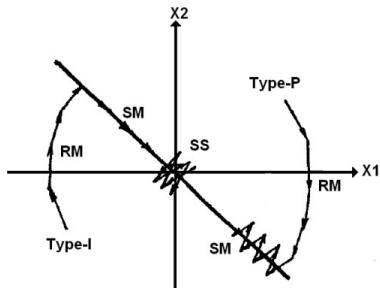


Fig. 3. Trayectorias de un sistema de control de estructura variable discreto.

Algunos atributos que es considerable conocer al momento de trabajar con sistemas discretos para que la trayectoria deseada de estados de un VSC discreto se dé son: (Figura 3)

A1 Partiendo de un estado inicial, la trayectoria se moverá monótonamente hacia el plano de conmutación y cruzará este en un tiempo finito.

A2 Una vez la trayectoria ha cruzado el plano de conmutación la primera vez, esta deberá atravesar el plano otra vez en todos los sucesivos periodos de muestreo, resultando en un movimiento de zigzag sobre el plano.

A3 El tamaño de cada sucesivo zigzag no incrementara y la trayectoria permanecerá dentro de una banda específica.

3.2 Definiciones

D1 El movimiento de un sistema VSC discreto que satisface los atributos A2 y A3 es llamado un modo cuasi deslizante (QSM). La banda específica que contiene el QSM es llamada la Banda del modo cuasi deslizante (QSMB) y está definida por:

$$\{X \mid -\Delta < s(x) < +\Delta\} \quad (6)$$

Donde Δ es el ancho de la banda.

D2 El QSM se torna en un modo ideal cuasi deslizante (IQSM) cuando $\Delta = 0$.

D3 Un VSC discreto se dice que satisface una condición de alcance si el sistema resultante posee todos los 3 atributos.

3.3 Ley de Alcance

El procedimiento para diseñar el sistema de control es sintetizar la ley de control de la ley de alcance en conjunto con un modelo conocido de la planta. En (Hung: 1993) se plantea una Ley de alcance conveniente para un VSC de un sistema continuo:

$$\dot{s}(t) = -\epsilon \operatorname{sgn}(s(t)) - qs(t), \quad \epsilon > 0, \quad q > 0 \quad (7)$$

Para el VSC de un sistema discreto, una forma equivalente de esta ley de alcance es:

$$\frac{s(k+1) - s(k)}{Tp} = -\epsilon \operatorname{sgn}(s(k)) - qs(k) \quad (8)$$

La cual cumple la aproximación discreta de Lyapunov (24) – (25).

$$v(k+1) - v(k) < 0 \quad (9)$$

$$v(k) = \frac{1}{2}[s(k)]^2 > 0 \quad (10)$$

Si y sólo si:

$$\epsilon > 0, \quad q > 0, \quad 1 - qTp > 0 \quad (11)$$

La inecuación para Tp garantiza el atributo A1, lo cual implica que la selección de Tp está restringida a $Tp < 1/q$. La presencia del término sgn en (7) garantiza los atributos A2 y A3.

3.4 Ley de Control Discreta

Considerando un plano de conmutación lineal

$$s(x) = C^T X \quad (12)$$

El modo cuasi deslizante satisface que:

$$s(k+1) = s(k) = 0, k = 0, 1, 2, \dots \quad (13)$$

La ley de alcance (7) siempre satisface la condición de alcance, el sistema VSC discreto diseñado usando esta ley de alcance es siempre estable (Gao:1993). La ley de control para el VSC discreto se deriva en la ley de alcance seleccionada. Definiendo el sistema (14) y con el cambio incremental de $s(k)$, se obtiene (15).

$$x(k+1) = Apx(k) + Bpu(k) + \Delta Ax(k) + f(k) \quad (14)$$

Con

$$\Delta A = Bp\tilde{A} \Rightarrow \tilde{A} \text{ Vector Fila}$$

$$f(k) = Bp\tilde{F} \Rightarrow \tilde{F} \text{ Constante}$$

$$s(k+1) - s(k) = C^T Apx(k) + C^T Bpu(k) + C^T \Delta Ax(k) + C^T f(k) - C^T x(k) \quad (15)$$

Comparando está en la ley de alcance (7) y resolviendo para $u(k)$ se obtiene la ley de Control.

$$u(k) = -(C^T Bp)^{-1} [C^T Apx(k) - C^T x(k) + eTp \operatorname{sgn}(s(k)) - qTps(k)] + Sc + Fc \quad (16)$$

Donde Sc y Fc son determinados como en (Hung: 1993), y están basados en las incertidumbres y perturbaciones \tilde{A}, \tilde{F} , obteniendo:

$$Sc = S_0 + \mathbf{d}_s \operatorname{sgn}(s) \quad (17)$$
$$Fc = F_0 + \mathbf{d}_f \operatorname{sgn}(s)$$

Asumiendo que el sistema es balanceado con respecto a la incertidumbre y perturbación, por consiguiente las variaciones se realiza sobre el modelo nominal, entonces $S_0 = 0, F_0 = 0$, por lo cual la ley de control está dada por:

$$u(k) = -(C^T Bp)^{-1} [C^T Apx(k) - C^T x(k) + eTp \operatorname{sgn}(s(k)) - qTps(k)] + (\mathbf{d}_s + \mathbf{d}_f) \operatorname{sgn}(s) \quad (18)$$

Sustituyendo (18) en (14), y sin tener en cuenta el efecto de las perturbaciones e incertidumbres, se encuentra la respuesta del sistema VSC discreto como:

$$x(k+1) = Apx(k) - Bp(C^T Bp)^{-1} [C^T Apx(k) - C^T x(k) + eTp \operatorname{sgn}(s(k)) - qTps(k)] \quad (19)$$

La definición del QSMB está determinada por (6). Es decir se determina la banda en la cual permanecen los estados después de haber entrado allí. Reordenando la ley de alcance (7) se obtiene:

$$s(k+1) = -eTp \operatorname{sgn}(s(k)) + (1 - qTp)s(k) \quad (20)$$

El signo del segundo término del lado derecho es el mismo que el signo de $s(k)$, y el signo del primer término del lado derecho es opuesto al de $s(k)$. Por las definiciones mencionadas anteriormente, el signo de $s(k+1)$ debe ser opuesto al de $s(k)$. La región en el espacio de estados donde satisfacen esta condición, constituye la QSMB, entonces el ancho de banda esta dado por (Gao:1995):

$$2\Delta = 2 \frac{eTp}{1 - qTp} \quad (21)$$

De (21) se observa que el ancho de banda decrece cuando disminuye el periodo de muestreo, lo cual es claro. De manera natural la implementación de un control digital por modos deslizantes conlleva la aparición de chattering, la idea adicional es seleccionar la matriz C^T de forma que este chattering sea mínimo.

4. EJEMPLO SIMULADO Y RESULTADOS

Para ilustrar el desempeño de esta estrategia se simula en Matlab/Simulink un convertidor de potencia DC/DC tipo Buck, modelado anteriormente con los siguientes parámetros:
 $R=100 \Omega$, $r_c= 1.18 \Omega$, $r_L= 0.7 \Omega$, $L=400mH$, $C=10uF$, $V_g=10 V$, $f_s=60KHz$

$$\begin{aligned} A_p &= I + ATP \\ B_p &= TP + BU_{ss} \end{aligned} \quad (22)$$

$$u(k) = 0$$

$d(k) \rightarrow$ Es la entrada de control

La ley de control aplicada es la ley obtenida en (18), las matrices del convertidor Buck empleado están en (3)-(5).

Para la selección de los parámetros de $C^T = [C_1 \ C_2]$, se realiza de forma que el sistema nominal con control equivalente sea estable. Obteniendo finalmente que el sistema es estable si satisface la siguiente condición:

$$\frac{K_1 C_2}{K_2} > C_1 > \frac{K_3 C_2}{K_4}; \text{ con } A_p = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 \\ K_3 & K_4 \end{bmatrix} \quad (23)$$

4.1 Simulación del Sistema Controlado

En esta sección se mostraran los resultados de la simulación teniendo en cuenta que $T_p = T_s$, $D = 0.7$, $C^T = [57 \ 57]$, $eTp = 0.5$ y $qTp = 0.5$, estos valores son seleccionados para obtener un rizado mínimo en la variable de salida, obteniendo que el ancho de banda debe ser $QSMB = 2$, los resultados de las simulaciones se ilustran en las figuras 4 y 5, la simulación se realiza con un rizado de la fuente de alimentación de 5% y a partir de 100 mseg de 10%.

En las figuras 4 y 5 se observa el correcto funcionamiento del sistema de potencia, los estados del sistema mantienen un error inferior a 0.001, el zigzag en el voltaje de salida es inferior a 0.001 y $s(k)$ permanece con el zigzag tal que el $QSMB = 0.04$.

4.2 Simulación del sistema frente a perturbaciones e incertidumbre

Para esta sección se realiza el cambio de la resistencia de carga (R), los cambios se realizaron disminuyendo el valor nominal de 1000 hasta 20Ω, en esta simulación el rizado de la fuente permanece igual a la simulación anterior. Los resultados de las simulaciones se ilustran en las figuras 6 a 8, donde se observa el comportamiento del sistema.

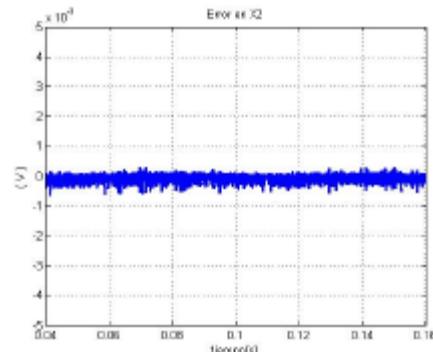


Fig. 4: Error en el estado X_2

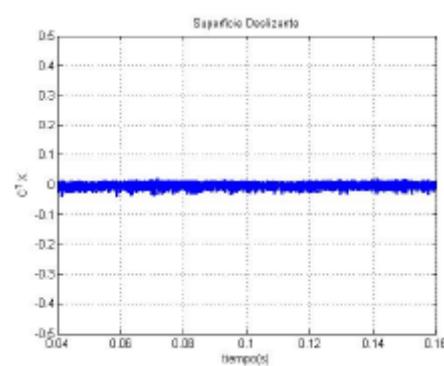


Fig. 5: Superficie deslizante $s(x)$

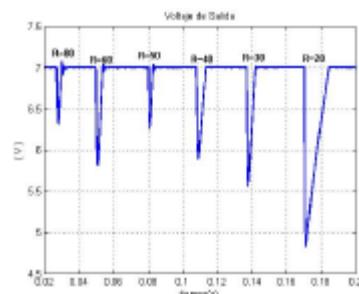


Fig. 6: Voltaje de Salida, Variación de Resistencia de Carga RL .

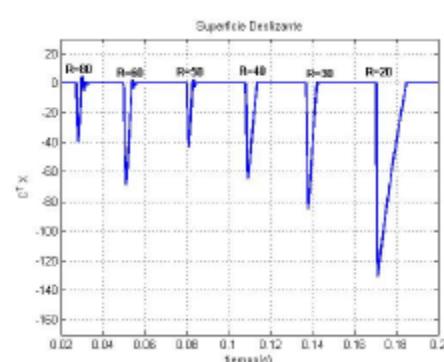


Fig. 7: Superficie $S(k)$, Variación RL .

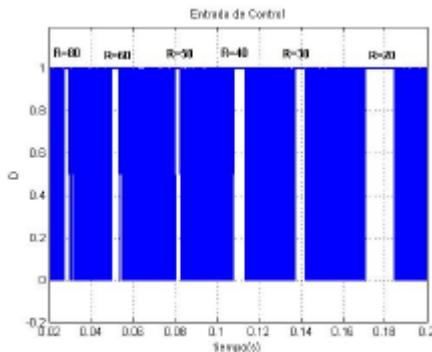


Fig. 8: Señal de Control, Variación RL.

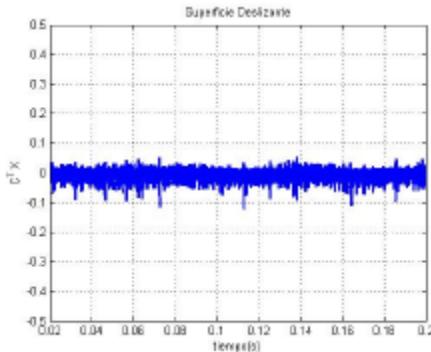


Fig. 9: Superficie $S(k)$, Incertidumbre en parámetros.

Ahora se realiza la simulación cuando se presenta cambios en los parámetros: L y C disminuyen en un 20 %, r_c aumenta en un 5 %, y r_L aumenta en un 10%, igual que en los casos anteriores el rizado de la fuente de alimentación se mantiene, la superficie se puede apreciar en la figura 9.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó una estrategia de control basada en modos deslizantes discreto para el control de convertidores de potencia DC-DC, determinando el ancho de banda del modo cuasi deslizante. Así como se realiza la determinación del controlador en un ejercicio para un convertidor Buck, mostrando un gran desempeño frente a perturbación y cambios en la fuente de alimentación.

El controlador responde adecuadamente a perturbaciones acotadas de salida amortiguándola rápidamente. En el sistema se logra ver que es estable si se escogen adecuadamente los valores de q , T_p , e y C^T , en los resultados se observa que el rizado de la fuente es perfectamente contrarrestado, al igual que el cambio en la resistencia de carga, así como la variación de parámetros del sistema y la

superficie siempre permanece en el interior del ancho de banda dado por [21].

REFERENCIAS

- Emelyanov, S.V. Korovin, S.K. Mamedov, I.G. (1995). *Variable Structure Control Systems, Discrete and Digital*. MIR Publishers, Moscow. CRC Press.

Sarpturk, S. Z. Istefanopoulos, Y. y Kaynak, O. (1987) *On the stability of discrete-time sliding mode control systems*, IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-32, no. 10, pp. 930-932.

Furuta, K.(1990) *Sliding mode control of a discrete system*, Syst. Contr. Lett., vol. 14, pp. 145-152.

Gao, W. Wang, Y. Homaifa, A. (1995) *Discrete Time Variable Structure Control systems*. IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol 42, No 2.

Utkin, V. Guldner, J. Shi, J. (1999). *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*. Taylor y Francis.

Higuera, O.I. Salamanca, J.M. y Diaz, H. (2008) *Discrete time variable structure control for switching converters*. Proceedings IEEE PES Transmition and Distribution Conference and Exposition - Latinamerica.

Higuera, O.I. Salamanca, J.M. y Díaz, H. (2008) *Control de Estructura variable Discreto basado en estabilidad de Lyapunov*. XIII Congreso Latinoamericano de control automático.

Higuera, O.I. Salamanca, J.M. y Díaz, H. (2009) *Modos Deslizantes Discretos Aplicado a Sistemas de Estructura Variable*. VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática.

Higuera, O.I. (2009) *Desarrollo de una Estrategia de Control de Estructura Variable Discreta para Convertidores de Potencia Modelados como Plantas de Tiempo Discreto*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Liu, X.Q. Ge, W.Q. y Chui, Y.T. (1992) *Variable structure predictor controller with quasi sliding mode for systems with delay*. IEEE Proc. Symposium on Industrial Electronics, pp 211–214.

Fang, C-C. (1997) *Sampled-Data Analysis and Control of DC-DC Switching Converters*. Tesis Doctoral, Institute For Systems Research, Harvard University.

Huliehel, F. Yaakov, S.B. (1991) *Low-frequency sampled data models of switched mode DC-DC converters*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 6, No 1.

- Martinelli, R.M. (1984) *A state variable modeling technique for personal computer simulation of converter dynamic properties*, in Proc Powercon, vol 11, H3, pp 1-9.
- Verghese, G.C. Elbuluk, M.E. Kassakian, J.G. (1989) *Averaged and sampled -data models for current mode: A reexamination*, in PESC Rec. pp 484- 491.
- Hung, J.Y. Gao, W. Hung, J.C. (1993) *Variable Structure Control: A Survey*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1.
- Dote, Y. Hoft, R.G.(1980) *Microprocessor based sliding mode controller for DC motor drives*, presentado en Ind. Applicat. Soc. Annu. Meeting. Cincinnati, OH.
- Milosavljevic, D. (1985). *General conditions for the existence of a quasi-sliding mode on the switching hyperplane in discrete variable structure systems*, Automat. Remote Contr., vol. 46, pp. 307-314.
- Bartoszewics, A. (1998) *Discrete Time Quasi Sliding Mode Control strategies.*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol 45, No 4.
- Gao, W y Hung, J.C. (1993) *Variable Structure Control of Nonlinear Systems: A New Approach*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1.

Recibido: 27 de julio de 2009
 Aceptado: 08 de octubre de 2009

DESIGN OF A SURFACE ELECTROMYOGRAPHIC REGISTER TO QUANTIFY MOTORS UNITS IN THE FOOT DROP DISEASE

DISEÑO DE UN REGISTRADOR ELECTROMIOGRÁFICO DE SUPERFICIE PARA CUANTIFICAR UNIDADES MOTORAS EN LA ENFERMEDAD DEL PIE CAÍDO

**Ing. Aylen Lisset Jaimes Mogollón, PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo
MSc. Luis Enrique Mendoza**

Universidad de Pamplona
 Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144.
 E-mail: {lissetjaimes, luenmeula}@gmail.com, cmduran@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper presents a methodology for characterization of electromyographic signals applied to the quantification of motor units in patients with clinical presentation of foot drop. It carries out the design and implementation of an instrumentation system for the collection of electromyographic signals, the device is portable, has two channels sampling and six sensors (i.e. surface electrodes). We develop a graphical user interface (GUI), such is a tool to facilitate the handling of procedure and the application of signal treatment techniques such as wavelet transform to construct a set of features. The system can be used as a diagnostics tool to identify neuromuscular disease in people.

Resumen: En éste documento se presenta una metodología para la caracterización de señales electromiográficas aplicada a la cuantificación de unidades motoras en pacientes que presentan el cuadro clínico de pie caído. Se realiza el diseño e implementación de un sistema de instrumentación para la captación de señales electromiográficas; el dispositivo es portable, se compone de dos canales de muestreo y seis sensores (es decir, electrodos superficiales). Se desarrolla una interfaz gráfica de usuario (GUI), siendo ésta una herramienta que pretende facilitar el manejo del procedimiento, así como la aplicación de técnicas de tratamiento de señales tal como: la transformada Wavelet para la construcción de un conjunto de características. El sistema puede ser utilizado como herramienta de diagnóstico para identificar enfermedades neuromusculares en las personas.

Keywords: EMG, Wavelet, PAUM, Data Acquisition, Motor Unit.

1. INTRODUCCIÓN

Las señales electromiográficas (EMG), son señales biomédicas de origen bioeléctrico generadas en los músculos durante su contracción o relajación. Las señales EMG capturadas en los músculos de las extremidades inferiores que actúan durante la marcha humana, están relacionadas con la posición de dicha extremidad y fisiología del músculo [4].

Entre las razones para el interés del análisis de señales EMG's, está su utilidad para los diagnósticos clínicos de patologías vinculadas con la actividad neuromuscular. Tal es el caso de la determinación de la forma de onda de los potenciales de acción de unidad motora (PAUM), propios para diagnosticar desordenes neuromusculares presentes en la rehabilitación de la actividad motora. Sin embargo las señales EMG

generalmente vienen contaminadas con ruido de diversas naturalezas tales como: ruido proveniente de equipos eléctricos, medio ambiente, así como de factores determinísticos, movimiento artificial y estabilidad de la señal [4]. Además si la electromiografía es superficial, colecciónará señales de diferentes unidades motoras, generando traslapamientos entre las señales [4].

Debido a esto, el reconocimiento, procesamiento, clasificación y descomposición de dichas señales se hace con el fin de obtener unas características más claras que permitan análisis más exigentes. A pesar de estos avances, el análisis y los diagnósticos médicos utilizando las señales EMG es un arte más que una ciencia, ya que los mismos dependen más del conocimiento y habilidad del profesional dedicado a su interpretación que de los algoritmos y técnicas desarrolladas [3].

2. FUNDAMENTOS

2.1. Unidad motora

La unidad motora (UM) es el elemento básico de actividad funcional en el músculo y está formado por una motoneurona y las fibras musculares inervadas por ella como puede verse en la Fig. 1. El potencial de acción de unidad motora (PAUM) representa la actividad eléctrica de las fibras musculares de una UM [2].

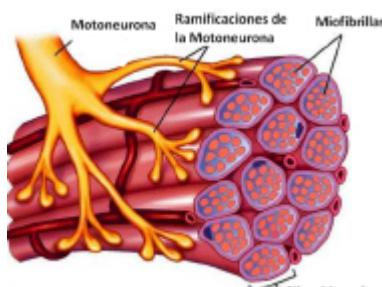


Fig. 1: Unidad Motora

2.2 Caso clínico - pie caído

Cuando existe una parálisis de los músculos extensores dorsales del pie y de los dedos (tibial anterior, extensor largo de los dedos y extensor largo del primer dedo) que están inervados por el nervio peroneal profundo, aparece un pie caído (ó pie equino, ó pie pendular) [5]. El pie pendular o caído describe un trastorno neuromuscular (nervio y músculo) anormal que afecta la capacidad del paciente de levantar el pie a la altura del tobillo. Tal como aparece en la Fig. 2, el pie pendular se caracteriza además por una incapacidad de apuntar

los dedos del pie hacia el cuerpo (dorsiflexión) o mover el pie a la altura del tobillo hacia adentro o hacia afuera. La pérdida de funciones puede estar acompañada por dolor, debilidad y entumecimiento.



Fig. 2: Paciente con cuadro clínico de pie caído

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Como primera etapa del proyecto se realizó la adquisición de la señal electromiográfica, para permitir su procesamiento en un PC. La Fig. 3, muestra un modelo típico de instrumentación el cual está compuesto por: captación de la señal (sensores), acondicionamiento (amplificadores), conversor análogo digital (tarjeta de adquisición de datos) y procesamiento (PC).

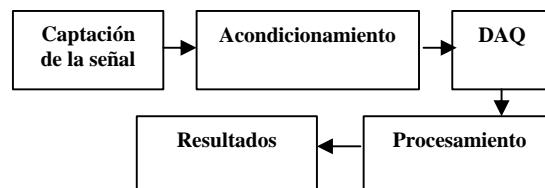


Fig. 3. Sistema de Instrumentación

3.1 Sensores

Los sensores utilizados en éste proyecto tal y como se observa en la Fig. 4, son electrodos de superficie, por medio de los cuales se puede obtener una idea de la electrogeneración global del músculo, ubicándose sobre la piel suprayacente al músculo que se quiere medir.

Este tipo de electrodos tiene una impedancia que varían de acuerdo al tamaño y tipo del mismo, para reducir esta impedancia de contacto se utilizan electrodos con gel. Debido a esto, los electrodos de Ag - AgCl son usados en más del 80 % de las aplicaciones de EMG de superficie.

Los electrodos con gel usados son desechables, puesto que son más livianos y porque vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Con la aplicación apropiada, los electrodos desechables minimizan el riesgo de un desplazamiento del electrodo durante inclusive movimientos rápidos.



Fig. 4: Electrodos con gel 3M

La Fig. 5, muestra la ubicación de los electrodos, según la normatividad SENIAM [7].



Fig. 5: Ubicación de electrodos

3.2 Acondicionamiento

Para la etapa de acondicionamiento de las señales EMG, se implementa un amplificador de instrumentación (Ver Fig.6).

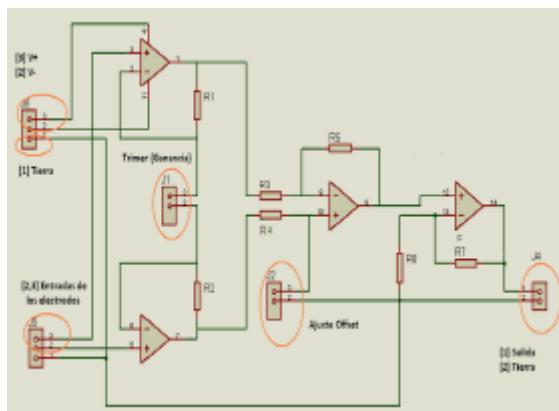


Fig. 6: Acondicionamiento señales EMG

En la Fig. 6, se puede observar cada uno de los elementos que componen el Amplificador de Instrumentación, el cuál funciona de la siguiente

manera: la señal es detectada en dos sitios, el circuito electrónico substrae las dos señales y después amplifica la diferencia., es decir, cualquier señal que se origina a gran distancia del sitio de detección aparecerá como una señal común, mientras que las señales cercanas a la superficie de detección serán diferenciadas y consecuentemente se amplificarán.

3.3 Adquisición de Datos

Para la adquisición de los datos se utilizó una tarjeta de *National Instruments* [8] DAQ 6009, es de bajo costo, se conecta en modo de configuración "Single-Ended" y se ajusta a una frecuencia de muestreo de 10kHz.

4. TRATAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

Algunas veces las señales provenientes de los sensores contienen información que dificulta la extracción de características en forma apropiada, por lo tanto se hace necesario tratar los datos antes de ser analizados.

4.1 Centralización de datos

Ajusta las señales a una escala adecuada. En (1), se observa el proceso matemático aplicado para el centrado de datos.

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ij}}{n} \quad (1)$$

$$\bar{R}_j = R_{ij} - \bar{R}_j$$

Donde R_{ij} hace referencia a los datos de los sensores en determinado tiempo, R_j es la media aritmética y n es la cantidad de sensores.

4.2 Descomposición de la señal

La descomposición de la señal se realiza aplicando la transformada Wavelet.

La Transformada Wavelet (2), pertenece a una serie de técnicas de análisis de señal denominadas comúnmente análisis multiresolución. Con ello se difiere que es capaz de variar la resolución de los parámetros que analiza (escala, concepto relacionado con la frecuencia y tiempo) a lo largo del análisis.

$$W_y s(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) y_{a,b}(t) dt \quad (2)$$

De donde:

$$\mathbf{y}_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \left(\frac{t-b}{a} \right)$$

Siendo:

$$\mathbf{y}_{a,b}(t) = \left(\frac{t-b}{a} \right): \text{Wavelet madre}$$

$s(t)$: Señal Emg.

b : Corresponde al desplazamiento.

a : Corresponde a la escala.

Su principal característica es que permite conocer qué frecuencias componen una señal en cada instante con las siguientes resoluciones:

- Para las altas frecuencias consigue una buena resolución en el tiempo que permita su exacta localización temporal, aún a cambio de perder resolución frecuencial.
- Para las componentes de bajas frecuencias lo más relevante es conocer su frecuencia aún a costa de perder resolución temporal.

El hecho de poder localizar en el tiempo las componentes frecuenciales de una señal es fundamental cuando la señal es no estacionaria y parte de la información relevante reside en el momento en el que aparece cada componente. Ésta es justo la problemática a la que se enfrenta el análisis de la señal EMG. Esta señal es de baja frecuencia e intrínsecamente no estacionaria. A ella se suman, como ya se ha explicado anteriormente, ruidos, también llamados artefactos, que suelen ser señales de más altas frecuencias.

La gran ventaja del uso de la transformada *wavelet* reside en que es capaz de localizar con exactitud en el tiempo estas últimas componentes no deseadas, y permite conocer de forma precisa la frecuencia de las señales de baja frecuencia, que son las que mejor información aportan acerca del estado de un músculo.

De todas las familias de funciones *wavelet* disponibles la elección de la familia delimita drásticamente las posibilidades de éxito de la transformada. Cuanto más parecida sea la función elegida a las componentes que se desean localizar, mejores serán los resultados.

La descomposición de la señal incluye dos pasos:

- El filtrado de la señal por dos filtros mitad banda (los coeficientes de los filtros corresponden a una base *wavelet*) y el submuestreo de las señales resultantes. A la salida de cada etapa de descomposición se le

denomina coeficientes de detalle, si provienen del filtro pasa altos o de aproximación, si provienen del filtro pasa bajos [2].

- La descomposición se puede aplicar a partir de los coeficientes de aproximación o a partir de los coeficientes de detalle y de aproximación. La Fig. 7, muestra el árbol de descomposición *Wavelet* para 7 niveles, desarrollado en éste trabajo.

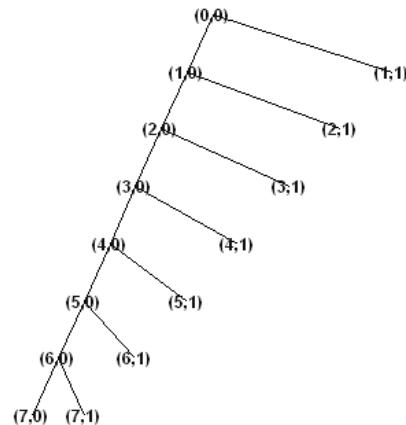


Fig. 7: Árbol de descomposición Wavelet $N=7$

5.1 Umbralización de los Coeficientes

En la aplicación, los coeficientes de aproximación del último nivel de descomposición permanecen intactos, y solamente se modifican (umbralizan) los cuatro últimos coeficientes de detalle.

Existen diferentes métodos para calcular umbrales, en este caso se trabajó el umbral universal (3), éste se calcula como:

$$\mathbf{d} = \sqrt{2 \log(N) \mathbf{s}} \quad (3)$$

Donde,

N corresponde a la longitud de la señal (total de datos), σ hace referencia a la varianza.

Una vez calculado el umbral, se puede multiplicar por un factor de escalamiento que puede ser mayor o menor a 1; y posteriormente se umbralizan los coeficientes [1].

4.3 Reconstrucción de la Señal

La reconstrucción de la señal consiste en aplicar a los coeficientes de aproximación y de detalle umbralizados, un sobremuestro seguido de filtros digitales de reconstrucción, empezando por el último nivel hasta llegar al primero, y sumando las señales reconstruidas de cada nivel antes de volver a reconstruir.

5. RESULTADOS

Para la validación del sistema desarrollado, se realiza la adquisición de señales electromiográficas a 12 pacientes en el músculo tibial anterior provenientes de contracciones isométricas durante cuatro segundos digitalizadas a una frecuencia de muestreo $fs=10000$ Hz. En la tabla 1 se observa los datos de los pacientes a quienes se les realizó el examen.

Tabla 1. Características de los pacientes registrados

Paciente	Sano	Lesionado	Género:	Edad (años)	Peso (kilogramos)	Estatura (centímetros)
1	Si		Masculino	36	75	170
2	Si		Masculino	32	80	180
3	Si		Masculino	23	70	170
4	Si		Masculino	12	42	130
5	Si		Masculino	9	25	120
6	Si		Femenino	22	58	165
7	Si		Femenino	20	56	160
8	Si		Femenino	18	54	161
9	Si		Femenino	19	50	159
10	Si		Femenino	12	43	145
11		Si	Masculino	37	69	166
12		Si	Femenino	40	62	164

Una vez almacenadas las señales en archivos tipo texto, se realiza el tratamiento de la señal.

La *wavelet* madre elegida para la descomposición fue la “db5”, ya que presentaba características muy similares con la señal original y su grado de descomposición se apreció mejor en 7 niveles, conservándose de ésta manera gran parte de la forma de onda y las particulares de la señal EMG original.

Para el conteo de unidades motoras se tomó como base el registro cuantitativo de las pruebas, infiriendo un diagnóstico con sensibilidad del 80% de certeza, en el cuál se aprecia que la cantidad de unidades motoras reclutadas en 2 segundos durante este movimiento debe estar en un rango de 70 a 130, para señales que representen las mayores amplitudes, es decir, pacientes con fuerza muscular; en el caso contrario existen dos tipos de interpretaciones, si el paciente presenta el cuadro clínico de pie caído y su reclutamiento se encuentra en éste rango pero su señal es débil, (amplitudes muy bajas), la persona tiene debilidad muscular pero posee reclutamiento; si no presenta reclutamiento se infiere que su músculo es anormal.

En la Fig. 8, puede verse la señal característica de un paciente que presenta el cuadro clínico de pie caído, se analiza la fase de contracción que tiene una duración de 2 segundos.

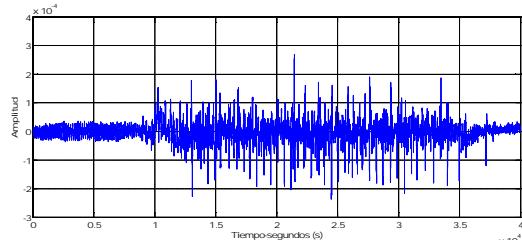


Fig. 8: Señal EMG, paciente 12

Como etapa importante de tratamiento se aplica normalización a la señal, se aprecia en la Fig. 9.

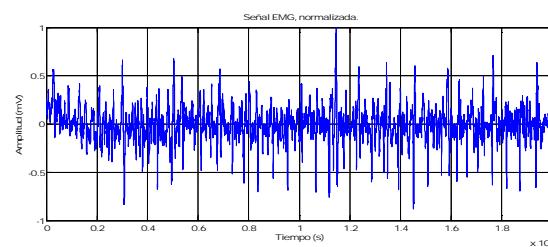


Fig. 9: Señal EMG-normalizada

En la Fig. 10, se presenta la descomposición de la señal en 7 niveles. El primer nivel corresponde a los coeficientes de aproximación (A) que es el resultado del filtro pasa baja. El segundo, tercero, cuarto, quinto, sexto, séptimo y octavo (d6, d5, d4, d3, d2, d1, d0) nivel pertenecen a los coeficientes de detalle, consecuencia del filtro paso alto.

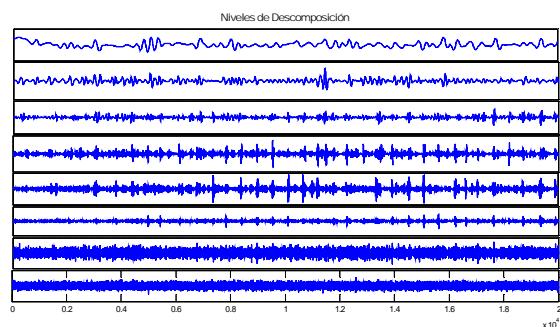


Fig. 10: Descomposición Señal EMG

Como puede verse en la Fig. 11, en la reconstrucción se conserva en su mayoría las características más relevantes de la señal.

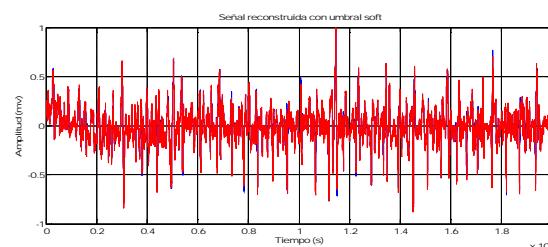


Fig. 11: Señal EMG-reconstruida umbral Soft

En la tabla 2 se muestra los primeros resultados de cuantificación de unidades motoras.

Tabla 2. Resultados proceso de cuantificación de unidades moteras

PACIENTE	SANO	LESIONADO	CANTIDAD DE UNIDADES MOTORAS
1	SI		157
2	SI		96
3	SI		85
4	SI		91
5	SI		80
6	SI		85
7	SI		65
8	SI		93
9	SI		79
10	SI		84
11		SI	0
12		SI	25

8. CONCLUSIONES

La caracterización de señales EMG utilizando la transformada Wavelet, presenta resultados contundentes y aporta métodos eficaces para ser herramientas útiles en diferentes campos de aplicación.

Es posible generalizar los criterios de conteo de unidades motoras funcionantes estableciendo un umbral de selección dependiendo de las características de los datos.

En un futuro trabajo se debe buscar aplicar las técnicas desarrolladas en éste trabajo pero con más muestras tomando un grupo de sujetos de estudio que sea estadísticamente más apropiado. Estos resultados permitirán realizar una caracterización más a fondo de las señales EMG recopiladas y relacionarlas con aquellas tomadas en ésta primera etapa del estudio creando una base de datos amplia que proporcione un soporte teórico para futuros desarrollos.

El sistema puede ser utilizado como herramienta de diagnóstico para identificar enfermedades neuromusculares en las personas.

9. AGRADECIMIENTOS

Queremos dar los más sinceros agradecimientos a las siguientes personas que contribuyeron en forma significativa en la elaboración de este trabajo. Al Dr. Omar Albarracín (Fisiatra Universidad Militar-Colombia). Al PhD. Oscar Eduardo Gualdrón

Guerrero (Docente Universidad de Pamplona-Colombia, y al estudiante Jhon Fredy González (9 semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Pamplona- Colombia perteneciente al Grupo de Ingeniería Biomédicas GIBUP, Universidad de Pamplona- Colombia.

REFERENCIAS

- [1]. Burrus C, Gopinath R, Guo H. Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms. Prentice Hall. 1998. Pags: 1-40.
- [2]. Malanda A., Herramienta software de análisis electromiográfico para el diagnóstico de enfermedades neuromusculares. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.
- [3]. Mendoza L.E., Castellano R.D., Rojas R.D.. Aportes y alcances de las técnicas de procesamiento, clasificación y descomposición de señales electromiográficas.
- [4]. Reaz M, Hussain M, Mohd-Yasin F. Techniques of EMG signal analysis; Detection, processing, classification and applications, Faculty of engineering, Multimedia University. 2006.
- [5]. Stewart G. Eidelson, MD. Spine Universe Founder, Orthopaedic Surgeon South Palm Orthospine Institute Delray Beach, FL
- [6]. Welling P et al. Electromyogram data compression using single-tree and modified zero-tree wavelet encoding. Proc IEEE Conf Eng Med Bio Soc. 1998; 3:1303-6.

SITIOS WEB

- [7]. www.seniam.com
- [8]. www.ni.com

Recibido: 02 de junio de 2009
Aceptado: 28 de agosto de 2009

**OPTIMIZATION OF THE BASE OF RULES OF A DIFFUSE CONTROLLER,
BY MEANS OF TECHNICAL STOCHASTIC AS GENETIC ALGORITHMS AND
SIMULATED ANNEALING**

**OPTIMIZACION DE LA BASE DE REGLAS DE UN CONTROLADOR DIFUSO,
MEDIANTE TECNICAS ESTOCASTICAS COMO ALGORITMOS GENETICOS
Y EL SIMULATED ANNEALING**

Ing. José Alfredo Balcucho Mogollón, Ph.D. Oscar Gualdrón Guerrero

Universidad de Pamplona

Comité Editorial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144
E-mail: {joalbamo, oscar.gualdrón}@unipamplona.edu.co

Abstract: The acting of the Diffuse Controllers depends in great measure of the correct election of its linguistic control rules and membership functions, hence it is very important to have a technique of adjustment of these parameters according to the process that he/she wants to be controlled. In this work he shows up a method of adjustment of the bases of rules of a Diffuse previously established Controller using technical stochastic as the Genetic Algorithms and Simulated Annealing and later on he/she will be proven in different systems by means of simulation the grade of robustness that said method of optimization obtained.

Resumen: El desempeño de los Controladores Difusos depende en gran medida de la correcta elección de sus reglas de control lingüísticas y funciones de membresía, por ello es muy importante contar con una técnica de ajuste de estos parámetros de acuerdo al proceso que desea ser controlado. En este trabajo se presenta un método de ajuste de las bases de reglas de un Controlador Difuso previamente establecidas usando técnicas estocásticas como los Algoritmos Genéticos y el Simulated Annealing y posteriormente se comprobará en diferentes sistemas mediante simulación el grado de robustez que dicho método de optimización alcanzó.

Keywords: Genetic algorithms, Controller Fuzzy, Level, Optimization, Simulated Annealing, Robustness, Temperature.

1. INTRODUCCIÓN

La lógica difusa (Fuzzy Logic) ha surgido como una herramienta importante para el control de subsistemas y procesos industriales complejos, así como también para la electrónica de entretenimiento y hogar, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos. En esencia un controlador lógico difuso, contiene un algoritmo que es capaz

de convertir una estrategia de control lingüística en una estrategia de control automático.

Con la lógica difusa se pueden diseñar aplicaciones para que las máquinas respondan con mayor inteligencia a la imprecisión y a las condiciones del mundo exterior, con lo que se busca imitar el comportamiento humano.

La definición del conocimiento de la base de reglas y las expresiones de las funciones de pertenencia, representan un problema clave en el diseño de controladores difusos, plantear mecanismos que posibiliten la obtención o ajustes de estos parámetro con base en criterios objetivos, constituye un tema de gran interés para los diseñadores de controladores difusos.

Los esquemas que combinan teoría de conjuntos difusos, algoritmos genéticos y redes neuronales para resolver el problema en diversos sistemas han suscitado especial interés entre los investigadores en control de procesos. En este trabajo se plantea un método de optimización de la base de reglas de un CLD, que es quizás una de las grandes problemáticas que dichos controladores poseen.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para la implementación del método de optimización de la base de reglas del controlador difuso, se utilizaron dos sistemas, el primero de ellos es el sistema de nivel mostrado en la figura 1, el cual debe mantener cierto nivel deseado determinado por el usuario. Dicho sistema posee una entrada la cual es manejada por el controlador difuso, además de una salida fija de líquido. Esta salida fija hace necesario que constantemente se deba monitorear el nivel de agua con el fin de mantener cierto nivel de referencia deseado, lo cual se logra con la realimentación que proporciona el sistema en lazo cerrado.

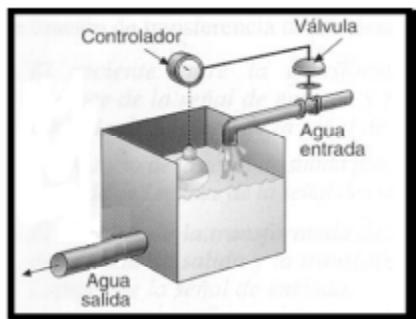


Fig. 1: Descripción del sistema de nivel

El otro sistema utilizado es el sistema de control de temperatura mostrado en la figura 2 el cual consta de un flujo de aire constante, con una temperatura constante de entrada. Debemos garantizar que la temperatura se estabilice en el punto de referencia predeterminado.

El controlador fuzzy con el que se evaluó cada uno de los sistemas está diseñado en base a las

características y parámetros definidos por el experto. Dicho controlador consta de dos entradas ERROR y D_ERROR y una salida definida como OUT, estas utilizan tanto funciones de tipo triangular como trapezoidal con el fin de mejorar y facilitar la implementación del controlador.

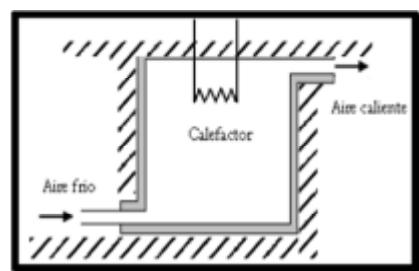


Fig. 2: Descripción del sistema de temperatura

En la figura 3 y 4 se muestra la respuesta de dicho controlador a cada uno de los sistemas de nivel y temperatura respectivamente. Los valores de referencia fueron configurados previamente; para el caso del sistema de nivel es de 5m y para el sistema de temperatura es de 35°C.

Como se puede apreciar la respuesta del controlador a cada uno de los sistemas presenta un buen desempeño, el control fuzzy permite eliminar las sobreoscilaciones y garantiza una buena estabilidad, pero requiere un tiempo de establecimiento bastante alto.

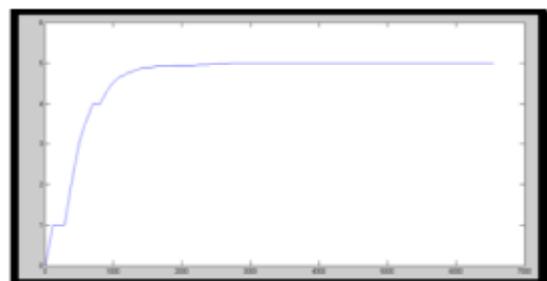


Fig. 3. Respuesta del controlador FUZZY del sistema de control de nivel

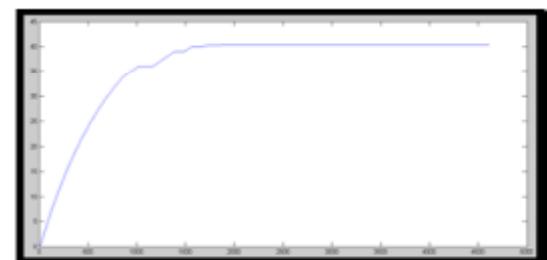


Fig. 4: Respuesta del controlador FUZZY del sistema de control de temperatura

3. ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN

En el desarrollo de este trabajo se implementan dos tipos de algoritmos heurísticos de búsqueda y optimización. El primero de ellos llamado Algoritmo Genético, se basa en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859).

Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

El proceso genético empieza con la creación una población aleatoria de individuos, después se prueba cada individuo con una función de costo o "fitness". Aquellos individuos considerados por el fitness como los mejores después de la selección, serán utilizados en el proceso de generación de la siguiente población.

El algoritmo genético permite que mediante los operadores de cruce y mutación se realice un cambio de código genético entre los individuos, introduciendo nuevas combinaciones de genes, lo que facilita al algoritmo una búsqueda con eficiencia en espacios de varias dimensiones.

A medida que el algoritmo evolutivo avanza, la función de costo debe minimizarse a fin de obtener los valores correspondientes a una buena respuesta.

El Simulated Annealing (SA) es el otro método de optimización utilizado en este trabajo y es el encargado de perfeccionar la respuesta del controlador fuzzy a cada uno de los sistemas.

El SA es una metodología de optimización basada en procesos termodinámicos (recocido), la idea es que a partir de una población existente se crean vecinos (versiones perturbadas de los puntos), a los cuales se les prueba su función de costo o "fitness" y si esta es de mejor calidad que la del punto existente, el vecino entra a reemplazar al punto existente.

Por medio del enfriamiento se puede lograr que vecinos de mala calidad que se pueden presentar en alto porcentaje en la parte inicial del proceso, se vayan eliminando y se reduzca la probabilidad de su aparición.

La probabilidad $prob$ de que se acepte un vecino de mala calidad se logra con la ecuación 1:

$$prob = \frac{e^{(fitness - fitness_vecino)}}{Temp} \quad (1)$$

Valor el cual se compara con un dato aleatorio entre 0 y 1. La simulación de la disminución de la temperatura se logra multiplicando la temperatura por una constante de enfriamiento β menor a la unidad.

$$Temp = \beta * Temp \quad (2)$$

4. RESULTADOS.

En la figura 5 se muestra un diagrama en bloques del algoritmo de diseñado para la optimización de la base de reglas del CLD, en el se aprecia como el Simulated Annealing es acoplado a los algoritmos genéticos para lograr una mejor respuesta obteniendo tiempos de establecimientos más cortos y mayor estabilidad.

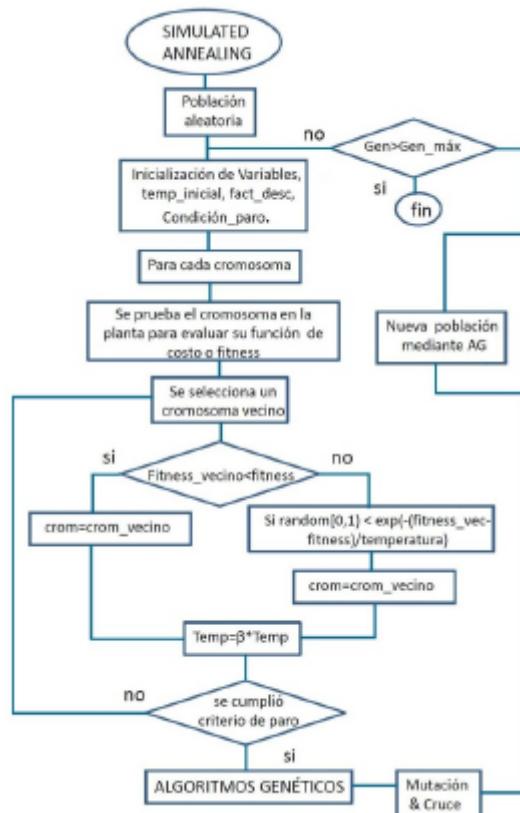


Fig. 5: Diagrama de flujo del algoritmo de optimización diseñado

Para el desarrollo de este trabajo la función de costo o función objetivo que se toma como criterio de evaluación es la Integral del Valor Absoluto, definida en la ecuación 3, que me indica que individuos de la población son los que mejores condiciones tienen a la hora de adaptarse al sistema de control.

$$J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (3)$$

El algoritmo diseñado inicialmente se crea una población aleatoria conformada por n individuos cada uno de ellos contiene a los 25 consecuentes de un controlador difuso en particular.

Como el sistema de control en análisis tiene dos variables de entrada, (ERROR y D_ERROR) y una variable de salida (OUT) cada una compuesta por 5 conjuntos difusos, entonces el número máximo de reglas de es 5×5 .

Para formar la base de reglas del controlador difuso, se requieren los valores de los antecedentes o variables de entrada, en este caso los antecedentes 1 y 2, que se encuentran fijos en una matriz dentro de la función de MATLAB®, el tipo de conexión para este caso es “and” y el peso que se le asigna a cada regla es 1.

Después de generar la base de reglas, se evalúa la función de costo (*fitness*), con el fin de determinar el error en cada individuo. Posteriormente se crea otra población a partir de la población inicial, esta población debe conservar características de sus antecesores, el algoritmo genético mediante el cruce y la mutación garantiza que dichas características se mantengan durante todo el proceso.

A esta nueva población se le aplica la función de costo a fin de determinar un error, el error de la población inicial y este nuevo error serán comparados a través del cálculo de la probabilidad establecida por el *Simulated Annealing* (ecuacion1) este algoritmo establece que individuo se adapta de mejor manera a sistema de control difuso permitiendo que vecinos de mala calidad que se pueden presentar en alto porcentaje en la parte inicial del proceso, se vayan eliminando y reduzcan así la probabilidad de su aparición.

Este proceso se aplicará a todos los individuos de cada una de las generaciones establecidas, al final se escogerá el mejor individuo de acuerdo a su función de evaluación.

Para el algoritmo del Simulated Annealing se tomo una temperatura inicial de 1000 y un coeficiente de enfriamiento β de 0.95 con lo cual a cada individuo se le permite controlar la planta durante varias muestras para calcular su respectivo “fitness”.

En las figuras 6a y 6b se muestra el diagrama en bloque que fue utilizado en la simulación de cada uno de los sistemas con el controlador fuzzy optimizado.

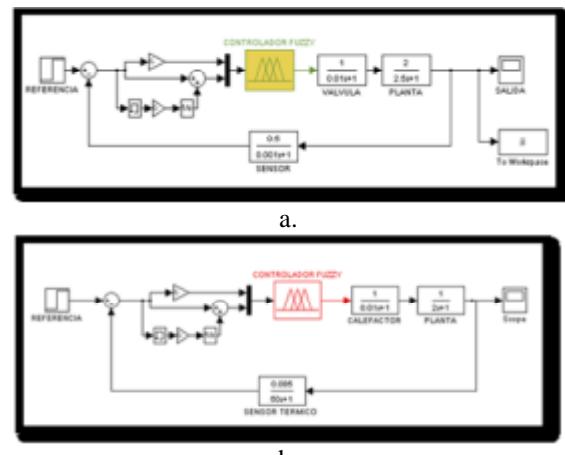
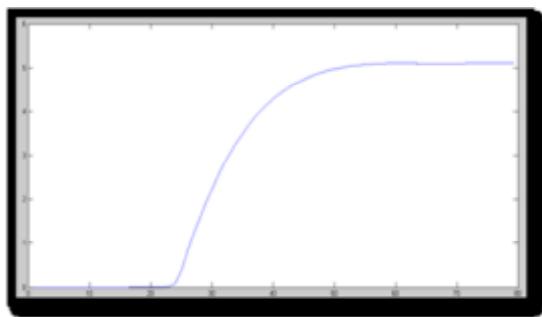


Fig. 6: Diagrama en bloques de la simulación del sistema (a. nivel, b. temperatura)

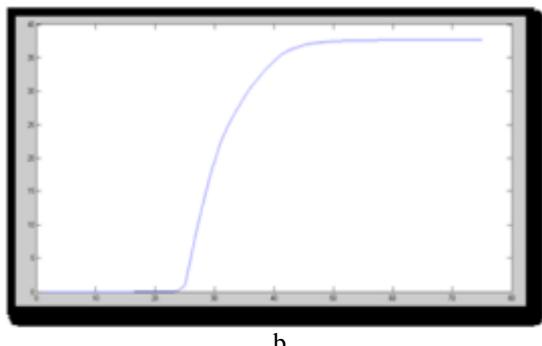
Finalmente, después de todo este proceso, donde se obtiene un índice de desempeño deseado, junto con las base de reglas obtenida por el método de optimización, los rangos de las variables de entrada salida, los datos de las funciones de membresía, tiene como salida un archivo que corresponde a una estructura donde se tienen todos los datos de inferencia difusa del sistema de control optimizado, que es utilizado en la simulación por el sistema para obtener las curvas que se muestran a continuación, que corresponden a los resultados obtenidos de esta investigación.

En la figura 7 se observa la respuesta del controlador difuso de ambos sistemas aplicando únicamente el algoritmo genético con 100 individuos y un número de 200 generaciones, se aprecia que dicha respuesta mejoró considerablemente en relación a la obtenida con la base de reglas proporcionada por el experto.

Al acoplar el *Simulated Annealing* y el Algoritmo Genético, se obtiene un mejor desempeño en cada uno de los sistemas, el tiempo de establecimiento se redujo en una amplia proporción en comparación con el control fuzzy en base al conocimiento experto y también al optimizado únicamente con el algoritmo genético.



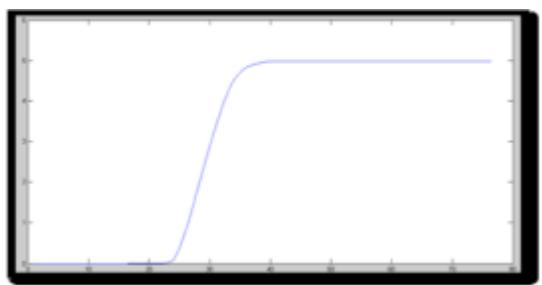
a.



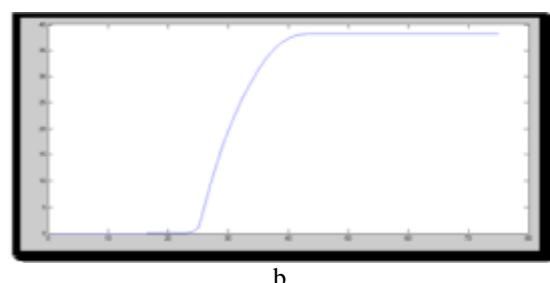
b.

Fig. 7: Respuesta del sistema de (a. nivel, b. temperatura) únicamente con el algoritmo genético

Aunque la respuesta de este último es buena, se obtiene un mejor desempeño al aplicar ambas técnicas. Esta respuesta se puede apreciar en la figura 8.



a.



b.

Fig. 8: Respuesta del sistema de (a. nivel, b. temperatura) con el Simulated Annealing y el algoritmo genético

5. CONCLUSIONES

En esta investigación se trabajó un método de optimización para las bases de reglas de un controlador difuso un controlador difuso aplicado dos sistemas diferentes comprobando su robustez y la efectividad del mismo. Los resultados aquí presentados son estimulantes para continuar trabajando con los demás parámetros de los controladores difusos tales como el número de las membresías, el ancho de las mismas entre otros, y considerar la aplicación de estos algoritmos en aplicaciones reales.

La Lógica Difusa, los Algoritmos Genéticos y el Simulated Annealing son tecnologías de punta que empiezan a utilizarse en aplicaciones reales, el presente trabajo es un desarrollo que combina estas tecnologías en el área de controladores difusos. El uso de algoritmos evolutivos para la optimización de controladores FUZZY constituye un novedoso enfoque de resolución de problemas, con excelentes potencialidades en el campo de las aplicaciones industriales

Los resultados alcanzados en el trabajo pueden ser visualizados como el punto de partida para el desarrollo de investigaciones de punta en el área de la optimización de controladores industriales, ya que gracias a su enfoque de desarrollo este algoritmo no representa riesgos para la operación segura de la planta ni para sus operarios.

REFERENCIAS

- Tutorial On Fuzzy Logic. Technical University of Denmark, Department of Automation, 1998.
- Computación evolutiva.pdf, Andrés Romero Rodríguez, Mario Linares Vásquez, XIV CNEIS, Marzo 16, 2005.
- Conjuntos y Sistemas Difusos. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación. Universidad de Málaga.
- Iván Socolsky. Diseño de un controlador Fuzzy para el problema del péndulo invertido. Cátedra de Inteligencia Computacional. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina, Mayo, 1999.
- Murray-Smith and K. C. Sharman. System identification and linearization using genetic algorithms with simulated annealing. University of Glasgow, 2007.
- Moins Stephane. Implementation of a simulated annealing algorithm for Matlab Training performed, 2002.

Recibido: 03 de febrero de 2010
Aceptado: 17 de abril de 2010**EVOLUTION AND ELEMENTS OF FINANCIAL MANAGEMENT FOR
INFORMATION TECHNOLOGIES SERVICES IN ORGANIZATIONS****EVOLUCION Y ELEMENTOS DE LA GESTION DE COSTOS DE LOS
SERVICIOS DE TECNOLOGIAS DE INFORMACION EN LAS
ORGANIZACIONES****Esp. Avilio Villamizar Estrada, MSc. Jesús Evelio Ortega Arévalo****Universidad de Pamplona**

Grupo de Investigación en Ciencias Computacionales - CICOM
 Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
 E-mail: {aviliov, jeortegaa}@unipamplona.edu.co

Abstract: The paper shows how in the last years the concept of IT Financial Management has evolved until being located in the perspective oriented to the service and the quality of the same. Additionally, it shows key element for the fulfillment of the objectives of this fundamental process for the actual IT organizations, which have as mission to provide aligned IT services to the needs of the business, with decided characteristics, quality levels and optimal costs.

Keywords: Financial, Management, Cost, Service IT, Information Technologies.

Resumen: El artículo muestra como en los últimos años ha evolucionado el concepto de gestión de costos de Tecnologías de Información hasta ubicarse en la perspectiva orientada al servicio y a la calidad de los mismos. Adicionalmente, muestra los elementos claves para el cumplimiento de los objetivos de este proceso fundamental para las organizaciones actuales de TI, que tienen como misión suministrar servicios de TI alineados a las necesidades del negocio, con características acordadas, niveles de calidad y a costos óptimos.

Palabras clave: Finanzas, Gestión, Costos, Servicios de Tecnologías de Información, Tecnologías de Información.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las Tecnologías de Información ha crecido dramáticamente en las últimas décadas y probablemente seguirán creciendo. Muchos negocios están dependiendo de las Tecnologías de Información para mejorar la eficiencia y eficacia de sus operaciones, y algunos para su supervivencia. Por consiguiente los presupuestos de TI de muchas organizaciones han incrementado sustancialmente (Hitt, et al., 2002). En este escenario se ha comprobado que las grandes organizaciones tienden a invertir más en Tecnologías de

Información que las pequeñas empresas. Esto parece intuitivo, por ejemplo, en las grandes organizaciones la oportunidad de mejorar eficacia por automatización de procesos repetitivos es una directriz importante.

Cuando se trata de entender la relación entre las inversiones en TI y el rendimiento de las organizaciones, la situación se pone bastante confusa. Antes de finalizar el año 2000, investigaciones (Brynjolfsson, 1998) demostraron que la automatización no condujo a mejoramiento en la productividad de las organizaciones.

Este resultado se conoce como Paradoja de la Productividad (“Productivity Paradox”). Posibles explicaciones fueron dadas para justificar este resultado (CSC, 2001; Brynjolfsson Y Hitt, 1996; McKinsey and Company, 2002). Analizando la relación entre las inversiones en TI y los beneficios obtenidos en las compañías que no mejoraron sus resultados, se identificaron resultados contradictorios. Lo que parece evidente es que, en el sector de pequeñas empresas, algunas organizaciones son más acertadas que otras en la transformación de las inversiones de TI en valor para el negocio (Kellar and Akel, 2003).

Así pues, mientras que el valor absoluto de las inversiones de TI está creciendo, la capacidad de beneficiarse de las inversiones varía enormemente de una organización a otra.

La gestión de costos de TI se ocupa de identificar la cantidad del valor de estas inversiones, su financiación y de cómo esto sucede, y del control del dinero que las organizaciones invierten en Tecnologías de Información. Por lo tanto, la administración de costos de TI es una disciplina importante para entender y mejorar la capacidad de invertir adecuadamente este dinero y por lo tanto mejorar el beneficio en el negocio.

La necesidad para planear mejor, controlar y evaluar las inversiones en TI y el gasto, se incrementa también por la globalización y el incremento de la competitividad.

Esta situación y sus consecuencias son muy bien conocidas, por consiguiente, es necesario buscar y controlar cuidadosamente todas las inversiones y confrontarlas unas con otras: específicamente las que contribuyen a alcanzar las metas de la organización deben encontrar su financiación adecuada.

2. SERVICIOS DE TI Y COSTOS

En la perspectiva de servicios de TI, la gestión de costos de Tecnologías de Información se está ocupando de los costos, los cuales frecuentemente se relacionan a la calidad de los servicios (Fig. 1).

Sin la introducción de modelos de negocios innovadores, productos o servicios, existe una barrera del rendimiento que no puede ser cruzada. Esta barrera establece una relación entre costos y calidad del servicio (Fig. 2).

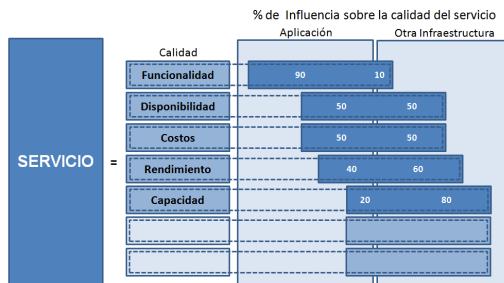


Fig. 1: El costo es uno de los atributos principales de la calidad de los servicios

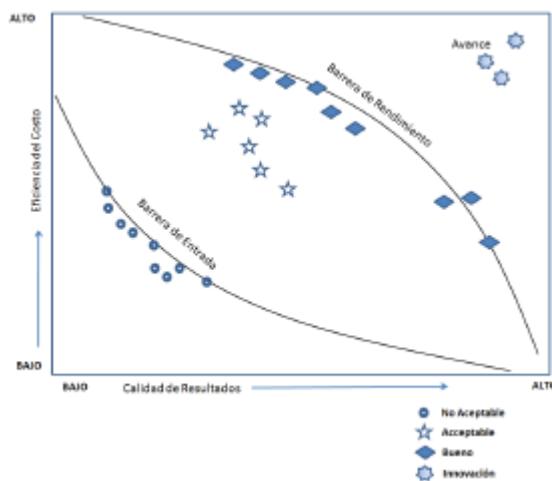


Fig. 2: Relaciones entre Costos y Calidad

Las organizaciones de TI definirán cómo desean posicionarse, optando por baja, media o alta calidad de servicios. Después tienen que controlar los costos y reducirlos al mínimo tanto como les sea posible. Esto significa intentar alcanzar la barrera de rendimiento del nivel deseado de costo, hasta que se logre una solución o modelo de avanzada. La gestión de los Costos de Servicios de TI es un elemento obligatorio para alcanzar este resultado.

3. NATURALEZA DE LA GESTIÓN DE COSTOS DE TI

Podemos interpretar la gestión de costos de TI como la práctica, o la función, para gestionar la evaluación, planificación, financiación, control y carga de las inversiones de TI y sus costos asociados. La Gestión de Costos de Servicios de TI ha estado siempre en la agenda de los CIOs¹ y nace con las Tecnologías de Información. Históricamente, la organización de TI ha crecido

¹ Chief Information Officer (CIO) - Líder de la Tecnología de Información

desde que era conocida como “contabilidad” y hoy en día como el “departamento financiero”. En muchos casos las organizaciones de TI todavía forman parte de las oficinas financieras. Esto se debe al hecho de que la contabilidad y los sistemas de la gestión del talento humano (otra unidad de organización típica donde la organización de TI puede ser encontrada) estaban entre las primeras áreas de automatización. Por esta razón, en los años 60 y principios de los 70s, el personal de TI y de recursos estuvo principalmente localizado en el departamento o división financiera. Más tarde, como las capacidades de las organizaciones de TI fueron mejorando y los sistemas contables maduraban, el foco de la automatización fue movido a otras partes de la organización y del negocio, pero la organización de TI permaneció con el departamento financiero de la organización.

La gestión de costos también se ha desarrollado. Inicialmente, el término fue usado para la función que proporcionaba servicios de contabilidad para toda la organización. Esto frecuentemente era conocido como La Administración, o el departamento de Administración y Control. Más tarde, en los años 80s, el rol de esta función evolucionó, junto con el concepto de “Creación de Valor”. La Globalización y la Competitividad han impulsado la importancia de las decisiones estratégicas, la planeación y el control. Los departamentos administrativos están orientándose a organizaciones de administración, gestión financiera y control con nuevas responsabilidades, tales como, la supervisión del valor de la organización, la evaluación de las decisiones de inversión desde un punto de vista económico-financiero, y la financiación oportuna de recursos que apoyan las iniciativas y proyectos de las organizaciones. En paralelo, la nueva función se ha colocado bajo responsabilidad directa del CEO² y ha sido renombrada como organización de administración, financiera y control, o simplemente, departamento financiero (finanzas).

Como todas las otras oficinas, la organización de TI también ha sido influenciada por la gestión financiera, adoptando el alcance, reglas y procedimientos definidos por las oficinas financieras de la organización. Actividades como gestión de la inversión, presupuestos, contabilidad y carga de costos, han crecido en las oficinas de la gestión financiera y han sido forzadas hacia otras

oficinas de las organizaciones. El alcance, la estructura y el nivel de detalle de las salidas de las actividades de la gestión financiera fueron diseñadas inicialmente para gerencia de toda la organización. Por ejemplo, el presupuesto de la una empresa fue estructurado para cada unidad funcional de la empresa, incluyendo las organizaciones de TI.

Adicionalmente las reglas originadas en las organizaciones de TI, son frecuentemente usadas para futuros detalles del presupuesto de TI. Esto es realizado para mejorar el soporte de la planeación y los objetivos estratégicos de la organización de TI sin sobrecargar el sistema central financiero con información detallada. Por ejemplo, el presupuesto TI es a menudo estructurado por plataforma tecnológica o por funcionalidades, tal como Windows versus UNIX, u operaciones versus gestión de aplicaciones. Esos detalles adicionales son posteriormente manejados por fuera del sistema financiero.

Así mismo, por un lado, la organización de TI necesita respetar y aplicar las reglas financieras de la organización, pero por otro lado la gestión del día a día de inversiones de TI y los costos pueden llevar a visiones específicas, reglas y actividades a desarrollarse en la organización. Por lo tanto, fuera del dominio tradicional del control de la oficina financiera, varios asuntos financieros son manejados habitualmente por el personal de TI, con un acercamiento constante pero diverso y específico requiriendo una mezcla de conocimiento en Tecnologías de Información y de habilidades financieras.

Un área ejemplo es la gestión de proyectos, muchos de los proyectos de la organización son manejados por el equipo de TI. Las reglas generales son normalmente suministradas por el departamento financiero de TI, por ejemplo, cómo clasificar y manejar costos del proyecto, o cómo determinar el retorno de la inversión. Sin embargo el nivel de detalle requerido por las políticas financieras comunes para los proyectos puede ser insuficiente para proporcionar un control completo de los costos del proyecto. Por ejemplo, puede haber la necesidad de una vista más detallada de los tipos de costos, o la necesidad de manejar actividades del recurso por medio de nóminas detalladas. Por lo tanto la organización de TI puede decidir manejar asuntos financieros con una aproximación diferente, pero respetando e interconectando con las reglas generales y prácticas financieras de la compañía.

² Director Ejecutivo, también conocido como ejecutivo delegado, jefe ejecutivo, presidente ejecutivo, principal oficial ejecutivo o con las siglas CEO (del inglés *Chief Executive Officer*), es el encargado de máxima autoridad de la gestión y dirección administrativa en una organización o institución.

Otro gran ejemplo es la evolución de la gestión de servicios de TI (ITSM)³. La Gestión de Servicios de Tecnología de la Información ayuda a asegurar el logro de los objetivos de negocios y que se genere valor otorgando a la organización de TI, como al negocio, un conjunto común de mejores prácticas y herramientas. Una de las principales metas de las actuales organizaciones de TI es suministrar servicios de TI, alineados a las necesidades del negocio, con características acordadas, niveles de calidad y a costos óptimos. Esta “Orientación al Servicio” es un gran avance en la perspectiva de TI, conduciendo a un cambio de punto de vista de muchas de las actividades tradicionales. Los beneficios de este avance son relevantes para el manejo financiero, el esfuerzo de la organización de TI y los costos de los Servicios de TI ahora son más transparentes y comprensibles para el negocio.

Aunque todo esto pueda parecer directo y simple, frecuentemente no es el caso. La definición de un presupuesto por servicios de TI es diferente y más compleja que la realización del presupuesto para las funciones de una organización. Además, la oficina financiera y el total de las actividades de la gestión financiera pueden no estar listos para asumir este cambio, esto se puede evidenciar frecuentemente en las iniciativas de ISO/IEC 20000⁴ que recomiendan la definición de un presupuesto y de la contabilidad de costos por servicio. La tradicional oficina financiera y las políticas de gestión financiera diseñadas por las empresas, los procedimientos y los sistemas, pueden no estar listos para direccionar los servicios como una dimensión requerida en la realización del presupuesto y las actividades contables.

“La Gestión de Costos de TI” con la perspectiva de servicios empieza a ser percibida como “La Gestión de Costos de Servicios de TI”. Esta perspectiva es absolutamente diferente de la tradicional, pero está llegando a ser cada vez más importante, con la mayor aceptación de las mejores

³ **ITSM Administración de Servicios de Tecnología de Información.** Es una disciplina que se utiliza ampliamente para el manejo de grandes, medianos y pequeños sistemas de tecnología de la información. ITSM está orientado hacia el cliente y el consumidor se considera un enfoque de la gestión de una amplia variedad de servicios. ITSM trata de poner la relación de consumo en primer lugar, cambiando el énfasis de una filosofía centrada en TI a una filosofía de servicio al cliente.

⁴ **ISO/IEC 20000 - Service Management** normalizada y publicada por las organizaciones ISO (International Organization for Standardization) e IEC (International Electrotechnical Commission) el 14 de Diciembre de 2005, es el estándar reconocido internacionalmente en gestión de servicios de TI (Tecnologías de la Información). La serie 20000 proviene de la adopción de la serie BS 15000 desarrollada por la entidad de normalización británica, The British Standards Institution (BSI).

prácticas de ITSM, tal como ITIL⁵, o estándares como ISO/IEC 20000.

4. GESTIÓN DE COSTOS DE SERVICIOS DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

La Gestión de Costos de Servicios de TI es un componente integral de la Gestión de Servicios. Proporciona información vital para que la gestión pueda garantizar una provisión del servicio eficiente y rentable. Una buena Gestión de Costos de Servicios de TI permite a la organización justificar todos los gastos y asignarlos directamente a servicios.

Las organizaciones de TI son cada vez más conscientes del hecho de que, en esencia, son iguales a las organizaciones orientadas al mercado. Al igual que estas últimas, las organizaciones de TI tienen que comprender y controlar los factores que afectan a la demanda. También deben hacer todo lo posible por reducir costos al tiempo que mejoran su oferta.

Si se implementa correctamente, la Gestión de Costos de Servicios de TI genera datos críticos y significativos sobre rendimiento. También puede dar respuestas a preguntas importantes para la organización, como:

- ¿Produce la estrategia de diferenciación beneficios e ingresos más altos, costos reducidos o más cobertura?
- ¿Qué servicios son los que más cuestan y por qué?
- ¿Cuáles son las principales deficiencias?

Esta gestión financiera de servicios de TI garantiza que los costos de los servicios de TI sean transparentes (por ejemplo: vía Catálogo de Servicios) y que el negocio los comprenda. Aporta las siguientes ventajas:

- Mejor capacidad de decisión.
- Rapidez de adaptación ante cambios.
- Gestión de la Cartera de Servicios.
- Conformidad y control financiero.
- Control operativo.
- Captura y creación de valor.

⁵ La Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información, frecuentemente abreviada **ITIL** (del inglés Information Technology Infrastructure Library), es un marco de trabajo de las buenas prácticas destinadas a facilitar la entrega de servicios de tecnologías de la información (TI). ITIL resume un extenso conjunto de procedimientos de gestión ideados para ayudar a las organizaciones a lograr calidad y eficiencia en las operaciones de TI.

4.1 Valoración del Servicio

¿Cómo se puede obtener información sobre el proceso de creación de valor con la ayuda de la Gestión de Costos de Servicios de TI? Con la valoración de los servicios se cuantifican, en términos financieros, los fondos que buscan el negocio y TI para la prestación de servicio, con base al valor acordado de tales servicios.

La parte más importante de la **Valoración del Servicio** consiste en determinar el valor de servicios a un nivel que el negocio considere realista. Esto permite al proveedor de servicios comprender mejor los intereses del cliente. Un objetivo adicional es mejorar la gestión de la demanda y el consumo.

El valor se calcula convirtiendo la funcionalidad y la garantía en una cifra monetaria. ITIL define dos conceptos de valor básico para la Valoración del Servicio:

- **Valor de Provisión:** Cubre los costos subyacentes reales de TI relativos a la provisión de un servicio, e incluye tanto elementos tangibles como intangibles. Son costos como:
 - Costos de licencias de hardware y software.
 - Costos anuales de mantenimiento para hardware y software.
 - Personal de soporte o mantenimiento de un servicio.
 - Pago de instalaciones.
 - Impuestos, amortizaciones e intereses.
 - Costos de conformidad.
- **Potencial del Servicio:** Componente de valor añadido, basado en la percepción de valor de servicio o en la funcionalidad y la garantía adicionales esperadas del uso del servicio, comparados con lo que el cliente pueda obtener con sus propios activos. El verdadero valor de un servicio se determina a partir de sus componentes de valor individuales. El valor eventual del servicio se calcula sumando estos componentes y comparándolos con los costos (valor de provisión). La Fig. 3 ilustra con más detalle los conceptos de valor.

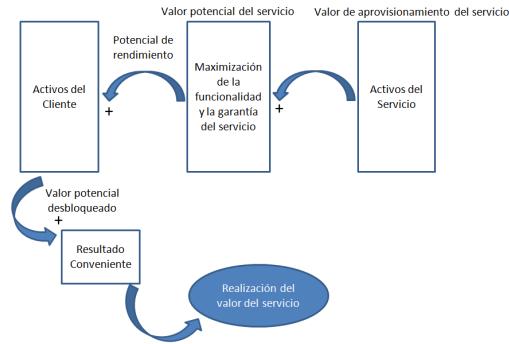


Fig. 3: Los activos del cliente son la base para la definición de valor

4.2 Modelado de la Demanda

Una inadecuada gestión de la demanda del servicio genera costos y riesgos. El Modelado de la Demanda combina información financiera orientada a servicios con factores de oferta y demanda al objeto de modelar anticipadamente el uso que hará el negocio y perfilar los requisitos de TI.

4.3 Gestión de la Cartera de Servicios

La Gestión de Costos de Servicios de TI proporciona información muy importante para la Gestión de la Cartera de Servicios. Las empresas pueden aplicar estructuras de costos a los servicios para comparar los costos de sus servicios con los de otros proveedores.

4.4 Organización de la Provisión del Servicio

La Gestión de Costos de Servicios de TI proporciona información muy importante para optimizar la provisión del servicio (Optimización de la Provisión del Servicio, SPO⁶). SPO analiza las entradas y las limitaciones financieras de los componentes del servicio, o de los modelos de provisión, al objeto de determinar si es preciso buscar alternativas en la provisión del servicio para aumentar su competitividad en calidad o costos. Este análisis financiero de los componentes del servicio, las restricciones y el valor, está en el núcleo de la interacción que tiene la Gestión de Costos de Servicios de TI con la optimización del servicio.

⁶ Optimización de la Provisión del Servicio [Service Provisioning Optimization] (SPO). Análisis de los recursos y restricciones que se tienen para un Servicio de TI para decidir si existen formas alternativas de prestar el Servicio que puedan reducir costos o mejorar la calidad.

4.5 Planificación

Uno de los objetivos de la Gestión de Costos de Servicios de TI es garantizar la financiación adecuada para la provisión y el consumo de servicios. Una planificación proporciona la traducción y cualificación financieras de la demanda prevista de Servicios de TI.

La planificación se puede dividir en tres áreas principales, cada una de las cuales representa resultados financieros que son necesarios para garantizar, de manera continuada, la visibilidad y la valoración del servicio:

- **Planificación Operativa y financiera** (contabilidad general y de activos fijos): Traducción de los gastos de TI a sistemas financieros colectivos como parte del ciclo de planificación colectiva.
- **Planificación de la demanda:** Necesidad y uso de los servicios de TI.
- **Planificación de normas y entorno** (conformidad): Controlada desde el negocio.

Una buena planificación aumenta la confianza en que los datos y modelos financieros ofrecen información precisa sobre la evolución de la oferta y la demanda de servicio.

4.6 Análisis de la inversión en el servicio

La Gestión de Costos de Servicios de TI proporciona modelos analíticos compartidos y los conocimientos necesarios para evaluar el valor y/o retorno esperado de una determinada iniciativa, solución, programa o proyecto, de una manera estándar.

El objetivo del Análisis de la Inversión en el Servicio es obtener un valor indicado de un servicio concreto a partir del (a) valor conseguido y (b) los costos incurridos en todo el Ciclo de Vida del Servicio.

4.7 Presupuesto

Se tienen varias actividades unidas al tratar de presupuestos de servicios de TI: Presupuesto anual, revisión del presupuesto, pronóstico periódico y gestión de la variación. La primera actividad está orientada a crear un presupuesto, y es típicamente realizada cada año. La segunda se orienta a revisar el presupuesto definido cuando se requiera. El pronóstico es la actividad para estimar los costos y renovarlos al final del año financiero y la gestión de la variación es la actividad que trata todas las

desviaciones identificadas del presupuesto. En conjunto, son las actividades principales de la Gestión de Costos de Servicios de TI junto con las prácticas de Contabilidad.

4.8 Contabilidad

La Gestión de Costos de Servicios de TI desempeña un rol de transición entre la Gestión del Servicio y los sistemas financieros corporativos. Una función de contabilidad orientada a servicios ofrece información mucho más detallada y comprensible de la provisión y el consumo de servicios, además de producir datos que sirven directamente al proceso de planificación.

Funciones relacionadas y propiedades de la contabilidad:

Registro de servicio: Asignación de una entrada de costo para el servicio adecuado.

Tipos de Costos: Categoría de gastos de alto nivel, como hardware, software, personal o administración. Una vez establecida la base para la administración de costos (por departamento, servicio o cliente, por ejemplo) se determinan los tipos de costos. El número de tipos de costos puede variar dependiendo del tamaño de la organización. La descripción de los tipos de costos tiene que ser clara y sencilla de entender para facilitar la asignación de costos. A continuación es posible dividir los tipos de costos en elementos de costos.

Clasificación de costos: Para garantizar un buen control de costos es importante comprender los distintos tipos de costos. Los costos se pueden dividir en varias categorías:

- **Costos de capital/operativos:**
 - Los costos de capital están relacionados con la compra de activos que generalmente duran varios años. El gasto se reparte a lo largo de los años y sólo la cantidad anotada se contabiliza como costo.
 - Los costos operativos son costos periódicos que no están compensados con activos tangibles de producción (como un contrato de mantenimiento para hardware, costos de licencias o primas de seguros).
- **Costos directos/indirectos:** Son los costos que contribuyen directa o indirectamente a un producto o servicio.

- Los costos directos que se pueden identificar específicamente y en exclusiva para un servicio de TI. Por ejemplo, actividades y materiales asociados directamente y exclusivamente a un servicio concreto (como una conexión de banda ancha).
- Los costos indirectos son aquéllos que no se pueden relacionar directamente para un servicio de TI (instalaciones, servicio de soporte, costos de administración, etc.).
- **Costos fijos/variables:** Son los costos que varían con el nivel de producción o se mantienen fijos.
 - Los costos fijos son aquéllos que no varían con cambios de producción, como las inversiones en hardware, software y edificios. Por lo general, los apuntes mensuales o anuales y los intereses se anotan como costos en lugar de costos de adquisición. Los costos fijos son continuos aunque el servicio reduzca o finalice.
 - Los costos variables son aquéllos que varían con cambios de producción, como la contratación de personal externo.
- **Unidades de costo:** Son las unidades identificadas de consumo por las que se contabiliza un cierto servicio o activo del servicio.

4.9 Dinámica de Costos Variables

La Dinámica de Costos Variables (VCD) pone foco en el análisis y entendimiento de las múltiples variables que influyen en los costos de los servicios, cómo son de sensibles tales elementos a la variabilidad, y el valor incremental relativo a los cambios que es resultante. Entre sus ventajas, el análisis VCD se puede utilizar para identificar un cambio adicional en la unidad de costo, resultante de la adición o eliminación de una o más unidades incrementales del servicio. Esto resulta de ayuda cuando se aplica a un análisis del impacto esperado de sucesos como adquisiciones, diversificaciones, cambios en la Cartera de Servicios o en las alternativas de provisión de servicios, etc.

Los siguientes son algunos ejemplos de componentes variables del costo de un servicio:

- Número y tipo de usuarios.
- Número de licencias de software.
- Costos estructurales del centro de datos.

- Mecanismos de entrega.
- Número y tipos de recursos.
- Costo de añadir un elemento de almacenamiento adicional.
- Costo de añadir una licencia de usuario adicional.

4.10 Actividades, métodos y técnicas

4.10.1 Valoración del Servicio

Durante las actividades de Valoración del Servicio hay que tomar las siguientes decisiones:

- **Costos directos o indirectos:** ¿Es posible atribuir los costos directamente a un servicio concreto, o se reparten entre varios servicios (costos indirectos)? Una vez se ha identificado adecuadamente la profundidad y envergadura de los componentes de costo, puede ser necesarias políticas y reglas para indicar cómo se deben repartir los costos entre varios servicios.
- **Costos de mano de obra:** Se debe desarrollar un sistema para calcular los costos salariales de un determinado servicio.
- **Costos Variables:** Incluyendo gastos que no están fijados y que varían dependiendo de factores como el número de usuarios o el número de instancias que se producen. Para predecir costos variables se pueden utilizar:
 - Niveles: Identificando niveles de precios con los que se anima a los clientes a adquirir un volumen específico que es eficiente para el cliente y el proveedor.
 - Costo máximo: Determinando el costo de un servicio con base al nivel máximo de variabilidad.
 - Costo medio: Implica un establecimiento del costo con base a un valor histórico promedio de la variabilidad.
- **Traducción de datos de contabilidad de costos en valor de servicio:** Esto sólo es posible cuando los costos están vinculados a servicios en lugar de, o adicionalmente a, la clásica contabilidad de costos.

Una vez establecido los costos fijos y variables de cada servicio, hay que considerar cuáles son los factores de costo variable y el nivel de variación de un servicio.

4.10.2 Alternativas de modelos de financiación

Entre los modelos tradicionales para financiar servicios de TI podemos encontrar:

- **Plan renovable:** Ciclo de financiación constante. Apropiado para un ciclo de vida del servicio en el que la necesidad de financiación comienza al principio de un ciclo y continúa hasta que hay algún cambio o finaliza el Ciclo de Vida.
- **Plan con disparadores:** Planes activados por disparadores en caso de producirse un evento concreto. Por ejemplo, el proceso de Gestión de Cambios puede ser el disparador de un proceso de planificación para todos los cambios aprobados que tienen consecuencias financieras.
- **Financiación de base cero:** Financiando sólo los costos reales de provisión de un servicio de TI.

4.10.3 Análisis de Impacto sobre el Negocio

Un Análisis del Impacto sobre el Negocio (BIA) busca identificar los servicios de negocio más críticos de una organización mediante un análisis de la severidad de caída del servicio, traducido en valor financiero y acompañado de riesgos operativos.

Esta información puede ayudar a mejorar el rendimiento operativo, ya que facilita una mejor toma de decisiones sobre la priorización de la Gestión de Incidencias⁷, el foco de la Gestión de Problemas⁸, las operaciones de Gestión de Cambios⁹ y Gestión de Entregas¹⁰, la prioridad de proyectos, etc. El Análisis de Impacto sobre el Negocio es una herramienta beneficiosa que permite identificar los costos de fallo de un servicio y el valor relativo de un servicio.

El costo de caída de un servicio es un valor financiero sobre un servicio específico, que se plantea para reflejar el valor de la pérdida de productividad y de ingresos durante un período de tiempo determinado.

4.11 Carga de Costos

El objetivo de la Carga de Costos es cargar a los clientes el valor de los Servicios de TI de acuerdo a los términos y condiciones acordadas.

Los términos y condiciones acordadas para cargar influyen considerablemente la actividad de carga. La activación de esta actividad está relacionada al cierre periódico si las condiciones están a costos reales. Si no, esta activación se programa generalmente periódicamente (ejemplo, al final de cada mes) o está relacionado con los acuerdos con los clientes. Las salidas y documentación producida por la actividad dependen del tipo de carga (transferencia por mecanismo de precio establecido, cargo por conceptos, precio de mercado con facturas). La actividad principal descrita requiere de la producción de documentación y registros de cargos para apoyarse. Otras actividades que siguen a esta actividad pueden incluir el recibo de pagos y la gerencia de créditos. Estas son normalmente parte de la Gestión de Costos de Servicios de TI únicamente para organizaciones proveedoras de Servicios de TI externos.

5. CONCLUSIONES

Las organizaciones son cada vez más dependientes de la Tecnología de Información para soportar y mejorar los procesos de negocio requeridos. Al mismo tiempo las expectativas por la calidad, innovación y valor de TI continúan incrementándose. Esto hace imperativo que las organizaciones de TI tomen un enfoque orientado al negocio y al servicio en lugar de un enfoque centrado en la tecnología.

Pero más allá de la importancia de TI en la organización, la competitividad y las presiones económicas se ven reflejadas en presiones para en lo posible disminuir el presupuesto de TI.

Por lo anterior, se hace necesario evaluar y controlar los costos asociados a los servicios TI de forma que se ofrezca un servicio de calidad a los clientes con un uso eficiente de los recursos TI necesarios. Si la organización de TI y/o sus clientes no son conscientes de los costos asociados a los servicios no podrán evaluar el retorno a la inversión ni podrán establecer planes consistentes de inversión tecnológica.

⁷ **Gestión de Incidencias.** Proceso responsable de la gestión del Ciclo de vida de todos los Incidentes. El objetivo primario de la Gestión de Incidencias es recuperar el Servicio de TI para los Usuarios lo antes posible.

⁸ **Gestión de Problemas.** Es el Proceso responsable de la gestión del Ciclo de Vida de todos los Problemas. El principal objetivo de la Gestión de Problemas es la prevención de incidentes, al igual que la reducción del impacto de aquellos incidentes que no haya sido posible prevenir.

⁹ **Gestión de Cambios.** Proceso responsable del control del Ciclo de Vida de los cambios. El objetivo primario de Gestión del Cambio es permitir la ejecución de los cambios a realizar, con la mínima afectación a los Servicios de TI.

¹⁰ **Gestión de Entrega.** Cubre los procesos necesarios para la planeación y entrega de la calidad de los servicios de TI.

La Gestión de Costos de Servicios de TI surge como una alternativa para gestionar los requerimientos de Presupuesto, Contabilidad y Cargos de las Organizaciones de TI que proveen Servicios de TI, y así poder reducir los costos y aumentar la rentabilidad de los servicios, planificar mejor sus inversiones al conocer los costos reales de los servicios TI y las organizaciones de TI funcionarían como unidades de negocio a las cuales se les podría evaluar claramente su rendimiento global.

REFERENCIAS

- Sottini, Maxime. (2009). *IT Financial Management: Best Practice*. Van Haren Publishing. Holanda. Marzo, 2009.
- Van Bon, J. y Otros. (2008). *Estrategia del Servicio basada en ITIL V3*. Van Haren Publishing. Holanda. Septiembre, 2008.
- Brynjolfsson, E. (1998). *Beyond the Productivity Paradox*, Communications of the ACM.
- van Bon, J. y Otros. (2008). *Transición del Servicio basada en ITIL V3*. Van Haren Publishing. Holanda. Septiembre, 2008.
- Hitt, L., Wu, D. and Zhou, X. (2002). "ERP Invesment and Productivity Measures", Journal of Management Information Systems, (19).
- Van Bon, J. y Otros. (2008). *Foundations of IT Service Management Based on ITIL V3*. Van Haren Publishing. Holanda. Diciembre, 2007.
- Office of Government Commerce (OGC). (2007). "Service Strategy". TSO (The Stationery Office). United Kingdom. 2007.
- Lanen, N. and Anderson, S. W. and Maher M. W. (2008). *Fundamentals of cost accounting*, McGraw-Hill/Irwin.
- ITIL® Glossary v01, 1 May 2006: Acronyms.

Recibido: 25 de marzo de 2010
Aceptado: 08 de junio de 2010**CONTROL OF TELEOPERATION SYSTEMS WITH DELAY IN THE
COMMUNICATION CHANNEL****CONTROL DE SISTEMAS DE TELEOPERACIÓN CON RETARDO EN EL
CANAL DE COMUNICACIONES**

MSc. Pedro Cárdenas*, PhD. César Augusto Peña Cortez***,
PhD. Eugenio Yime Rodríguez******

***Universidad Nacional de Colombia**, Bogotá, Colombia.

Cra. 30 No. 45-03, Edificio 453; E-mail: pfcardenash@unal.edu.co.

****Universidad Politécnica de Madrid**, Madrid, España.

Calle José Gutiérrez Abascal 2, 28006.

*****Universidad de Pamplona**, Pamplona, Colombia.

Ciudadela Universitaria, E-mail: cesarapc@unipamplona.edu.co.

******Universidad del Atlántico**, Barranquilla, Colombia.

Km 7, Ant. via Pto. Colombia; E-mail: eyime@uniatlantico.edu.co.

Abstract: This paper presents a study of a teleoperation system with time delays in the communication channel, using several control techniques in order to confirm the most suitable. It explains the main advantages and disadvantages of techniques applied. It illustrates and analyzes the result set of several simulations varying the control parameters and introduced the delay in the canal communication.

Keywords: Teleoperation, Time Delay, Telerobotics.

Resumen: Este artículo presenta un estudio sobre un sistema de teleoperación con retardos en el canal de comunicaciones, utilizando diversas técnicas de control con fin corroborar la de mejor desempeño. Se explican las principales ventajas y desventajas de las técnicas aplicadas. Se ilustran y analizan los resultados de diversas simulaciones variando los parámetros de control e introduciendo retardo en el canal de comunicación.

Palabras clave: Teleoperación, Retardo de Tiempo, Telerobótica.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de teleoperación hoy en día juegan un papel crucial en el campo de robótica. El continuo y acelerado desarrollo de robots espaciales, robots submarinos, robots con aplicaciones médicas tales como el Da Vinci o robots encargados de realizar tareas en lugares que pueden ser perjudiciales para los humanos lo demuestra.

Uno de los principales retos que surgen en el diseño de sistemas de teleoperación es el retardo en la comunicación por esta razón en este artículo se

realiza un estudio comparativo de la aplicación de diversas técnicas de control, tales como el esquema fuerza posición, esquemas basados en modelos energéticos y variables de onda con el fin de evaluar la más idónea para un caso en particular. En (Hokayem y Spong 2006) se puede encontrar un estado del arte de las técnicas de teleoperación más representativas.

Las técnicas utilizadas en este trabajo son implementadas a nivel articular de tal forma que el control se realiza entre cada par de articulaciones maestro-esclavo originando un sistema desacoplado.

do. Por esta razón estas técnicas pueden ser aplicadas a cualquier sistema de teleoperación cuyos robots maestros y esclavos posean cinematicas homotéticas.

2. GENERALIDADES DE UN SISTEMA TELEOPERADO

Un sistema telemánipulado está compuesto por un robot maestro, un robot esclavo y un canal de comunicaciones y algunos dispositivos de realimentación (opcionalmente), ver Figura 1. El robot maestro funciona como dispositivo de entrada al captar la posición y/o la fuerza señalada por el operador. Este a su vez permite actuar como dispositivo de realimentación en caso el que refleje fuerzas al operador con el fin de emular el entorno remoto. Adicionalmente junto al robot maestro se suelen utilizar otros dispositivos de realimentación tales como pantallas, dispositivos de reflexión táctil, dispositivos de audio, etc. El robot esclavo es el dispositivo teleoperado que realiza las tareas en el entorno remoto. Este robot contiene una serie de sensores que le permiten captar la información relevante del entorno remoto y así enviarla al operador en la zona local.

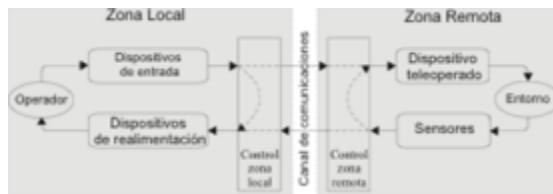


Fig. 1: Elementos básicos de un sistema de teleoperación

La descripción dinámica del maestro se observa en la ecuación (1) y la del esclavo en la ecuación (2).

$$M_m \ddot{x}_m(t) + B_m \dot{x}_m(t) + K_h x_m(t) = -K_f f_{op} + f_{md} \quad (1)$$

$$M_s \ddot{x}_s(t) + B_s \dot{x}_s(t) = f_s(t) \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) se deduce que es un esquema de control fuerza posición, donde la interacción entre el maestro y el esclavo está regida por la ecuación.

$$\begin{aligned} f_s(t) &= K_h(x_m - x_s) \\ \tau_m(t) &= K_f f_s \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

- M_m y M_s corresponden a la masa asociada a cada dispositivo.

- B_m y B_s corresponden a los factores de amortiguamiento de cada dispositivo.
- K_h representa el modelo del operador. Operador rígido.
- K_f Representa el modelo del entorno. Entorno rígido.

Un ejemplo con valores dentro de los rangos típicos de un sistema de teleoperación (tanto del maestro como del esclavo), puede ser el descrito en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del modelo del sistema dinámico

Maestro		Esclavo	
M_m	1	M_m	1
B_m	20	B_m	20
K_m	1	K_f	100
K_h	100		

En la Figura 2 se ilustra esquema de control bilateral fuerza-SRVFly. Sus primeras investigaciones se realizaron en los años 60 por Carl Flautau del Brookhaven National Laboratory. En este esquema el esclavo posee un lazo de control que toma como referencia tanto la SRVFly del maestro como la del esclavo, sin embargo el lazo de control maestro toma como referencia la fuerza proveniente del sensor en el eje del esclavo. Generalmente esta fuerza es atenuada para mantener o mejorar la estabilidad del conjunto.

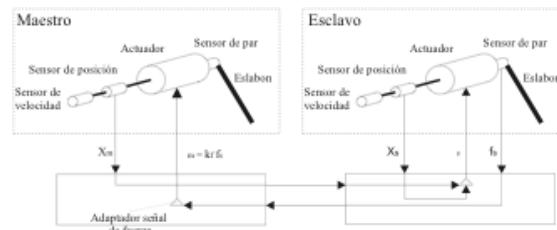


Fig. 2: Esquema de control bilateral fuerza-posición

En la figura 3 se representa gráficamente el esquema de control fuerza posición de sistema telerobótico descrito (1), (2) y (3), se hace uso de Simulink de Matlab.

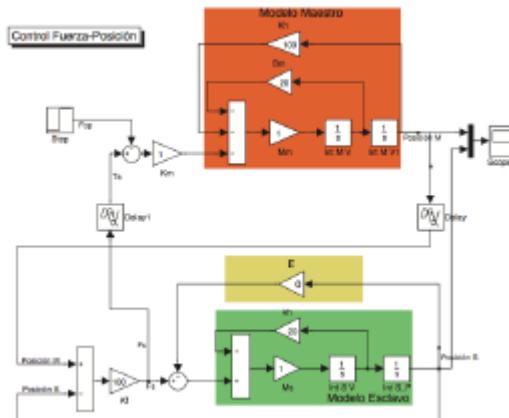


Fig. 3: Modelo maestro-esclavo en configuración fuerza posición

Los sistemas teleoperados reciben comandos provenientes de un operador humano el cual realiza tareas en una zona local originando que estas tareas se reproduzcan en un entorno remoto, por lo cual es preciso el envío de información del estado del robot ubicado en la zona remota y su entorno nuevamente al operador para cerrar el lazo de control del sistema teleoperado.

La zona local es donde se ubica el operador humano, quien controla la ejecución de las tareas de la zona remota. Esta zona dispone de un dispositivo de entrada, que le permite al operador describir o controlar las tareas o acciones de la zona remota. El dispositivo de entrada también debe permitir reflejar la información proveniente de la zona remota tal como la fuerza de interacción con el entorno y/o la posición, etc.

La información es enviada a través de canal de comunicación. Desde la zona local se transmiten comandos hacia la zona remota y la información de realimentación desde la zona remota a la zona local. El canal de comunicación puede ser modelado con o sin retardo, en el caso de utilizar retardo la estabilidad global del sistema se ve afectada (Hirche, 2006).

La zona remota está conformada por el dispositivo de salida (robot manipulador) y los sensores. El robot es el encargado de realizar la tarea y es controlado por el operador. Los sensores permiten conocer el estado del esclavo, del entorno y de la tarea realizada, con el fin de controlar el manipulador y brindar dicha información a la zona local para su respectivo control del robot maestro.

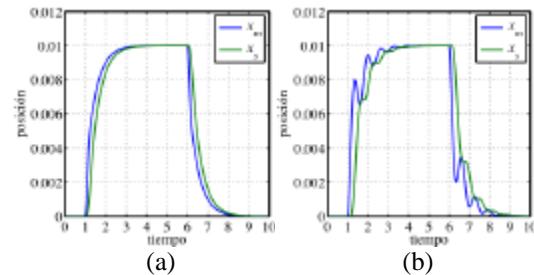


Fig. 4: Modelo del Maestro-Esclavo en configuración fuerza posición. (a) Respuesta de posición sin retardo. (b) Modelo del Maestro-Esclavo en configuración fuerza posición.

Con el objetivo de lograr un funcionamiento adecuado de los sistemas de teleoperación y mantener las condiciones de estabilidad del sistema varios autores han implementado diferentes esquemas de control como los que se muestra en (Hokayem y Spong, 2006).

Esquemas como reflexión de fuerzas (*Force Reflection*) se pueden observar en (Eusebi y Melchiorri, 1998) y (Kim, 1990). Técnicas basadas en la convergencia de estados como es el caso de (Azorin et al., 2007), (Barrio et al., 2006) y (Hirche et al., 2006). Técnicas de control que garantizan la estabilidad bajo condiciones de retardo en el canal de comunicaciones en (Nuño E. 2008).

Para este análisis se toma un par de articulaciones, una del dispositivo maestro y otra el manipulador esclavo (un grado de libertad). En el esquema de control tradicional de reflexión de fuerza (RF), el esclavo contiene un lazo de control de posición, que toma como referencia la posición del maestro.

El objetivo del control por RF, es lograr que la posición del esclavo sea controlada por la fuerza ejercida por operador en el dispositivo maestro. La interacción con el entorno remoto se ve afectada por el error de la posición entre el maestro (deseada) y la lograda por el esclavo que interactúa con el entorno.

La fuerza ejercida por el manipulador al entorno o viceversa, depende del error de posición. Esta información es enviada al maestro, quien refleja la fuerza al operador en lazo abierto, como se observa en la figura (3).

Las variables transmitidas a través del canal de comunicación, que se han supuesto sin retardo, son la posición del maestro x_m (enviada), y la fuerza de interacción con el esclavo f_s (reflejada). Se aplica una señal de fuerza al modelo en $t=1s$. La respuesta

del esquema de control bilateral fuerza posición sin retardo se aprecia en la figura 4(a). Se observa como el esclavo sigue la posición dada como referencia por el maestro con un pequeño retardo. A los 4s se llega a un estado estable, y el esclavo llega a la posición deseada con un error despreciable.

En la figura 4(b) se aprecia la respuesta del sistema de teleoperación cuando se incluye un retardo de $T=100\text{ms}$ en el canal de comunicaciones. Durante el transitorio se observan pequeñas oscilaciones tanto en la posición del maestro como del esclavo, el retardo en el seguimiento de la posición del maestro ha aumentado. Sin embargo luego del transitorio se logra la misma posición en los dos dispositivos.

Debe tenerse presente que incrementos muy altos del retardo en la comunicación ocasiona la inestabilidad del sistema como se vera más adelante. En estos casos se suele utilizar técnicas de control supervisado para evitar dichas inestabilidades (Sheridan 1992).

2. MODELO ENERGÉTICO DEL SISTEMA TELEOPERADO

La inclusión de retardos en el canal de comunicación puede ocasionar inestabilidad en los sistemas de teleoperación (Hirche et. al., 2006). La inestabilidad ocasiona oscilaciones cuando el esclavo se encuentra en contacto con superficies del entorno remoto. Por tal motivo se propone obtener un modelo de teleoperación donde la información que se envía y se refleja este asociada a fenómenos físicos, como en el caso de los circuitos eléctricos con el voltaje, la corriente y la potencia. Esto se logra a través de la teoría de modelos de dos puertos, donde se usan dos variables a cada lado de la red logrando hacer una representación del sistema. El esquema del modelo híbrido de dos canales se observa en la figura 5. En la figura se observa que es necesario reflejar la impedancia de entrada al sistema y la impedancia de salida. El modelo híbrido permite relacionar variables de flujo y de esfuerzo.

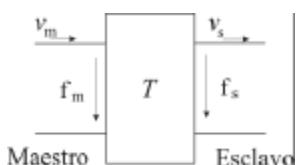


Fig. 5: Modelo de teleoperación Híbrido

En el modelo energético de teleoperación, es necesario tener la información que se envía a través del canal de comunicaciones en términos de variables de flujo y esfuerzo. Por consiguiente se modifica el sistema de teleoperación dado en la figura 3.

En la zona local se envía la velocidad del dispositivo de entrada y se refleja la fuerza de interacción del entorno remoto. En la zona remota se recibe la velocidad del maestro y se refleja la fuerza de interacción del esclavo con el entorno. La información trasmisida a través del canal puede verse como la "energía mecánica del sistema". Por consiguiente la información que se envía por el canal de comunicaciones es directamente transmitida, sin ningún tipo de procesado como se aprecia en (4).

$$\begin{aligned}\tau_m(t) &= f_s(t-T) \\ v_s(t) &= v_m(t-T)\end{aligned}\quad (4)$$

En el caso de modelar los retardos (de por si inevitables en las comunicaciones) se originaria inestabilidad, la cual es debida a que en cualquier instante de tiempo las variables de energía (fuerza y velocidad) en ambos puertos del canal de comunicaciones no son físicamente consistentes, porque se refieren a fenómenos físicos en instantes de tiempo distintos.

Por consiguiente la energía que está presente en la entrada del canal (zona local) no es la misma energía que está presente en la salida (zona remota) en el mismo tiempo, haciendo que el canal almacene energía, y según la teoría de pasividad hace al sistema inestable.

En la figura 6 se observa el resultado de los ajustes realizados al modelo, para obtener un modelo energético del sistema, pero sin corregir los problemas de estabilidad ocasionados por el retraso en las comunicaciones.

En la figura 7 se observa la respuesta del sistema teleoperado para diferentes condiciones de retardo. Se presentan los resultados de la simulación con y sin retardo cuando se utiliza el modelo energético de sistemas de teleoperación.

En la figura 7(a) y 7(b) se observa la respuestas del sistema con retardo $T=0$. La posición del esclavo presenta un error en estado estacionario mientras la fuerza del maestro y del esclavo son las mismas.

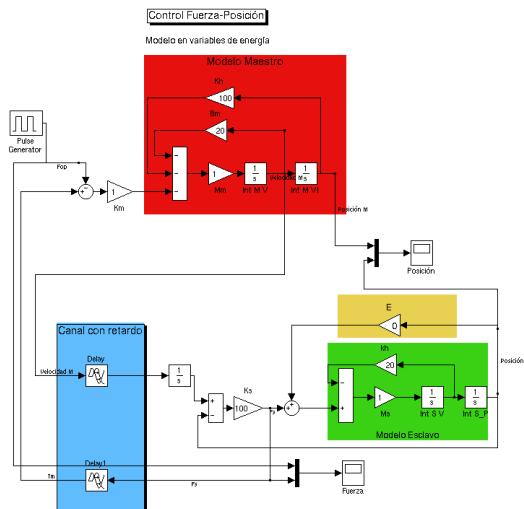


Fig.6: Modelo de teleoperación con variables de energía y retardo en el canal de comunicación

En la figura 7(c) y 7(d) se observa la respuesta de la simulación del sistema cuando el canal de comunicación tiene un retardo de $T=100\text{ms}$. La posición del maestro y el esclavo presentan oscilaciones adicionales durante el transitorio. En estado estable el error de posición es cero. De igual forma la fuerza tanto de maestro como la del esclavo se encuentran superpuestas, pero presentan oscilaciones, aumentando el tiempo de establecimiento.

En la figura 7(e) y 7(f) se observa la respuesta de la simulación del sistema cuando el canal de comunicación cuando tiene un retardo de $T=2\text{s}$. La posición del esclavo esta retrasada de la posición deseada por el maestro, y luego de 3 segundos el esclavo logra llegar a la posición de referencia, nuevamente a los 6 segundos, existe otro cambio en la posición del maestro donde se aprecia el retardo en el esclavo.

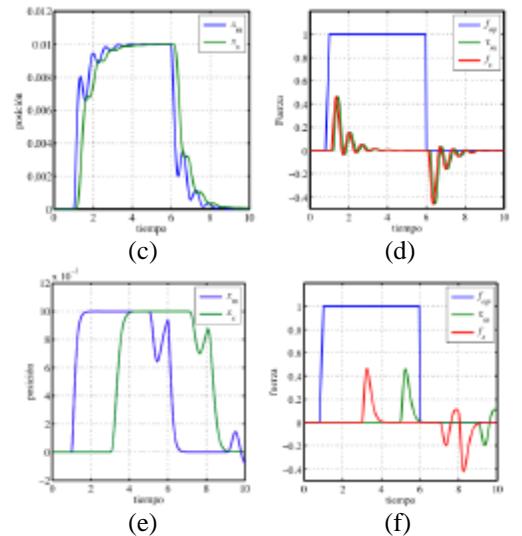
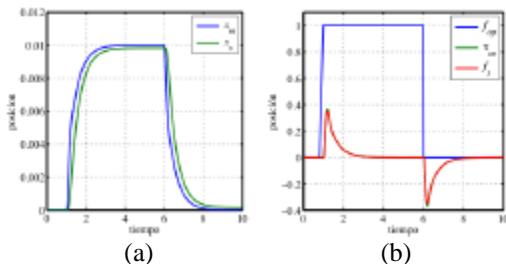


Fig. 7: Modelo energético del Maestro-Esclavo.
 (a) Respuesta de posición sin retardo. (b) Respuesta de fuerza sin retardo. (c) Respuesta de posición con retardo de 100ms. (d) Respuesta de fuerza con retardo de 100ms. (e) Respuesta de posición con retardo de 2s. (f) Respuesta de fuerza con retardo de 2s.

La fuerza aplicada por el operador al dispositivo de entrada tarda 2 segundos en llegar al esclavo. La fuerza de interacción del esclavo con el entorno tarda dos segundos en ser reflejada al maestro. El tiempo total desde que el operador realiza una acción y percibe la reacción dada por la interacción del esclavo con el entorno remoto es de 4 segundos. El retraso en la comunicación ocasiona acciones correctivas por parte del operador que no son debidas a la ejecución de la tarea en el entorno remoto, y que por el contrario inducen oscilaciones en el sistema de teleoperación ocasionando la saturación del canal de comunicaciones.

3. MODELO BASADO EN VARIABLES DE ONDA

Es necesario garantizar la estabilidad del sistema de teleoperación y dado que la inestabilidad depende en gran medida de las características energéticas del canal de comunicación. Es necesario introducir el concepto de pasividad para garantizar la estabilidad del canal de comunicación y por ende la estabilidad global del sistema. Por lo tanto, el modelo energético de dos puertos no se comporta como un sistema pasivo y puede originar inestabilidades en el sistema global (Lee y Spong, 2006).

Al introducir la matriz de scattering, ésta permite conectar las variables de flujo y esfuerzo presentes en los extremos del puerto, como se observa en la figura 8. La matriz de scattering permite transformar las variables energéticas (f y v) en variables de onda. La transformación de variables energéticas en variables de onda se define en (5) y (6). De esta forma las variables de onda son transmitidas por el canal de comunicaciones en lugar de las variables de energía.

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{2}b}(f_m + b v_m) \quad u_s = \frac{1}{\sqrt{2}b}(f_s - b v_s) \quad (5)$$

$$w_m = \frac{1}{\sqrt{2}b}(f_m - b v_m) \quad w_s = \frac{1}{\sqrt{2}b}(f_s + b v_s) \quad (6)$$

u_m , u_s son las ondas de entrada y w_m , w_s la onda de salida. b es la impedancia característica del canal de comunicaciones. En términos de variables de onda, la pasividad basada en el canal de comunicaciones se describe en la ecuación (7). La transformación incluyendo el retardo se puede observar en la figura 8(a).

$$\tau_m(t) = bv_m(t) + \sqrt{2b}w_s(t) \quad (7)$$

$$v_s(t) = -\frac{1}{b}[f_s(t) - \sqrt{2b}u_s(t)] \quad (8)$$

Dado que se modifica la impedancia de entrada y de salida del canal, es necesario acoplar dichas impedancias. Por esta razón se utiliza la impedancia característica B , del canal de transmisión libre de perdidas. En la ecuación (9) se describe la transformación.

$$v_m^*(t) = v_m(t) - \frac{1}{b}\tau_m \quad (9)$$

$$f_s^*(t) = f_s(t) + b v_s(t) \quad (10)$$

En la figura 8 se aprecia el esquema de transformación de las variables energéticas a las variables de onda. En la figura 8(a) se observa el modelo de adecuación sin compensación y en la figura 8(b) se realiza la compensación de la impedancia del sistema. El valor del parámetro b se asigna a prueba y error, de hay la dificultad para la adecuación y transformación de las señales energéticas en variables de onda.

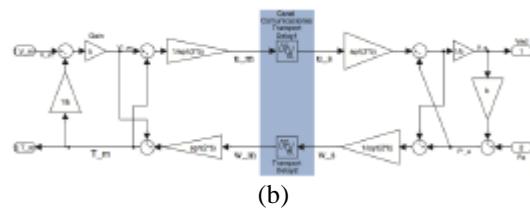
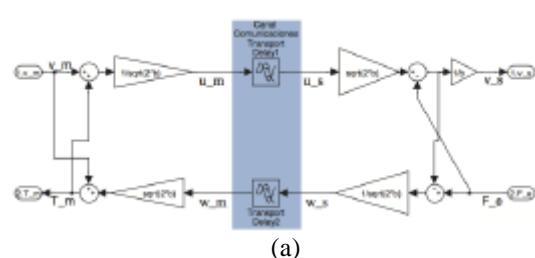


Fig. 8: Canal de comunicaciones basado en pasividad. (a) Sin compensación de impedancia.
(b) Con compensación de impedancia.

En la figura 9 se presenta el esquema del sistema teleoperado con canal de comunicación pasivo y con adaptación de impedancia. El bloque canal pasivo dentro la figura 9 es un canal de comunicación donde se transforman las variables energéticas a variables de onda, con adaptación de impedancias y corresponde con el esquema de la figura 8(b).

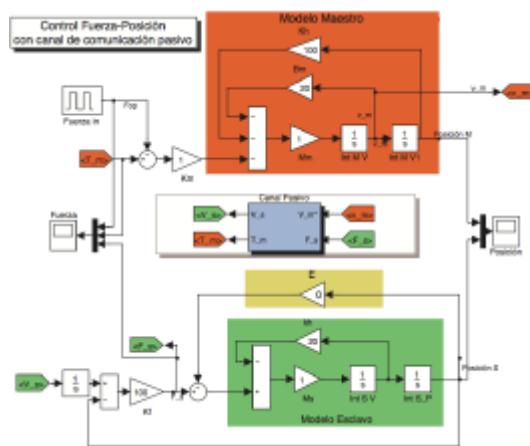


Fig. 9: Modelo del sistema de teleoperación con variables de onda

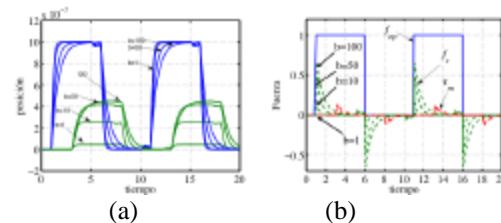


Fig. 10: Respuesta de sistema teleoperado ante variaciones de b . (a) Respuesta de posición con retardo de 2s. (b) Respuesta de fuerza con retardo de 2s.

La inserción de elementos de transformación modifica la red utilizada para controlar los dispositivos maestro y esclavo, aunque estén descritos en términos de variables de onda o variables energéticas. En especial se modifica las

características de estabilidad y transparencia. La transparencia se obtiene cuando las sensaciones que el operador percive (por medio del maestro) son las mismas, como si él estuviera presente en el entorno remoto. La transparencia se logra si las propiedades mecánicas del entorno remoto son reflejadas exactamente al operador. Las propiedades mecánicas de un entorno pueden ser representadas por su impedancia mecánica Z , que relaciona la velocidad (v) de contacto con la fuerza (f) de interacción con el entorno, mediante:

$$f = Zv \quad (11)$$

En la figura 11 se aprecian los resultados de posición del maestro y del esclavo, la fuerza de entrada, la realizada por el esclavo y la reflejada al maestro. En la figura 10 se observa la respuesta de posición y fuerza para diferentes valores de b .

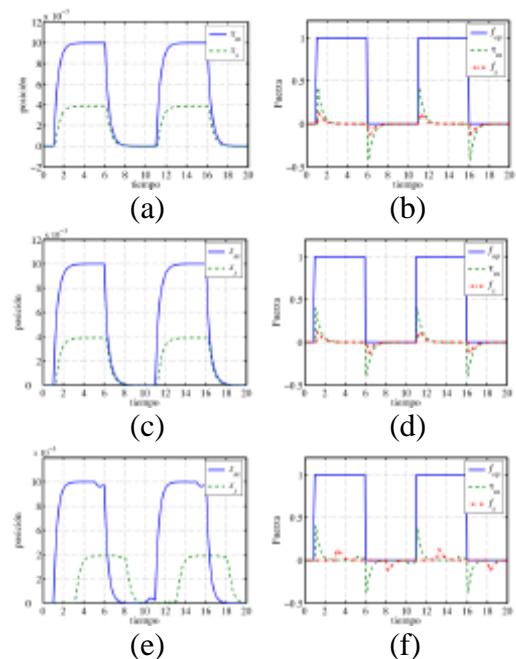


Fig. 11: Respuestas dinámica del sistema de teleoperación, con transmisión de variables de onda. (a) Respuesta de posición sin retardo. (b) Respuesta de fuerza sin retardo. (c) Respuesta de posición con retardo de 100ms. (d) Respuesta de fuerza con retardo de 100ms. (e) Respuesta de posición con retardo de 2s. (f) Respuesta de fuerza con retardo de 2s.

A medida que se disminuye b la respuesta de posición en el esclavo es mucho menor incrementándose el error en estado estacionario. Si se aumenta b se llega a un valor máximo de

respuesta en la posición de esclavo, pero la respuesta de posición del esclavo se hace más lenta, por consiguiente la reflexión de fuerza al maestro.

Para las simulaciones realizadas donde se varía el retardo y se observa la estabilidad de la respuesta de posición y fuerza, se toma el acople de impedancias, igual a $b=35$. En las figuras 11(a), 11(c) y 11(e) se observa la respuesta de posición del maestro y el esclavo, con retardos de $T=0$, 100 ms, 2 s respectivamente. En ninguna de las respuestas de posición se observa oscilaciones, aunque se realice el incremento del retardo en la comunicación, en todas las respuestas se observa un error de estado estacionario.

En las figuras 11(b), 11(d) y 11(f) se observa las fuerzas de interacción del sistema teleoperado. En ninguna de las figuras se observan oscilaciones, aunque se realice el incremento del retardo en la transmisión de la información por el canal de comunicaciones.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizaron diferentes simulaciones de un sistema teleoperado propuesto, bajo diferentes esquemas de control con el fin de analizar las ventajas y desventajas de los mismos.

El esquema de control fuerza posición, aunque es muy sencillo de aplicar tiene la desventaja de que se pueden presentar oscilaciones y por ende inestabilidad cuando existen retardos en el canal de comunicaciones. Por esta razón obligatoriamente se deben realizar análisis de estabilidad pertinentes (referenciados previamente).

De igual forma los sistemas teleoperados basados en modelos energéticos pueden llegar a presentar inestabilidad según el retardo en las comunicaciones. Sin embargo al combinar los modelos energéticos con la transformación de scattering que permite convertir las variables energéticas en variables de ondas se logran sistemas estables.

La principal dificultad que presenta el modelo basado en variables de onda es la asignación a prueba y error de la impedancia del canal de comunicaciones, lo que afecta directamente la transparencia del sistema teleoperado.

REFERENCIAS

- Hokayem P. F. y Spong M. W., (2006). , “*Bilateral teleoperation: An historical survey*” Automatica, Elsevier, Scieduredirect, vol. 42, no. 12, pp. 2035–2057, [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/automatica
- Eusebiand L. y Melchiorri C, (1998) “*Force reflecting telemanipulators with time - delay: stability analysis and control design,*” Robotics and Automation, IEEE Transactions on, vol. 14, no. 4, pp. 635–640.
- Azorin J. M., Aracil R., Nicolas M. y Perez C., (2007) “Teleoperation Systems Through State Convergence”, Libro Advances in telerobotics, Volumen 31, pp. 271-288.
- Barrio J., Azorin J. M., Aracil, R, Ferre M., Sabater J. M. y Garcia N. M., (2006) “Experimental bilateral control by state convergence,” Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on, pp. 1127–1132.
- Nuño E. (2008), “*Nonlinear Bilateral Control of Teleoperators with Transmission Time-Delay*”. Tesis PhD. Universidad Politécnica de Cataluña.
- W. Kim, (1990) “Shared compliant control: a stability analysis and experiments,” Systems, Man and Cybernetics. Conference Proceedings., IEEE International Conference on, pp. 620–623.
- T. B. Sheridan (1992) “Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control”. MIT Press, Cambridge.
- Hirche S., Ferre M., Barrio J. and Melchiorri C.,(2006) *Bilateral control architectures for telerobotics*. Springer.
- Lee D. y Spong M., (2006) “*Passive bilateral teleoperation with constant time delay*” Robotics, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 22, no. 2, pp. 269–281.

Recibido: 02 de febrero de 2010
Aceptado: 05 de mayo de 2010**MULTISKILLED WORKFORCE SCHEDULING FOR BUSINESS WITH
VARIABLE DEMAND USING THE GRASP ALGORITHM****ALGORITMO GRASP PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN
DE HORARIOS EN EMPRESAS DE DEMANDA VARIABLE**

**Ing. David Álvarez Martínez, MSc. Eliana Mirledy Toro Ocampo
PhD. Ramón Alfonso Gallego Rendón**

Universidad Tecnológica de Pereira
Vereda La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia
Tel.: 57-6-3137122, Fax: 57-6-3137122
E-mail: {davidalv, elianam, ragr}@utp.edu.co

Abstract: We solved the multiskilled workforce scheduling problem for companies of goods or services. The mathematical model is solved using the GRASP algorithm, in the local search phase it uses the method of variable neighborhood search. The methodology is verified through test cases, especially generated for rostering problem. The presented results have very good quality.

Keywords: MultiSkilled Workforce Scheduling, GRASP, rostering, variable neighborhood search.

Resumen: En este artículo se resuelve el problema de asignación de horarios de personal en organizaciones tanto de producción de bienes como de prestación de servicios donde los cargos son polifuncionales. El modelo matemático es resuelto usando el algoritmo GRASP, en la etapa de búsqueda local se usa el método de búsqueda en vecindario variable. La metodología presentada es corroborada a través de casos de prueba, especialmente generados para el problema de *rostering*. Los resultados obtenidos son de muy buena calidad.

Palabras clave: Programación de personal polifuncional, GRASP, rostering, búsqueda en vecindario variable.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de asignación de horarios donde los cargos son polifuncionales, está presente en una gran variedad de organizaciones tanto de producción de bienes como de servicios, este problema se denomina asignación horaria de empleados multifuncionales del inglés (*MultiSkilled Workforce Scheduling*), MSWS.

En general el problema de asignación de personal requiere una solución donde se indique claramente las labores a realizar, horarios, y días en que se

requiere de los servicios de cada empleado. Las condiciones para cada situación específica difieren entre compañías y países debido a las condiciones de contratación cada organización.

El objetivo fundamental es minimizar los costos de contratación, pero teniendo en cuenta algunas condiciones mínimas como son la atención de la demanda de forma oportuna y el eficiente cumplimiento de las proyecciones de venta a los usuarios finales. En este modelo se respeta la legislación laboral del sitio geográfico donde se esté desarrollando la actividad.

Este problema es considerado NP-Hard, por tanto se justifica el hecho de que la gran mayoría de investigadores que han abordado el problema lo han hecho a través de técnicas heurísticas y metaheurísticas. Es así como Pradenas *et al.*, 2008 resuelve el problema de asignación de supervisores forestales usando búsqueda tabú.

Diego Martín *et al.*, 2008 plantean un modelo lineal entero para asignación de turnos de personal de aerolíneas, en este modelo se descompone el problema en varios subproblemas y se resuelve mediante una técnica exacta de optimización matemática.

Ojeda *et al.*, 2009 plantean un modelo lineal para asignación al relajar el modelo se evidencia la agrupación del personal en turnos. El modelo es descompuesto en dos problemas: uno de operación y otro de inversión. El primero resuelto mediante un problema lineal (PL), el segundo usando un Algoritmo Genético (AG). El resultado entregado por el AG sirve de estructura para el PL. La solución del PL mide la calidad de la alternativa estudiada.

En este artículo se resolverá el problema de asignación de horarios en cadenas de restaurantes usando el algoritmo GRASP. El problema es descompuesto en operación e inversión, el primero es resuelto mediante operaciones aritméticas y el segundo usando el método propuesto. La secuencia de presentación del documento es la siguiente: en la siguiente sección se plantea el modelo matemático del problema bajo estudio, en la sección 3 se presenta la codificación y técnica de solución, en la sección 4 se hace un análisis de resultados y finalmente en la sección 5 se presentan conclusiones y recomendaciones.

2. MODELO MATEMÁTICO

El problema planteado consiste en la asignación de horarios que satisfaga una demanda, minimizando el número de personas que ejecuten los cargos. Se consideran períodos de $\frac{1}{2}$ hora como unidad de tiempo, para esta aplicación se toma como base el modelo planteado por Bohórquez (2008). Para esta instancia el modelo es reformulado de tal manera que para la asignación horaria considerará 9 horas de operación al día, se tiene como base demandas por cargo en cada uno de los períodos y se consideran dos tipos de contratación, tiempo completo y jornada variable tipo 1.

La jornada variable tipo 1 considera que el turno máximo a programar no debe exceder de 7 horas y para ambas formas de contratación se deben respetar turnos consecutivos de 3 horas como mínimo.

2.1 Función Objetivo

Consiste en minimizar el tamaño de la planta de personal.

X_{ijkl} = Variable binaria que toma el valor de 1 si la persona j ha sido asignada a una jornada i (completa o variable), en el período de asignación k el día l y 0 en caso contrario.

Donde

$i = 1$ Jornada Completa

$i = 2$ Jornada Variable

$j = \text{Cargo principal} + \text{cargo secundario} (j = j_i, \dots, j_f)$

$k = \text{Hora del día} (K = 1, 2, \dots, HC)$

$l = \text{Día de la semana} (l = 1, 2, \dots, 6)$

$HC = \text{Hora de cierre del establecimiento}$

La Ecuación (1) presenta la función objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=J_i}^{J_f} \sum_{k=1}^{HC} \sum_{l=1}^6 X_{ijkl} \quad \text{Ec. (1)}$$

2.2 Restricciones para el número de horas permitidas en un día

- *Restricciones para $i=1$ jornada completa se plantea la Ecuación (2).*

$$\sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{k=1}^{HC} X_{ijkl} = 16Y_m \quad \forall i = 1; l = 1, 2, \dots, 6 \quad \text{Ec.(2)}$$

Y_m Representa una variable binaria que toma el valor de 1 si se representa personal de jornada completa y 0 en caso contrario.

- *Restricciones para $i=2$ jornada variable*

Las Ecuaciones (3) y (4) determinan el valor de W_{jl} , esta es una variable binaria que está definida por cada persona de jornada variable del conjunto j' que va definido $\{j_i, \dots, j_f\}$ y toma el valor 1 cuando la persona j ha sido asignada a cualquier periodo k del horizonte de asignación en el día l . En otras palabras, la variable es igual a 1 si la persona j trabajó algún segmento de tiempo el día l .

$$\sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{k=1}^{HC} X_{ijkl} \geq W_{j'l} \quad \forall i=2; l=1,2,...,6 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{k=1}^{HC} X_{ijkl} \leq 16W_{j'l} \quad \forall i=2; l=1,2,...,6 \quad \text{Ec. (4)}$$

Para activar las ecuaciones (2, 3 y 4) que corresponden a la cantidad de días que trabaja una persona, se requiere una nueva variable auxiliar binaria Z_n que activa un grupo de restricciones determinado, si se cumple una condición dada por $W_{j'l}$.

La variable Z_n se define para cada persona del conjunto j . Si esta variable toma el valor de 0 es porque la condición se cumple y por lo tanto las restricciones asociadas a ella se deben cumplir. El subíndice n es un número entero consecutivo.

Como es usual en la notación de la programación lineal entera, M es un número positivo grande, estas consideraciones son llevadas en cuenta en el siguiente conjunto de restricciones.

2.3 Restricciones Jornada variable tipo 1

El máximo de medias horas a trabajar es 14. Se formula inicialmente una restricción que indica si la persona está asignada o no todos los días, dada en la Ecuaciones (5), (6) y (7).

$$\sum_{l=1}^6 W_{j'l} - 6 \leq M(1-Z_n) \quad \forall j'=j'i,...,j'f \quad \text{Ec. (5)}$$

Diaria:

$$-\left[\sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{k=1}^{HC(l)} X_{ijkl} - 8Y_{m+1} \right] \leq MZ_n \quad \forall i=2; l=1,2,...,6 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$-\left[14Y_{m+1} - \sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{k=1}^{HC(l)} X_{ijkl} \right] \leq MZ_n \quad \forall i=2; l=1,2,...,6 \quad \text{Ec. (7)}$$

2.4 Restricción para asignar a una persona únicamente a una de las dos jornadas

Se define una variable binaria Y_m que indica si la persona está contratada tiempo completo y otra variable Y_{m+1} que corresponde a una persona contratada para tiempo variable, por tanto se plantea una restricción excluyente, Ecuación (8).

$$Y_m + Y_{m+1} = 1 \quad \text{Ec. (8)}$$

2.5 Restricciones asociadas a la obligatoriedad de la asignación de horas operativas

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=j_i}^2 X_{ijkl} = a \quad \text{Ec. (9)}$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, HC; \quad \forall l = 1, 2, \dots, 6$$

En la Ecuación (9) a representa el número de personas que se requieren para el cargo j en la hora k el día l , este debe ser un dato de entrada de acuerdo a la demanda proyectada.

2.6 Restricciones para evitar las horas paralelas para una misma persona

Cada persona puede realizar varios cargos, por polifuncionalidad, pero esta característica no permite la simultaneidad de las labores. Estas restricciones evitan que a una misma persona, sea asignada dos veces o más, el mismo período de asignación k , en un mismo día l .

Se formula la Ecuación (10) para cada una de los cargos principales del conjunto j .

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=j_i}^{j_f} X_{ijkl} \leq 1 \quad \forall k=1,2,\dots,HC; \quad \forall l=1,2,\dots,6 \quad \text{Ec. (10)}$$

2.7 Restricciones que aseguran la consecutividad de mínimo 3 horas en la jornada laboral de una persona

Esta restricción se plantea en la Ecuación (11)

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=j_i}^{j_f} \sum_{p=k}^{k+6} X_{ijpl} \geq 6 \quad \forall l=1,2,\dots,6 \quad \text{Ec. (11)}$$

3. CODIFICACIÓN Y TÉCNICA DE SOLUCIÓN

Debido a la gran complejidad matemática del problema planteado se requiere de una técnica heurística o metaheurística para su solución. El método seleccionado es el GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*) (Feo, 1994), con el fin de efectuar una adecuada codificación del problema propuesto se presenta una propuesta buscando un buen desempeño del algoritmo. Con el fin de evaluar el desempeño del algoritmo fueron desarrollados por los autores (Álvarez et al., 2009).

3.1 Codificación

Se desea realizar la programación semanal de tareas y horarios de personal incluyendo el tipo de vinculación. Cada persona contratada debe tener la siguiente información: el tipo de contrato, el conjunto de habilidades o cargos que puede desempeñar y el horario de trabajo.

En Bohórquez (2008) se consideran 4 tipos de vinculación, en este estudio sólo se toman en cuenta dos de ellas: tipo de contrato fijo codificado como un 1 y contrato variable tipo 1 se codifica con el número 2.

El conjunto de habilidades o cargos que puede desempeñar un trabajador se codifica a través de números binarios para los k cargos que existan.

Por las restricciones horarias de los contratos un trabajador sólo puede ser programado a lo máximo dos veces al día, ya que como mínimo se le pueden programar 3 horas por turno y máximo en un día se le puede programar 8 horas.

Para esto se codifican los dos turnos por el periodo de entrada para cada turno (1 y 2) y la duración de cada uno de estos. La figura 1 muestra la estructura del vector de contratación de cada empleado.

Tipo de Contrato	Habilidades del Empleado	Periodo Entrada 1 Horas a Laborar 1 Periodo Entrada 2 Horas a Laborar 2
1, 2, 3, 4	1 2 3 . . . k	

Fig. 1: Vector empleado

La figura 2 representa un posible empleado a contratar, en el ejemplo el empleado será vinculado mediante un contrato variable tipo 1 ya que el elemento tipo de contrato del vector tiene un valor igual a 2, de los 6 diferentes cargos que tiene la empresa este esta capacitado para realizar los cargos 1, 3 y 6 y su horario de trabajo esta dado por dos turnos, el primer turno comienza desde el tercer periodo de tiempo y tiene una duración de 4 horas y el segundo turno comienza desde el periodo decimotercero y tiene una duración de 3 horas.

Tipo de Contrato	Habilidades del Empleado	Periodo Entrada 1 Horas a Laborar 1 Periodo Entrada 2 Horas a Laborar 2
2	1 0 1 0 0 1	3 4 13 3

Fig. 2: Ejemplo de un empleado codificado

La tarea desempeñada durante cada periodo de trabajo es un atributo que se codifica mediante un arreglo matricial de 3 dimensiones j, k y l; donde j representa el empleado, k el periodo de día y l el

día de la semana. Por lo tanto la matriz tareas (j, k, l) = C representa, que el cargo C deberá ser desempeñado por el empleado j en el periodo de tiempo k del día l.

La figura 3 representa gráficamente la matriz de tareas, en la gráfica se asigna el cargo C al empleado 4 para el primer periodo de día 3 (miércoles).

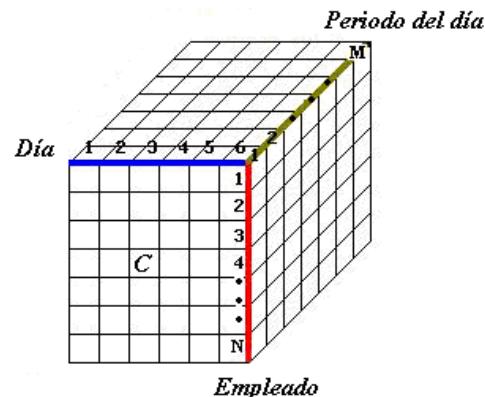


Fig. 3. Matriz de tareas

3.2 Algoritmo GRASP

El algoritmo de solución para el modelo matemático presentado en este trabajo es basado en la técnica metaheurística GRASP (Gallego et al., 2008).

El GRASP es una técnica presentada por Feo y Resende (1988), esta ha sido aplicada y enriquecida por los desarrollos realizados en diferentes áreas del conocimiento.

El GRASP consta de 4 grandes de etapas denominadas preprocesamiento, construcción, búsqueda local y re-encadenamiento de trayectorias.

La fase de preprocesamiento trata de determinar los esquemas promisorios de solución mediante índices de sensibilidad o algoritmos constructivos (figura 3), la fase de construcción combina métodos basados en sensibilidad con aleatoriedad, para determinar una posible solución factible (figura 4), la fase de búsqueda local explora intensivamente la vecindad de una solución en procura de una mejor solución (figura 5) y la fase de re-encadenamiento de trayectorias combina pares de soluciones de la lista de soluciones elite (buena calidad) para encontrar una mejor solución en la trayectoria de las dos soluciones (figura 6).

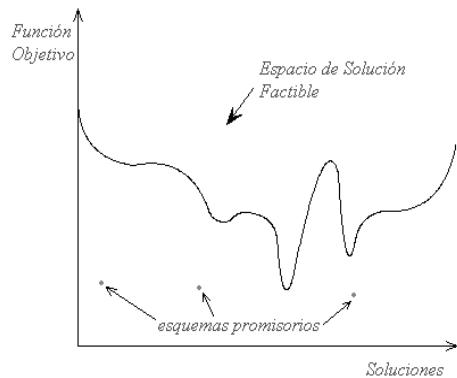


Fig. 3: Fase de preprocesamiento

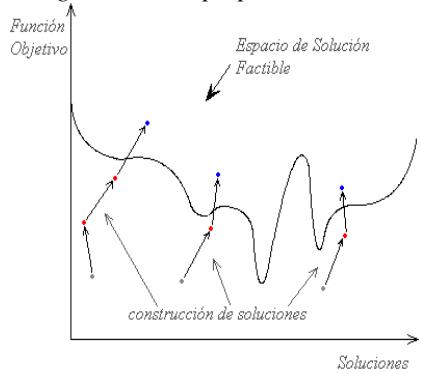


Fig. 4: Fase de construcción de soluciones

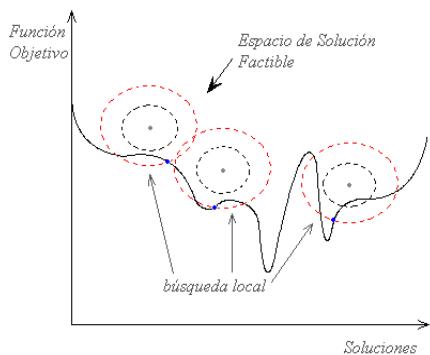


Fig. 5: Fase de búsqueda local

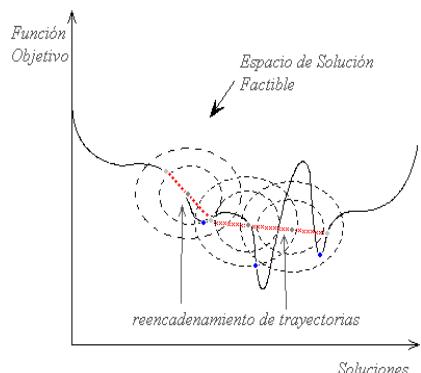


Fig. 6. Fase de re-encadenamiento de trayectorias

3.3 Aplicación de la técnica de solución al problema de asignación de horarios

El algoritmo implementado fue particionado en cuatro fases, tal como lo especifica la técnica GRASP: fase de preprocessamiento, construcción, búsqueda local y reencadenamiento de trayectorias.

En las figuras 7, 8 y 9 se explica mediante los diagramas de flujos de datos de los procedimientos seguidos en las etapas de construcción, búsqueda local y reencadenamiento de trayectorias respectivamente.

En la fase de preprocessamiento la matriz de requerimientos se ordena descendente por el mayor número de personal requerido, este procedimiento reemplaza el proceso de identificación de esquemas promisorios ya que se pretende dar prioridad a los cargos de mayor demanda

Este es un buen criterio para el arranque del método de solución. Además del algoritmo GRASP en la fase de búsqueda local se establece un algoritmo de búsqueda en vecindario variable (Hansen et al 2003), que permite realizar transiciones cortas en el vecindario.

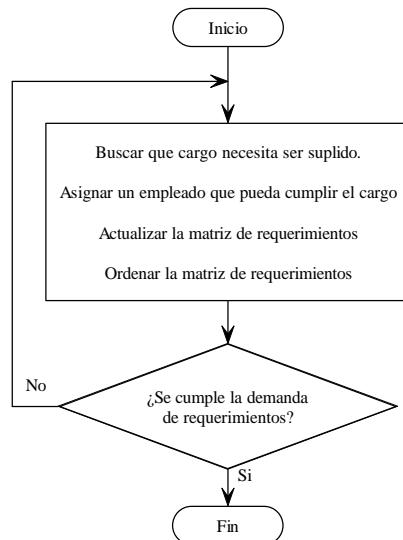


Fig. 7. Diagrama de flujo de datos algoritmo de construcción

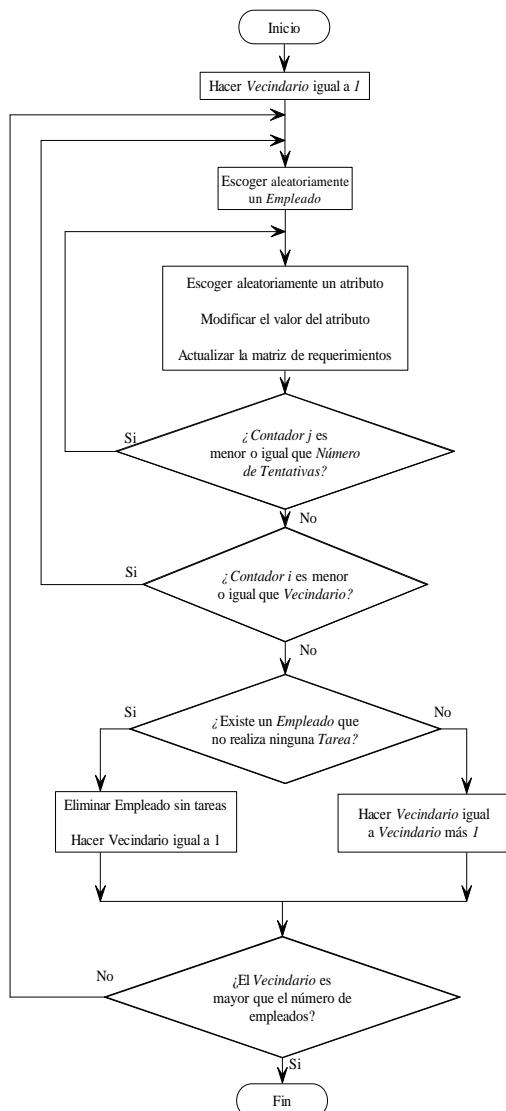


Fig. 8. Diagrama de flujo de datos algoritmo de búsqueda local

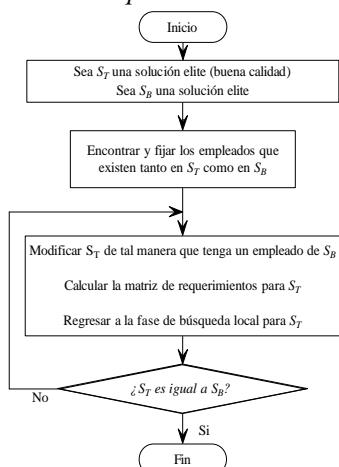


Fig. 9. Diagrama de flujo datos algoritmo de re-encadenamiento de trayectorias

3.4 Validación de la metodología

Para comprobar el modelo matemático propuesto en este trabajo se realizó la implementación en el ordenador y se conformó una librería de casos de prueba (Álvarez et al., 2009); que cuenta con 10 diferentes casos de prueba, en los cuales la complejidad aumenta a medida que crece el tamaño del problema, los problemas van desde 3 cargos y 4 polifunciones hasta 12 cargos y 31 polifunciones, las matrices de requerimientos fueron generadas con valores aleatorios entre 0 a 5, todos los casos cuentan con 18 períodos de tiempo, donde un par de estos representa una hora de trabajo.

El horizonte de tiempo para realizar la asignación de horarios es de un mes. La metodología se desarrolló en MATLAB®, las pruebas se realizaron en un máquina con unas especificaciones cercanas a un procesador Pentium® IV 3.0 GHz y una memoria RAM de 1 GB.

3.5 Calibración de parámetros

La metodología propuesta consta de dos parámetros el número de tentativas o el número de veces que se realiza cambios en los atributos y el número de arranques de la metodología, ambos parámetros representan un aumento en el tiempo de respuesta de la técnica.

Para el número de tentativas se eligió 20 cambios ya que no se desea realizar una búsqueda exhaustiva, mientras que para el número de arranques fue 10, el cual es un número lo suficiente grande para seleccionar los mejores y realizar el re-encadenamiento de trayectorias.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cuantificar el valor de las soluciones encontradas se toma como base el salario mínimo legal vigente en Colombia de \$496.900 mensuales, se considera que el pago del salario incluye todas las prestaciones sociales, por tanto este valor es multiplicado por un factor de 1.52 a partir de allí se obtiene que el valor de la hora a pagar es \$3.934.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los 10 casos de prueba propuestos la columna denominada personal entrega el número de personas a contratar para cada tipo de contrato.

Tabla 1. Número de personas a contratar

Caso	Personal		Horas Contratadas	
	Fijo	Variable Tipo 1	Fijo	Variable Tipo 1
ALV01	4	4	32	20
ALV02	6	6	48	30
ALV03	5	10	40	65
ALV04	8	9	64	42
ALV05	10	17	80	86
ALV06	8	22	64	100
ALV07	15	22	120	118
ALV08	18	35	144	167
ALV09	0	57	0	325
ALV10	0	60	0	351

Tabla 2. Costos asociados a la contratación

Caso	Costos		Valor Total de la Contratación (\$)
	Contrato Fijo (\$)	Variable Tipo 1 (\$)	
ALV01	3.021.152	1.888.320	4.909.472
ALV02	4.531.728	2.832.480	7.364.208
ALV03	3.776.440	6.137.040	9.913.480
ALV04	6.042.304	3.965.472	10.007.776
ALV05	7.552.880	8.119.776	15.672.656
ALV06	6.042.304	9.441.600	15.483.904
ALV07	11.329.320	11.141.088	22.470.408
ALV08	13.595.184	15.767.472	29.362.656
ALV09	-	30.685.200	30.685.200
ALV10	-	33.140.016	33.140.016

Estas respuestas se pueden consultar en Álvarez et al. (2009). A continuación se ilustra la contratación para el caso ALV01, tal como aparece en el *summary* de la librería.

En la tabla 3 las columnas corresponden a los siguientes ítems:

C: Tipo Contrato

P: Polifunción

HE1: Hora de Entrada 1

HL1: Horas Laboradas 1

HE2: Hora de Entrada 2

HL2: Horas Laboradas 2

Tabla 3. Contratación propuesta para el caso ALV01

C	P	HE1	HL1	HE2	HL2
1	4	1	4	11	4
1	4	1	4	9	4
1	4	3	4	11	4
1	3	1	4	11	4
2	4	1	4	9	3
2	4	13	3	-	-
2	3	1	5	-	-
2	3	9	5	-	-

Las respuestas encontradas consideran una operación de lunes a sábado, debido a que el día domingo es el día de mayor demanda, en este caso es necesario incluir empleados dominicales que no son considerados en este trabajo e involucran otro conjunto de restricciones.

5. CONCLUSIONES

Se resolvió el problema de asignación horaria de empleados multifuncionales para empresas con demanda variable mediante la técnica GRASP, a partir de las soluciones encontradas se validó el modelo propuesto en cuanto a su funcionamiento verificándose que para cada periodo se cumple con la demanda proyectada, respetando todas las restricciones planteadas.

La codificación propuesta es válida para cualquier técnica heurística o metaheurística. Se recomienda comparar los resultados obtenidos con otras técnicas de optimización.

La inclusión de la técnica de búsqueda en vecindario variable en la fase de búsqueda local del algoritmo GRASP, presentó una gran adaptabilidad mostrando un buen desempeño en el algoritmo implementado.

Fueron propuestos 10 casos de prueba que se inspiraron de situaciones reales observadas en restaurantes de comidas rápidas, que se ponen a disposición de la comunidad académica a fin de validar la metodología propuesta para futuras investigaciones en el tema.

REFERENCIAS

Gallego R., Escobar A. and Toro E., Técnicas Metaheurísticas de Optimización, Universidad Tecnológica de Pereira, Julio 2008.

- Feo T.A., Resende M.G.C., "Greedy Randomized Adaptive Search Procedures", Journal of Global Optimization, vol. 6, 1994, pp. 3-14.
- Hansen P. Nenad M. Moreno J. "Búsqueda de entorno variable". Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. vol.19, pp. 77-92, 2003.
- Álvarez D., Toro E. and Gallego R., Problem instances for the Multiskilled Workforce Scheduling Problem, [Online]. Available: <http://www.utp.edu.co/~planeamiento/dinop/librerias/rostering>
- Bohorquez N., Ampliación del modelo matemático que representa el problema de asignación de personal, formulado actualmente para un restaurante particular, a todos los tipos de restaurantes de la empresa Frisby S.A., Trabajo de grado, 2008, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ojeda R., Domínguez S., Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo. Congreso Internacional para la Investigación y el Desarrollo viernes 30 de enero al lunes 2 de febrero de 2009. Veracruz. [Online]. Available: http://www.colposgrado.edu.mx/memorias/ojeda_villagomez.pdf, review(julio-10-2009).
- Diego F., González J. and Carrasco J. Optimización de cuadrantes de turnos para el personal de atención de vuelos en tierra, XII Congreso de Ingeniería de Organización 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management Burgos, 3-5 de septiembre de 2008.
- Pradenas L, Hidalgo S. and Jensen M., Asignación de supervisores forestales resolución mediante un algoritmo Tabu Search. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 16, Nº 3, 2008, pp. 404-414.

Recibido: 05 de agosto de 2009
Aceptado: 01 de octubre de 2009

AN ARCHITECTURE FOR LEARNING TO REDUCE THE RISK OF FAILURE OF WEB SERVICES FOR ITS COMPOSITION

UNA ARQUITECTURA DE APRENDIZAJE PARA DISMINUIR EL RIESGO DE FALLA DE SERVICIOS WEB DURANTE SU COMPOSICIÓN

Ing. Byron Enrique Portilla Rosero, MSc. Jaime Alberto Guzmán Luna

SINTELWEB: Grupo de Investigación “Sistemas Inteligentes en la Web”

Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

Cll. 65, No. 80 -223, Bloq. M8A, Medellín, Antioquia, Colombia.

E-mail: {beportillar, jaguzman}@unal.edu.co

Abstract: This paper describe machine learning architecture to management failure during Web services composition. We illustrate two important aspects: time and security. For this reason, this architecture uses learning machine models based on relational decision trees that allow through experience; obtain relevant information on the performance of services in order to be evaluating in future compositions. This information will decrease the failure risk caused by Web services.

Keywords: Semantic Web services, services composition, management failure risk, decision trees.

Resumen: Este documento describe una arquitectura de aprendizaje máquinas para el manejo de fallas generadas durante el proceso de composición de servicios Web, actuando principalmente bajo dos aspectos fundamentales como son: el tiempo y la seguridad. Para ello, esta arquitectura utiliza modelos de aprendizaje de máquinas basados en árboles de decisión relacionales, que permiten a través de la experiencia, obtener la información pertinente del comportamiento de los servicios de manera que pueda ser evaluada y categorizada con el fin que en futuras composiciones, se disminuya el riesgo de falla presentado por los servicios Web.

Palabras clave: Servicios Web Semánticos, composición de servicios, manejo de fallas, árboles de decisión.

1. INTRODUCCIÓN

El mundo de la Web se caracteriza por ser un entorno dinámico, donde la información que allí se encuentra, es manejada a través de múltiples sistemas de software definidos como servicios web, los cuales permiten el intercambio de datos y su funcionalidad en la red. Debido a este tipo de ambiente, la información está sujeta a cambios ocasionados por un sin número de causas afectando directamente al conjunto de sistemas que lo comparte. Esas causas pueden ser ocasionadas por

el mismo servicio como es el caso de accesos a datos privados, mala entrega de la información debido a datos incompatibles o bien, fallos relacionados con la programación del sistema; es decir, encontrar errores de programación o errores en el diseño de estos. Asimismo, se puede encontrar problemas en cuanto a tiempo requerido para desarrollar una o varias operaciones de manera simultáneas por el sistema ocasionando retardos en la toma de decisiones al buscar una respuesta en particular. Por otro lado, se encuentran presentes los errores del entorno, esto es debido al

concepto de redes donde los problemas de caídas de servidores, fallos en la energía, sobrecarga de redes, accesos prohibidos en protocolos de seguridad, evitan el buen desempeño de los servicios Web, generando la no satisfacción de requerimientos necesarios para la consecución de una solución, ya sea por parte del usuario o de un servicio que requiere parte de información para realizar otra serie de procesos.

Para realizar una buena composición de servicios, no necesariamente se requiere hacer un estudio minucioso sobre los procesos de evaluación de cada servicio y su entorno. Sin embargo, se hace de gran utilidad el uso de prácticas que permitan identificar cuáles fueron las fallas o fracasos de una composición y para ello en la literatura, se ha identificado una serie de parámetros no funcionales que representan características poco utilizadas en algunos procesos de composición pero que revelan detalles que soportan el uso de un determinado servicio en un espacio determinado de un plan de composición. Estos parámetros definidos en la literatura como QoS pueden verse desde dos perspectivas distintas: en primer lugar, estos pueden ser como la consecución de objetivos adicionales sin ninguna influencia o interés o, en segundo lugar estos parámetros están atados a la identificación de datos ocultos para el usuario pero no para el sistema; los cuales, hacen posible adquirir una información relevante en la selección de un servicio en la composición de estos. (Kahn et al. 2002).

Este artículo, está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2, se presenta una definición y categorización de los principales criterios evaluados en el entorno de los servicios Web; en la sección 3, se definen los criterios evaluadas por la arquitectura de aprendizaje propuesta; en la sección 4, se describe la arquitectura de aprendizaje basada en los criterios expuestos en la sección inmediatamente anterior y finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD

Los trabajos revisados en la literatura han identificado un conjunto de criterios que describen algunas características entorno a representar la calidad de los servicios Web y como a partir de ésta, en algunos casos como (Kokash, 2007) ha sido de suma importancia para la identificación de fallas ocurridos en los entornos Web.

En trabajos como el de (Ran, 2003) en el cual se presenta un conjunto de parámetros a través de los cuales, genera un modelo de descubrimiento de servicios Web. Se aclara la importancia del uso de criterios de calidad debido a que este modelo es una clara representación de la satisfacción y confiabilidad de los consumidores, sobre la calidad del servicio que sea descubierto. Esto se supone daría confianza a los consumidores de servicios Web, acerca de la calidad del servicio que están a punto de invocar. Entre los criterios evaluados se encuentra: la escalabilidad, la capacidad, la rentabilidad, la fiabilidad, la disponibilidad, la robustez, la flexibilidad, el manejo de excepciones y la precisión.

Asimismo, en (Cardoso et al., 2002), se define un conjunto de criterios de calidad utilizados para identificar flujos de información que determinan la calidad. Estos criterios son el costo, el tiempo, la disponibilidad y la reputación.

Los criterios anteriormente presentados han sido de gran ayuda en la consecución de información adicional de los servicios la cual, ha sido fuente determinante a la hora de realizar una selección de servicios. Asimismo, han sido unos de los más estudiados en la literatura. Sin embargo, existen otros criterios que también pueden servir como herramientas determinantes en la selección de servicios y procesos de composición, y que no han sido muy utilizados. Tal es el caso de criterios orientados a la seguridad. Para (Ran, 2003), la seguridad mide la fiabilidad de los mecanismos de seguridad y aplicación. De manera que su utilización, permita adquirir características adicionales de los servicios, que los criterios mencionados anteriormente no lo podrían alcanzar.

Dentro de este criterio se encuentra una serie de definiciones.

Autenticación: define el funcionamiento de los servicios de autenticación determinando quién puede acceder a servicios y datos.

Autorización: funcionamiento de los servicios de autorización de manera que solo los autorizados puedan acceder a servicios protegidos.

Confidencialidad: define el tratamiento de los datos de manera que solo puedan ser accedidos y modificados por servicios autorizados.

Rendición de cuentas o Responsabilidad: el proveedor del servicio es el responsable del funcionamiento y manejo del servicio.

Trazabilidad y auditoría: hace un seguimiento del historial de un servicio cuando una solicitud de servicios fue hecha.

Cifrado de datos: mide el funcionamiento de la encriptación de los datos de un servicio.

No Refutación: define la decisión de negar un servicio o solicitar los datos después de los hechos.

Los criterios expuestos en los anteriores trabajos han sido definidos en función de los servicios; esto, es viendo al servicio como un todo, de manera que sus cálculos determinan la calidad global de este. Sin embargo, la calidad también puede estar ligada a la información asociada a la veracidad de los servicios y no a sus comportamientos. Para ello se ha identificado una serie de características que pueden ser determinantes al momento de asociar una respuesta.

En (Wilkinson et al., 1997) (Bennett et al, 1996), se estudian los criterios de calidad en función de los datos, acceso y usabilidad, identificación de Recursos y Documentación, Identificación del Autor y autoría, Estructura de la Información y Diseño, Relevancia y Alcance del Contenido, Validez del Contenido, Precisión y Balance de contenidos, Navegación dentro del documento, Calidad de los Enlaces, Estético.

Estos aspectos, permiten controlar la calidad de los datos que contienen los servicios de manera que se alcance una mejor satisfacción por parte del usuario final.

Un aspecto de suma importancia dentro de este análisis, es la identificación de fallas que pueden presentar los servicios entorno a los criterios anteriormente definidos. Estos fallos, determinan el riesgo de una composición. Por lo tanto, el riesgo es determinante en estos procesos.

Según (Kokash, 2007), el riesgo es definido como una probabilidad de una amenaza multiplicada por la respectiva magnitud de su impacto. Según (Roy, 2004), los sistemas del mundo real presentan un factor de riesgo el cual puede ser calculado a través de la suma de los riesgos por cada amenaza particular.

Para (Verdon y Mcgraw, 2004) y (Freimut et al., 2001) el objetivo del manejo de riesgos ayuda a los diseñadores a gestionar proyectos de software dentro de los plazos y límites presupuestarios.

3. SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS

Para la selección de los criterios aplicables en entornos de composición y aprendizaje de servicios Web, se tuvo en cuenta el nivel de impacto y su categorización dentro del estado de riesgos. Es decir, la influencia de la información generada por el criterio en los procesos de composición y el nivel de riesgo que generaría.

Para ello, se consideró la clasificación criterios de (Hwang et al., 2007) y la clasificación de riesgos de (Kokash, 2007) teniendo en cuenta el nivel de acción del criterio en función del comportamiento del servicio. La tabla 1. Describe los criterios a evaluar.

Análisis de Criterios

Relevancia De La Información: este criterio evalúa la importancia que tienen los datos de los servicios en función de optimizar el tiempo utilizado en los procesos de composición. Es decir, disminuir el riesgo de falla al momento de instanciar los servicios de manera que se adquiera aquella información estrictamente necesaria para alcanzar el correcto funcionamiento del servicio. Ecuación 1.

$$R_{inf} = \min((C(1,0)) \in SW) \text{ tal que } (WS) \text{ satisfy } E(WS) \quad (1)$$

Su estructura se presenta en la figura 1.

Tabla 1. Selección de los criterios a evaluados

Criterio	Categoría	Nivel	Riesgo
Autorización: acceso a datos en función de la seguridad.	Seguridad	Servicio	Cambios en las especificaciones Comportamientos inesperados de los servicios
Relevancia y Alcance del Contenido	Fidelidad	Información	Comportamientos inesperados de los servicios Cambios en las especificaciones

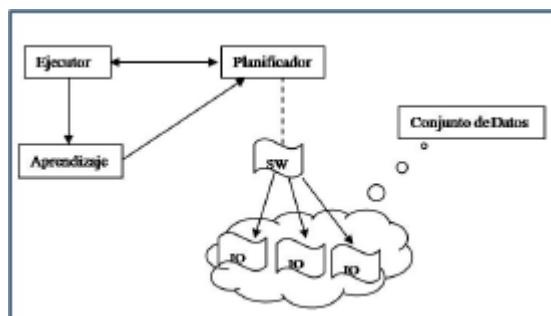


Fig. 1: Criterio relevancia de información

La evaluación de la información presume la menor cantidad de combinaciones datos de entrada y salida (I,O) que satisfagan correctamente la ejecución del servicio Web de manera que cumpla todas las características requeridas utilizando menos requerimientos computacionales o información innecesaria (marcos de datos).

Autorización: definida como acceso restringido a servicios protegidos, de manera que no se puede acceder a ningún dato contenido en el servicio. Este criterio se ejecuta a nivel del servicio pero asociado directamente a los ítems internos; esto se debe a que el servicio debe responder a un conjunto de mensajes *soap* los cuales, se encuentran intervenidos por protocolos *ws-security*.

La poca profundidad que se ha dado a este tema, hace posible realizar un trabajo donde se pueda identificar aquellas fallas que ocurren en función de la ejecución de los servicios. En la web, la infinidad de servicios que pueden ser utilizados en una composición, pueden estar supeditados al uso de políticas de seguridad, privacidad, calidad, entre otras, lo que dificulta el acceso a la indagación de los datos que en ellos recae. La estructura de evaluación se presenta en la figura 2. Aquí se evalúa la petición y/o respuesta del servicio o hacia el servicio determinando el correcto acceso o la violación de accesibilidad a la información. Para ello, se identifica la optimización de los datos, definiendo si el servicio puede o no soportar y retornar los datos que el ejecutor requiere para la ejecución normal del servicio.

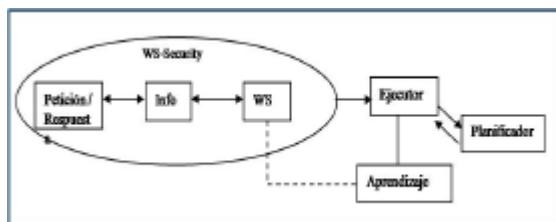


Fig. 2: Captura del criterio autorización

El aprendizaje de este criterio está asociado a la identificación de aquellos servicios que consigan el conjunto de efectos solicitados pero que a su vez puedan ser accedidos y manipulados si es el caso. Ecuación 2.

$$Acc = satisf[eff] \forall eff \in SW \text{ tal que } [eff] \neq ws.security \quad (2)$$

Donde la satisfacción de los efectos por parte del servicio web (SW), puedan ser utilizados durante el proceso de ejecución y soportar la manipulación de ellos durante todo el procesos.

3.1 Algoritmo De Aprendizaje

Uno de los algoritmos encontrados en la literatura que se adaptan a modelos de planificación orientados a la composición de servicios son los árboles de decisión. Estos, son una técnica de aprendizaje de máquinas utilizada para la selección de una respuesta adecuada dentro de un conjunto de posibilidades. Utiliza el algoritmo Top-Down Induction of Decision Trees (TDIDT) (Quinlan, 1986). Esta técnica construye árboles de decisión dividiendo los ejemplos entrenados de acuerdo a los valores de un atributo seleccionado el cual, minimiza el valor de la varianza según la predicción de la variable. Los árboles de decisión relacional son una actualización de la lógica de primer orden de los árboles de decisión. La diferencia radica en el uso de árboles relacionales los cuales son implementados con lógica de predicados. (Blockeel, H. y De Raedt, 1998). Describiendo cada árbol como un conjunto de hechos lógicos.

La diferencia principal de este algoritmo de aprendizaje con respecto a otros es el uso de reglas de producción, donde el principal objetivo es lograr una interacción entre el usuario y la máquina de manera que exista un complemento de las partes y así estudiar los casos evaluados.

Este aprendizaje usa experiencias y preconceptos del pasado para mejorar la habilidad de actuar en el futuro. En la comunidad de la planificación IA, el aprendizaje de máquinas es visto como un poderoso mecanismo que dota a este tipo de agente de gran autonomía y flexibilidad, con el fin de compensar el conocimiento incompleto que el diseñador le brinda acerca del mundo que el agente enfrentará (Jiménez, 2009).

4. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DE APRENDIZAJE

Con base en lo mencionado en la sección anterior, se plantea una arquitectura de aprendizaje que apoye la composición de servicios Web a través del control de riesgos que los servicios pueden generar durante el proceso de ejecución de los mismos, teniendo en cuenta sus parámetros de calidad y algunas características del entorno Web. Para ello, la arquitectura plantea un conjunto de elementos que soportan los datos generados durante la ejecución de los servicios Web, así como la proliferación de estos, en el contexto de identificación, validación, formulación y almacenamiento.

miento de los mismos y a partir de estos procesos, obtener los datos requeridos que caracterizan a cada uno de los servicios Web evaluados. Es decir, se obtiene aquellos datos considerados como relevantes en la construcción de información que permita identificar los valores de error producidos por los servicios Web y/o su entorno.

En la figura 3, se aprecia los elementos utilizados por la arquitectura de aprendizaje. Aquí se observa los elementos de identificación o ingreso de datos, el proceso de validación de los mismos, el módulo de formulación-aprendizaje y el almacenamiento.

Con esta arquitectura, se pretende aprender a partir de una serie de ejecuciones, el comportamiento de los servicios Web teniendo en cuenta el monitoreo de sus salidas en función de sus entradas. Es decir, reemplazar aquellos datos que sean determinados como fallos y mejorar la composición de los servicios. Para ello, se integran los conocimientos de los QoS soportados por la composición de servicios (Jurisica et al, 1998), (Zeng et al, 2003) y sobre los cuales actúa la arquitectura de aprendizaje, evaluando principalmente aquella información que haga posible determinar los riesgos de un servicio a través de su relación en la Web y su interacción con otros servicios.

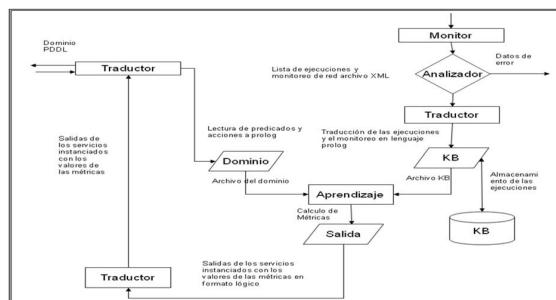


Fig. 3: Arquitectura de Aprendizaje

La arquitectura cuenta con un módulo de aprendizaje, el cual se apoya en el aprendizaje inductivo, (árboles de decisión). Estos, permiten a partir de una serie de ejemplos y utilizando decisiones secuenciales basada en el uso de resultados y probabilidades asociadas, guiar los datos que evalúan a cada servicio Web. El algoritmo utilizado para tal fin es C4.5; este algoritmo, es una extensión mejorada del ID3, el cual genera un árbol de decisión a partir de los datos mediante particiones realizadas recursivamente utilizando la estrategia (depth-first). (Quinlan et al, 1993).

La arquitectura de aprendizaje consta de un conjunto de elementos que interactúan entre sí, a partir de la obtención de información proveniente del mundo, y de información sobre el dominio en el que se está trabajando.

4.1 Adquisición de la Base de Conocimientos

En primer lugar está el proceso de obtención de la información a través del ejecutor de servicios. Este se encarga de obtener toda la información real de los servicios y su influencia por el entorno. Con el fin de instanciar esos datos relevantes en la composición de servicios, la arquitectura incorpora un monitor localizado dentro del ejecutor de servicios, que permite hacer un seguimiento paso a paso a la ejecución de los servicios y donde haga posible analizar las fallas que se producen en un determinado proceso en el tiempo. Por lo tanto, el monitor es el encargado de abstraer aquella información considerada principal para el desarrollo del proceso de aprendizaje.

La información resultante de este proceso es un documento XML, el cual es enviado a un traductor para ser evaluado por la arquitectura de aprendizaje.

Sin embargo, antes de esta etapa, un analizador es el encargado de verificar la consistencia de este documento y determinar si su contenido está acorde a las ejecuciones de los servicios.

Una vez que los datos son capturados, pasan por un módulo de traducción. Este elemento es el encargado de leer la codificación del monitor y trasladarla a un lenguaje de codificación lógica. El traductor lee un archivo XML de donde obtiene las sentencias de respuesta de cada servicio así como el estado de la red. Esta información es codificada al lenguaje Prolog, generando un archivo de lectura rápida que representa la base de conocimientos de la arquitectura de aprendizaje.

4.2 Adquisición de la Información del Dominio

Con el fin de obtener la información del dominio requerido para inducir el aprendizaje, la arquitectura requiere de un archivo donde se describe el dominio que es asumido por los servicios a utilizar. Este archivo, es un documento xsppdl por lo tanto, se hace necesaria la utilización de un segundo traductor. En este caso el traductor codifica las expresiones descritas en xsppdl en instancias de inducción a un lenguaje Prolog, generando un nuevo archivo que representa las especificaciones de inducción utilizadas por la

herramienta de aprendizaje para la construcción de relaciones lógicas y realizar el proceso de aprendizaje.

4.3 Aprendizaje

La parte más importante de la arquitectura se encuentra dentro de este módulo. Es aquí donde los datos capturados en los procesos anteriormente descritos, serán evaluados para obtener la información necesaria que permita determinar el factor de riesgo de falla de un servicio Web, en un determinado espacio en el tiempo.

La evaluación consiste en determinar patrones de ejecución de los servicios donde se evalúan los criterios descritos anteriormente y sobre las cuales se aplica el aprendizaje.

Este módulo recibe dos archivos: la información del dominio y la información de la base de conocimientos. En el primer archivo se encuentra la definición de las acciones, que determina cual será el objetivo a predecir; igualmente, se encuentra la definición de los predicados; los cuales, determinan los patrones de inducción. En el segundo archivo se encuentra los datos generados durante la ejecución del servicio. Esta es la base de conocimiento sobre la cual se infieren los patrones que tuvo ese servicio al ser ejecutado y así determinar su comportamiento.

4.4 Salida del Modelo

La información generada durante el aprendizaje, hace posible medir la calidad de servicio, identificando los costos asignados a sus salidas.

Por lo tanto, se requiere de un último traductor que interprete la información obtenida durante el proceso de aprendizaje, y la traslade al documento del dominio; este dominio será utilizado por un planificador en la generación de nuevas composiciones.

5. TRABAJOS RELACIONADOS

Dentro de la composición de servicios Web un conjunto de técnicas entre las cuales se encuentra la planificación en IA, síntesis de programas, cálculo de situaciones, máquinas de estado finito entre otras, han sido estudiadas y ejecutadas. Sin embargo, aunque no se puede indicar cuál de estas soluciones prevalece sobre las otras, los trabajos basados en las técnicas de planificación IA, han

mostrado ser lo suficientemente adecuados desde que los servicios Web han sido considerados en (Mithun, 2004) y (Sirin et al, 2004), como sinónimos de las acciones en planificación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha identificado el uso de técnicas de aprendizaje para aprender una o varias características de calidad de acciones de planificación (QoS de servicios Web). A continuación se presentan algunos trabajos relacionados a esta temática.

En primer lugar, el trabajo de (Jiménez, 2007), se enmarca en función de proveer a planificadores la información de la ejecución de las acciones para alcanzar planes robustos. Es decir, la utilización de una métrica que determine la funcionalidad de un plan, haciendo referencia a la identificación de las acciones de éxito.

Para ello, define tres fases, la primera consiste en captura de la información; esto es obtener a través de una serie de ejecuciones, el conjunto de información que representa el comportamiento de una acción en el mundo real. La segunda fase, consiste en la inducción de la información encontrada, más específicamente los patrones de inducción (aquellas características que determina el éxito de la ejecución) e implementa la programación lógica inductiva, mecanismo de aprendizaje de máquinas que le permite generar patrones de aprendizaje. Finalmente, utiliza dichos patrones en la generación del plan con robustez. En este caso se definen dos posibilidades para calcular la robustez de un plan. La primera es la utilización de efectos condicionales probabilísticos para determinar la robustez de un plan, y la segunda es a través del uso de los costos de planificación a través de condiciones de costos. Esta última se determina a través de la fragilidad (verificar la robustez de un plan), la cual, permite transformar la maximización del producto de las probabilidades de éxito de acción a lo largo del plan, en una minimización de la suma de los costos de fragilidad. Se calcula como $-\log(p)$ donde p es la probabilidad.

Otro trabajo es el de (Rosa y Jiménez, 2008) donde define políticas (*policy*) esto, en función de la calidad. Según (Fernández et al, 2009), una política es un mapeo entre los estados del mundo y la mejor acción a ser ejecutada, con el fin de lograr una serie de objetivos. Una política general se trata de un mapeo de las instancias del problema de un dominio dado; es decir, las diversas combinaciones de estado inicial y objetivos, en la mejor acción

para ser ejecutada, con el fin de alcanzar los objetivos. Esta es capaz de resolver cualquier instancia de un posible problema. Para este caso, el aprendizaje se realiza a través de árboles de decisión mediante tres pasos: 1, Generación de los ejemplos para el aprendizaje. Es decir, todo el background (una serie de problemas entrenados), 2. Clasificación de las acciones. Esto es obtener una clasificación de los mejores operadores que representen el contexto en función de los ejemplos entrenados. Finalmente los enlaces de clasificación obtienen los mejores, de acuerdo a los ejemplos entrenados.

El trabajo de (Ming et al, 2008) presenta un esquema de selección de servicios para ayudar al servicio solicitante a escoger los servicios web a través de sus características no funcionales, utilizando el aprendizaje ubicuo. Describe como características de QoS la ejecución del tiempo de envío y respuesta, la dependencia en función de la disponibilidad y el costo de ejecución. Hacen que la composición pase a ser una optimización combinatoria que puede ser definida en problemas de programación matemática.

En (Cardoso et al, 2004), se describe un modelo que permite predecir la calidad de los servicios para flujos de trabajo, basados en atributos de servicios atómicos en la calidad de servicios. Aclara que se puede compensar la deficiencia de la composición, si existen muchos servicios con funcionalidad compatible. La calidad de los servicios en los flujos de trabajo, representan las características cuantitativas y cualitativas de una aplicación de flujo de trabajo necesario para lograr un conjunto de necesidades iniciales. Los caracteres cuantitativos pueden ser evaluados en términos de medidas concretas, tales como: flujo de trabajo de tiempo de ejecución, coste, entre otros y, las características cualitativas especifican los servicios esperados ofrecidos por el sistema, como la seguridad y los mecanismos de tolerancia a fallos. QoS debe considerarse como un aspecto integral de los flujos de trabajo, por lo que deben integrarse con las especificaciones de flujo de trabajo. Finalmente, (Carman y Knoblock, 2007), expone un aprendizaje de definiciones semánticas a través de procesos de inducción. Las definiciones son dadas en el sistema o aprendidas previamente; esto, mediante el uso de ejemplos entrenados. La característica que evalúa es el uso único de las entradas y salidas donde se identifican los tipos de datos que se requieren en la ejecución, y cuál es el tipo de dato que se espera.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se presentó una arquitectura de aprendizaje basada en árboles de decisión la cual, permite obtener la información crítica durante la ejecución de los servicios Web, con el fin de aprender su desempeño y optimizar el proceso de composición de servicios a través de la generación de criterios que evalúan el comportamiento de cada servicio determinando su funcionalidad al momento de su ejecución.

Asimismo, se hizo una descripción de los criterios utilizados por la arquitectura y los componentes que la constituyen, haciendo énfasis en la obtención de la base de conocimientos y la descripción del aprendizaje orientada a la utilización de penalidades sobre la ejecución de los servicios.

Actualmente se realiza la versión inicial de la arquitectura bajo la plataforma Linux la cual será manipulada con la ayuda de la herramienta de planificación INDYGO (Guzmán y Ovalle, 2007) utilizando inicialmente el dominio de compras virtuales (SHOPPING) creado dentro del mismo proyecto.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está apoyado parcialmente por el proyecto de investigación de tesis de maestría de la Escuela de Sistemas de la Universidad Nacional sede Medellín “Modelo Basado en Aprendizaje de Máquinas para el Manejo de Riesgo de Falla Durante la Composición de Servicios Web” noviembre 2008, tesis asociada al grupo de investigación SINTELWEB.

REFERENCIAS

- Bennett, L., Wilkinson, G. Y Oliver, K. (1996). The development and validation of instruments to assess the quality of Internet information: A progress report. Paper Presented at The Annual Convention of the Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), Ed-Media 96, Boston Massachusetts.
- Blockeel, H. and De Raedt, L.(1998)., Topdown Induction of firstorder Logical Decision Trees. In, Artificial Intelligence.
- Cardoso Jorge , Miller John , Sheth Amit And Arnold Jonathan. (2002). Modeling Quality of

- Service for Workflows and Web Service Processes Technical Report# 02-002 v2, LSDIS Lab, Computer Science, University of Georgia.
- Cardoso, J., Sheth, A., Miller, J., Arnold, J., Kochut, K. (2004). Quality of service for workflows and web service processes, *Journal of Web Semantics*, Vol. 1, No. 3, pp. 281–308.
- Carman Mark James And Knoblock Craig. (2007). A. Learning Semantic Descriptions of Web Information, In: International Joint Conference on Artificial Intelligence.
- Fernández Susana, Jiménez Sergio And Rosa Tomás De La. (2009.). Improving Automated Planning with Machine Learning. *Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends*.
- Freimut, B., Hartkopf, S., Kaiser, P., Kontio, J., Kobitzsch, W. (2001). An industrial case study of implementing software risk management. In: ESEC/FSE, ACM Press.
- Hwang San-Yih, Wanhaojun G, Tang Jian, Srivastava Jaideep. (2007). A probabilistic approach to modeling and estimating the qos of web-services-based workflows *Information Sciences: an International Journal*.
- Jimenez Sergio. (2007). Learning actions success patterns from execution. In Doctoral Consortium of the International Conference on Automated Planning & Scheduling, ICAPS'07. Providence, Rhode Island, USA.
- Jimenez Sergio. (2009). Planning & Learning Under Uncertainty. Phd Thesis (Pending for submission). Departamento de Informática. Universidad Carlos III de Madrid.
- Jurisica I., A. Brian. Nixon. (1998). Building Quality into Cases Based Reasoning Systems, *Lecture Notes in Computer Science*, 1413, 363-380.
- Guzmán J., Ovalle D. (2007). Un Modelo de Planificación Incremental para Servicios Web Semánticos, *Revista Avances en Sistemas Informáticos*, 4, 3, 131-140.
- Kahn Beverly K., Strong Diane M. Y Wang Richard. (2002). Information Quality Benchmarks: Product and Service Performance. En: *Communications of the ACM*. Vol. 45 No. 4ve.
- Kokash Natalia. (2007). Risk Management for Service-Oriented Systems Lecture Notes in Computer Science.
- Ming Huang Fu, Lan Ci-Wei Stephen J.H. Yang (2008). QoS-based Learning Services Composition for Ubiquitous Learning. *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*.
- Mithun S. (2004). Automatic Composition and Invocation of Semantic Web Services, Tesis para Mag, University of Maryland.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. In, *Machine Learning* (v.1 pp. 81106).
- Quinlan J. Ross and Morgan Kaufmann. (1993). C4.5: Programs for Machine Learning , 235-240.
- Ran Sh. (2003). A Model for Web Services Discovery With qos, *ACM sigecom Exchanges*, 4(1), 1–10.
- Rosa Tomás De La And Jiménez Sergio. (2008). Roller: A Lookahead Planner Guided by Relational Decision Trees. *International Planning Competition*.
- Roy, G.G. (2004). A risk management framework for software engineering practice. In: Australian Software Engineering Conference (ASWEC), IEEE Computer Society.
- Sirin Evren , Bijan Parsia, Dan Wu, James Hendler And Dana Nau. (2004). HTN Planning for Web Service Composition Using SHOP2, *Journal of Web Semantics*, 1(4). 377-396.
- Verdon, D., McGraw, G. (2004). Risk analysis in software design. *IEEE Security and Privacy*.
- Wilkinson Gene L., Lisa T. Bennett, And Kevin M. Oliver. (2007). Evaluating the Quality of Internet Information Sources: Consolidated Listing of Evaluation Criteria and Quality Indicators. Department of Instructional Technology, University of Georgia, Athens, GA.
- Zeng L., Benatallah B., Dumas M., Kalagnanam J., Sheng Q.Z. (2003). Quality Driven Web Services Composition. In Twelfth International Conference of WWW, May 20-24, Budapest.

Recibido: 24 de julio de 2009
Aceptado: 28 de agosto de 2009**LAND USE DISCRIMINATION FROM MULTISPECTRAL IMAGES****DISCRIMINACIÓN DE USOS DEL SUELO A PARTIR DE IMÁGENES
MULTIESPECTRALES**

**Ing. John Jairo Sanabria Sarmiento, MSc. John Faber Archila Díaz,
Ing. Luis Eduardo Bautista Rojas**

Universidad Industrial de Santander, UIS

Grupo de Investigación en Robótica y Diseño GIROD

E-mail: john_jairos@hotmail.com, johnjairos@gmail.com, jfarchid@uis.edu.co,
laguado86@yahoo.com

Abstract: Satellite systems allow continuous monitoring about environmental issues, the advanced image processing techniques can extract features based on multispectral analysis of the different components present in satellite images. This paper describe results about different techniques used for obtain soil characteristics features which is important for rural and urban planning.

Keywords: Satellite Images, Multispectral features, remote sensing, artificial intelligence, PCA, artificial intelligence, wavelet transform, signal processing.

Resumen: Mediante los sistemas satelitales ubicados en órbita alrededor del planeta es posible realizar el seguimiento de gran cantidad de sucesos ocurridos en la superficie de este. Haciendo uso de técnicas de procesamiento de imágenes multiespectrales combinadas con técnicas de análisis estadístico es posible realizar la clasificación de parámetros del suelo de acuerdo a características propias del mismo. En el presente artículo se presenta la metodología relacionada con dicha clasificación del suelo utilizando redes neuronales artificiales multicapas como mecanismo clasificador.

Palabras clave: Imágenes satelitales, comportamiento multiespectral, sensado remoto, componentes principales, inteligencia artificial, transformada wavelet, tratamiento de señales.

1. INTRODUCCIÓN

Conforme la población mundial crece cada día es más difícil acceder a los productos agrícolas componentes de la canasta básica familiar y a terrenos aptos para la construcción de soluciones de vivienda estando ellos ligados a la disponibilidad de terrenos con dichas finalidades, siendo esta la razón de la entrada en vigor de los procesos de planeación tanto urbana como rural orientados a lograr un mayor aprovechamiento de los terrenos de acuerdo a sus características.

Considerando dichas características se define el **Plan de Ordenamiento Territorial** (POT) siendo este la base para la viabilización de los diversos proyectos, sean estos de construcción o disposición de productos alimenticios u otro tipo (Parody, 2007; Vargas, 1992). A fin de determinar dichas características se usan técnicas tanto invasivas como no invasivas, siendo estas últimas materia de revisión del presente artículo, las técnicas a revisar se basan en el tratamiento y determinación de las mismas a partir de la información contenida en las bandas componentes de las imágenes satelitales.

El trabajo ha considerado a lo largo de sus diversas etapas diferentes técnicas encargadas de reconocer patrones y detectar bordes, el análisis de la información mediante la transformada *Wavelet* durante la fase I, el análisis de componentes principales (*eigenvalores*) en la fase II, siendo la orientación actual (fase III), la realización de las tareas de clasificación y discriminación mediante inteligencia artificial.

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 Concepto de suelo

El concepto de terreno o suelo, adquiere una definición diferente de acuerdo a la disciplina desde la cual se analiza, en el presente caso el suelo esta compuesto por los factores modificantes del paisaje y los atributos propios del mismo, siendo estos de tipo temporal, climático y humano por mencionar los más sobresalientes. Asociado a este se determinan los tipos de cobertura y uso. (Vargas, 1992; Lombo, 2008)

2.2 Uso del suelo

“El uso del suelo es un determinante en lo relacionado con el desarrollo de políticas ambientales en los países de economías primarias¹ (Lombo, 2008). Siendo el término uso definido como “la finalidad dada por el hombre a los diversos tipos de cobertura”².

En su afán por homogenizar los criterios alrededor del mundo respecto a los usos, la Unión Geográfica Internacional (UGI) establece nueve (9) categorías claramente definidas a saber (Vargas, 1992), los cuales son de amplia utilización en zonas rurales:

1. Centros poblados o tierras no agrícolas.
2. Tierras Horticultoras.
3. Árboles frutales y otros cultivos perennes.
4. Tierras de cultivo.
5. Pastos permanentemente mojados.
6. Praderas no mejoradas.
7. Tierras de bosques.
8. Pantanos y ciénagas.
9. Tierras improductivas.

¹ Las economías primarias se relacionan con aquellas con alta dependencia del sector agropecuario.

² La consideración de las formas de vegetación (fisonómico estructural), las características taxonómicas (florística), la relación entre terreno y cobertura (fisiográfica) por mencionar los más sobresalientes (Lombo, 2008).

Para el caso urbano, la caracterización se basa en las estructuras presentes en el área en estudio.

2.3 Planes de ordenamiento territorial

Como se anota en las secciones anteriores el concepto suelo está integrado por componentes, los cuales forman el territorio siendo este un ente dinámico el cual debe organizarse de acuerdo al desarrollo económico, social, cultural y ambiental tal como esta planteando en la ley 388 de 1997 (Parody, 2007; Vargas, 1992) donde se dictan los lineamientos de los POTs mediante los cuales se pretende cubrir las necesidades sociales, políticas, económicas y culturales de la sociedad.

2.4 Recolección de información

Los pasos involucrados en la recolección de información de fenómenos del tipo ambiental se puede observar en la figura 1

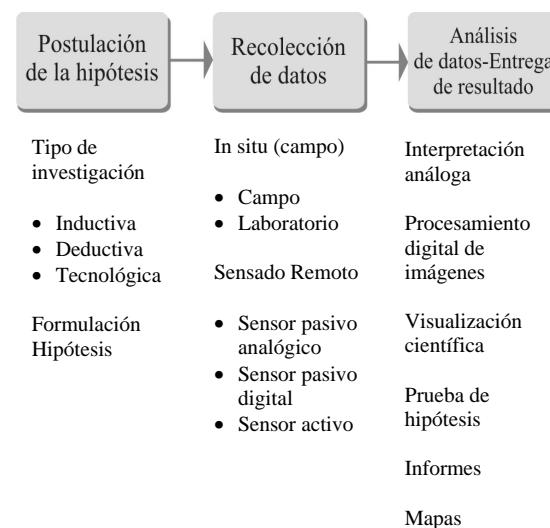


Fig. 1: Adaptación de procesos asociados al sensado remoto

Fuente: John Jensen, Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective. Edición 2. USA. Upper Saddle River, 1996. 318p.

La recolección de información en campo, se basa en la medición de las variables mediante sensores en contacto con la muestra. Siendo acondicionada dicha señal para realizar su análisis con posterioridad (Jensen, 1996; Kuehn, 2000).

Al momento de realizar estudios de cobertura del suelo mediante sensado remoto la imagen satelital (o fotográfica) es una herramienta fundamental, siendo posible en la misma observar elementos útiles para la clasificación como son: el tono, la

textura, patrón, forma, tamaño y ubicación geográfica, entre otros. La factibilidad de extraer información depende del tipo de registro realizado, la información espectral del mismo y la escala, entre otros.

2.5 Sensores remotos

El sensado remoto se basa en la determinación de las características de objetos distantes a través de las ondas electromagnéticas provenientes de ellos. Los orígenes de tal concepto se remontan a finales del siglo XX estando ligadas a los inicios de la fotografía en blanco y negro, siendo usada esta inicialmente como herramienta para la toma de decisiones bélicas logrando un papel de importancia en los conflictos ocurridos desde el momento (Jensen, 1996; Kuehn, 2000; Gibson et al., 2000).

En cuanto al análisis de fenómenos de naturaleza ambiental es notable el trabajo realizado mediante los satélites artificiales manejados por la misión *Earth Resources Technology Satellite*, los cuales iniciaron operaciones en 1972 con la puesta en órbita del ERTS I (denominado posteriormente Landsat^{*} I), siendo en la actualidad el satélite Landsat 7 y las imágenes provenientes de él, la fuente primaria de información por excelencia para dichos fenómenos (Vincent, 1997; Gibson et al., 2000).

3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

3.1 Conceptos generales

Una considerable cantidad de trabajos de interpretación e identificación en sensado remoto se realizan de manera manual mediante la intervención de un operario, el cual realiza la revisión visual de las imágenes estando estas en formato digital o análogo.

Cuando la información se encuentra en formato digital, las tareas relacionadas con la clasificación pueden realizarse mediante análisis estadístico basado en herramientas computacionales, siendo ellas las encargadas de la extracción e

identificación de las características presentes en la imagen.

A pesar de las ventajas de una metodología sobre la otra, no son excluyentes. Por lo regular el análisis de dicha información se realiza utilizando una mezcla de ambas metodologías siendo el operario el encargado de la decisión final acerca de la utilidad y relevancia de la información extraída.

La imagen satelital es una representación en píxeles del comportamiento de la superficie terrestre siendo esta información sensible a la manipulación a fin de extraer de ella información relevante. Debido a la naturaleza digital de los sensores, la radiancia³ para cada banda espectral debe discretizarse asignándole un valor entero denominado Valor de Número Digital (DN, por su acrónimo americano) el cual es una relación de la radiancia espectral y una constante de proporcionalidad. (Vincent, 1997) El DN para cada banda espectral se halla comprendido en el rango de valores de 0 a 255

$$DN(i) = q(i)L(i)$$

Donde L(i) corresponde a la radiancia espectral, la cual está relacionada con la longitud de onda de la banda *i*th y *q(i)* es una constante de proporcionalidad

3.2 Procesamiento de la imagen

Antes de analizar cualquier información proveniente de un satélite se deben considerar los defectos entre los cuales es posible encontrar:

- La corrupción de información en los medios de distribución
- Las distorsiones de escala en las imágenes
- Defectos en el sistema de sensado lo cual originará imágenes defectuosas
- La pérdida de datos durante la transmisión desde el satélite a la estación terrestre

Dichas fallas no son comunes en las imágenes satelitales disponibles comercialmente, sin embargo dicha labor se ubica entre las tareas necesarias previas a la clasificación y discriminación, siendo denominadas pre procesamiento o acondicionamiento. Por otro lado,

* La denominación Landsat corresponde a la serie de satélites artificiales manejados por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) actualmente se han desarrollado siete versiones siendo señaladas las imágenes como Landsat *x*; siendo *x* el número del satélite del cual provienen.

³ Se define como el flujo radiante por unidad de ángulo sólido, que sale de una superficie emisora en una dirección dada, por unidad de área en esa dirección

la pérdida de información es un evento posible debido a las condiciones climáticas presentes al instante de realizar la toma. (Araki, 2005; Medina, 2004)

Posteriormente a las correcciones realizadas durante el pre-procesamiento y considerando el objetivo del estudio se establece los criterios a resaltar, dichos criterios se pueden resaltar mediante técnicas de mejoramiento o transformación siendo considerados los dos procesos a continuación.

El mejoramiento comúnmente considera la combinación de una o varias de las opciones relacionadas a continuación:

- Redistribución de la información estadística de la imagen.
- La manipulación de las características del espacio de color (Intensidad, Saturación y Pureza o Hue).
- Filtrado.

La transformación involucra la manipulación de múltiples bandas mediante operaciones matemáticas con las cuales se obtiene una nueva imagen con características resaltadas. (Araki, 2005; Donnay ,2001; González, 2004)

Dentro del concepto de transformación, una de las operaciones más comunes es la substracción de bandas a fin de examinar cambios, siendo esta la técnica por excelencia en estudios de deforestación en los cuales se emplean imágenes tomadas en diferentes puntos temporales a fin de realizar con ellas un estudio multitemporal⁴. (Vargas, 1992; Araki, 2005; Richards, 1993).

Una de las técnicas mas empleada radica en la reducción de la información redundante presente en la imagen sin que ello implique perdidas importantes de información, dicho objetivo se logra mediante el uso del análisis de componentes principales (ACP)⁵. Siendo dichos componentes una combinación lineal de las variables originales, al emplear el ACP se observa como el noventa (90) por ciento de la información presente en la imagen se ubica en los tres (3) primeros componentes.

⁴ Se designa de tal manera el estudio comparativo basado en información proveniente del mismo punto, tomadas con periodos de tiempo entre ellas.

⁵ Se plantea una nueva relación entre las variables con la cual se reduce la cantidad de estas transformándose la información en componentes

3.3 Métodos de clasificación

Durante la clasificación, el operario usa elementos visuales similares para agrupar los píxeles representativos de cada cobertura o uso de interés. Para la clasificación digital la información espectral consignada en los DNs es la clave de la agrupación (Vincent, 1997; Gibson, 2000; Richards, 1993).

El objetivo de la tarea es, lograr la obtención de una imagen donde los píxeles⁶ vinculados por un tema en particular se hallen agrupados por categorías. Para ello se usa la clasificación supervisada ó la no supervisada; durante la supervisada el operario entrega al sistema información acerca de ciertas categorías a manera de criterio de comparación (valores de entrenamiento en el argot de la inteligencia artificial). La definición de dichas áreas se basa en el conocimiento previo por parte del operario de la zona. Por otro lado la clasificación no supervisada recibe los datos y mediante agrupación por características comunes genera las diversas clases presentes en la imagen.

3.3 Técnicas de procesamiento en frecuencia

Al momento de realizar procesamiento de imágenes es muy común la utilización de técnicas basadas en la transformada de Fourier, no obstante hace aproximadamente veinte años aparece un concepto matemático originado en funciones planteadas a partir de pequeñas ondas de frecuencia variable y duración limitada denominas *wavelets* (ondeletas).

Las técnicas de análisis *Wavelet* emplean regiones de tamaño variable, siendo funciones matemáticas encargadas de dividir los datos en sus diversas componentes en frecuencia y analizar cada componente de acuerdo a una escala definida en el momento de iniciación del análisis. Dicho concepto presenta grandes fortalezas en situaciones en las cuales la señal incluye discontinuidades importantes.

El análisis con la transformada *wavelet* consiste en comparar la señal con ciertas funciones *wavelet*, las cuales se obtienen a partir de una función básica, denominada *wavelet* madre. La comparación permite obtener unos coeficientes susceptibles de interpretación y posterior manipulación.

⁶ Corresponde a la menor unidad de información presente en una imagen digital

Desde el momento de su planteamiento dicho concepto ha demostrado su versatilidad al momento de realizar la codificación de señales (versión discreta) y en el análisis de señales (versión continua) reemplazando a menudo a la Transformada de Fourier. Entre sus aplicaciones mas comunes es posible encontrar; la dinámica molecular, la astrofísica, la óptica, el procesamiento digital de imágenes, el análisis de electrocardiogramas y algunos conceptos de biometría (Walker, 1999; Vega, 2004; Mallat, 1999; Vega, 2004).

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

El trabajo se dividió en tres fases siendo ellas definidas por sus productos:

- Fase I Revisión conceptual y desarrollo de pruebas mediante el uso de la *toolbox wavelet* del Matlab.
- Fase II Desarrollo de la metodología y diseño de un aplicativo basado en Java usando el análisis ACP.
- Fase III Discriminación de usos del suelo mediante Inteligencia Artificial, en desarrollo.

A continuación se revisaran los resultados obtenidos en cada una de las fases.

El aplicativo es desarrollado considerando los principios de la fundación para el software libre (FSL) siendo elaborado mediante la IDE Eclipse para Java al cual se lleva la imagen satelital para realizar el pre-procesamiento y la clasificación correspondiente. Como técnica de desarrollo se utiliza la metodología estructurada orientada al proceso, implementada mediante el ciclo de trabajo de tipo espiral donde cada iteración del proceso entrega un producto más maduro y completo

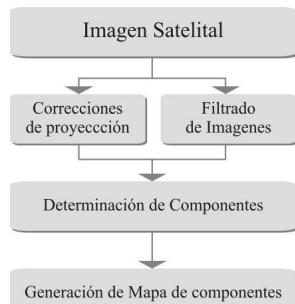


Fig. 2: Procesos desarrollados
Fuente: Desarrollo del proyecto

4.1 Descripción de la metodología

- Discriminación de las bandas componentes de la imagen para su posterior pre-procesamiento
- Preparación de la imagen por componente, la imagen se somete al proceso de filtrado siendo realizado mediante filtros basados en la transformada *wavelet*.
- Creación del patrón de comprobación para el proceso de clasificación basado en los lineamientos del POT.
- Segmentación y determinación de las clases obtenidas a partir de las componentes obtenidas empleando IA.
- Reconstrucción de la imagen a partir de sus componentes.
- Comparación de los resultados obtenidos con las clasificaciones definidas en el patrón de comprobación.

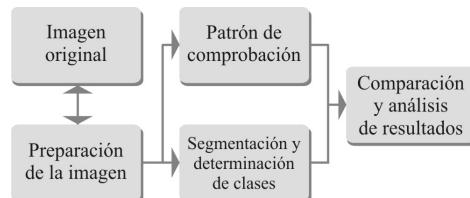


Fig. 3: Metodología utilizada

4.2 Clasificadores de la imagen basados en IA

La Inteligencia Artificial (IA) se encuentra implícita en gran cantidad de actividades, siendo la visión artificial uno de ellas teniendo por objetivo la identificación de objetos o personas, determinación de posiciones, establecimiento de relaciones espaciales entre objetos.

Durante la utilización de la visión artificial se consideran tres etapas básicas:

1. *Procesamiento*: se constituye en la extracción de las características de bordes, gradientes y colores.
2. *Análisis*: Los componentes antes extraídos se agrupan a fin de realizar las tareas de segmentación.
3. *Aplicación*: Se orienta a la interpretación de la información obtenida en las etapas previas, generalmente considerando conocimiento obtenido a priori.

Concentrándonos en la etapa concerniente al análisis, esta es posible realizarla mediante técnicas

de clasificación basadas en redes neuronales artificiales (RNA⁷) del tipo multicapa.

Dichas RNAs se componen de unidades básicas denominadas neuronas, las cuales reciben como entrada una señal obteniendo a su salida una respuesta determinada por las características propias de la red a la cual pertenecen. Dichas RNAs emplean unos patrones de referencia los cuales se denominan conjunto de datos de entrenamiento, a partir del cual el sistema plantea una regla/modelo generalizado en base al cual generara las salidas al momento de recibir la entrada de la información a analizar.

Para el caso en estudio el conjunto de datos de entrenamiento corresponde a zonas con características espectrales particulares, como son los depósitos de agua, vegetación en estado vegetativo⁸ y vegetación en estado generativo⁹.

Dichos patrones de referencia sirven para ajustar el comportamiento de la red, procurando obtener el menor valor en la función error correspondiente a la red en cuestión, logrado esto se entregan los datos a analizar para obtener los resultados.

Al respecto es posible encontrar trabajos en diversas áreas del conocimiento (Betancor, 2008; Berbel, 1989; Tadeo et al., 2002).

4.3 Área de estudio

Se utilizan imágenes del área metropolitana de Bucaramanga (AMB).¹⁰ De dicha área se seleccionan doce (12) imágenes pertenecientes al componente urbano haciendo énfasis en aquellas en las cuales es posible observar comportamientos espectrales diversos. Las doce (12) escenas¹¹ se listan a continuación:

Bucaramanga:

1. Sector comprendido entre la calle 7 y 12 con carreras 21 y 23.
2. Campus Universitario UIS sede Central.
3. Sector calle 45 con carrera 1 y carrera 3 Occ.

⁷ Constituyen un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático de información inspirado en el funcionamiento del sistema nervioso de los animales

⁸ Estado juvenil de crecimiento y desarrollo

⁹ La planta entra en un estado de reproducción o la muerte

¹⁰ Conformada esta por los municipios de Bucaramanga, Girón, Floridablanca y recientemente Piedecuesta, creada mediante ordenanza No 20 de 1981.

¹¹ Porciones de una imagen de mayor tamaño

4. Sector Estadio Alfonso López.
5. Sector carrera 17 y carrera 20 con calle 16 y calle 18.
6. Sector Calle 18 y calle 32 con carrera 27.
7. Sector Polideportivo Las Américas.

Girón:

1. Sector Girón entrada palenque Zona industrial.
2. Sector Cárcel de mujeres.

Floridablanca:

1. Sector Anillo vial a la altura de Papi quiero piña.
2. Sector Floridablanca Planta de tratamiento Aguas residuales Petar.
3. Sector anillo vial Floridablanca-Girón Barrios.

4.4 Resultados

A continuación se revisa la respuesta obtenida al realizar el análisis de una zona correspondiente al casco urbano de Floridablanca usada durante el trabajo realizado en la fase I y la fase II siendo esta una zona con gran presencia de vegetación en sus diversos estadios.¹²



Fig. 6: Imagen sector barrios anillo vial Floridablanca

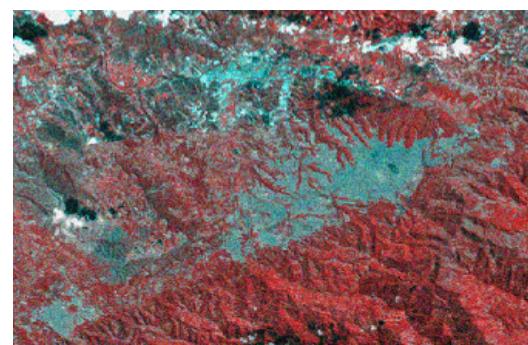
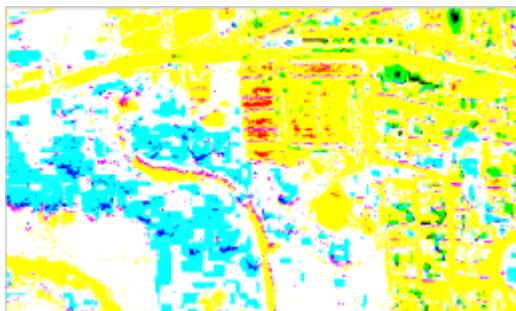


Fig. 7: Resultado de la clasificación Fase I

¹² Siendo estos sus etapas de desarrollo: plántula, arbusto

*Fig. 8: Resultado de la clasificación Fase II*

De las graficas se infiere la superioridad del ACP como elemento clasificador respecto a la transformada *wavelet*, obteniendo zonas definidas de acuerdo al comportamiento espectral de los diversos componentes presentes, los cuales se listan a continuación:

1. Amarillo. Calles, edificaciones - Cuerpos poco reflectivos.
2. Cyan. Vegetación en estado vegetativo.
3. Negro. Nubes, agua.
4. Rojo. Suelos desnudos.
5. Blanco. Vegetación en estado generativo.

Clasificación

Como resultado de la fase II se resalta la obtención de perfiles de uso más definidos respecto a los resultados obtenidos en la fase I siendo ellos de carácter aceptable para un análisis de tipo exploratorio, sin embargo para el caso de la tesis considerada se concluye que para una correcta clasificación basada en los usos del suelo deben involucrarse técnicas de análisis automático como mecanismos de discriminación, lo cual corresponde al trabajo en curso definido dentro de la fase III.

Pre-procesamiento

Como técnica de pre-procesamiento la transformada *wavelet* juega un papel de importancia al momento de preparar la información para su introducción al mecanismo de clasificación, convirtiéndose en pieza clave de la fase II y III.

5. CONCLUSIONES

El uso de imágenes satelitales como fuente de información para el análisis de comportamientos presenta notables ventajas debido a su naturaleza multiespectral, siendo la técnica empleada muy específica de acuerdo a la temática del estudio.

El uso de la técnica basada en el análisis de componentes principales arroja resultados notablemente superiores a los obtenidos durante la realización de la fase I, en la cual se empleo la transformada *wavelet* como elemento clasificador.

Durante la elaboración de las pruebas se observa la eficiencia de la técnica ACP respecto a la transformada *wavelet* en términos de la gestión de recursos de la herramienta computacional (Araki, 2005; Walker, 1999; Vega, 2004; Daubechies, 1992; Mallat, 1999; Tadeo et al., 2002, ;Tang, 2000; Medina, 2004) Sin embargo considerando el comportamiento sobresaliente de la transformada *wavelet* al momento de realizar la remoción de ruido presente en la imagen se constituye en pilar constitutivo de la aplicación en sus etapas posteriores a nivel del preprocesamiento de información.

La transformada *wavelet* se constituye en una poderosa herramienta al momento de manejar imágenes debido a sus propiedades, siendo las *wavelets* de tipo biortogonal las de mejor comportamiento. A pesar de tratarse de un concepto con grandes ventajas tanto para el análisis, como la compresión de imágenes es reducida su utilización a nivel de pregrado.

Como recomendación para trabajos relacionados con la clasificación y parametrización de características sean estas provenientes de imágenes o sensores se hace necesario involucrar técnicas diseñadas con tal fin como pueden ser los algoritmos matemáticos o técnicas de inteligencia artificial, lo cual se constituye en el objetivo del trabajo de la fase III. (Addinson, 2002; Tang, 2000; Medina, 2004).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la VIE de la UIS, por el apoyo y financiación brindado al proyecto titulado “estudio y diseño conceptual de una ayuda técnica exoesqueleto” código 5546, de donde surge el presente artículo de investigación.

REFERENCIAS

- E, Vargas. Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de Imágenes: Bogota: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1992, pp. 120.

- R Lombo: Ecología y Usos del Suelo [revisado mayo 10 2008] disponible en internet URL:<http://www.sogeocol.edu.co/documentos/Ecologia.pdf>
- Jensen R. Introductory Digital Image Processing Second edition: USA: Prentice Hall, 1996.
- F. Kuehn. *Remote sensing for site characterization*, USA: Editorial Springer, 2000.
- R.Vincent Fundamentals of geological and environmental remote sensing USA: Prentice Hall, 1997.
- H. Araki. Fusão de informações espectrais, altimétricas e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial. Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005. Tesis doctoral Facultad de Geodesia y ciencias de la información.
- J Donnay. *Remote Sensing and Urban Analysis*, Premier edition. London: Taylor y Francis, 2001. 268P
- P. Gibson, C. Power., Introductory Remote Sensing Principles and Concepts V.2: Routledge. London, 2000.
- J. Richards Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction, Berlin: Ed Springer Verlag, 1993.
- J Walker. *A primer on wavelets and their Scientific applications*. USA: Editorial CRC, 1999.
- V. Vega. Aplicación de la Transformada Wavelet discreta (TWD) en la detección e identificación de eventos de la calidad de la energía eléctrica, Bucaramanga. UIS, 2004 Tesis de Pregrado Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
- R Gonzalez, R. Woods. *Digital Image Processing using Matlab*. Upper Saddle River: Pearson - Prentice Hall, 2004, pp. 954.
- I. Daubechies. *Teen Lectures on Wavelets*, USA, SIAM, 1992.
- S. Mallat. *A wavelet tour of signal processing*. Second edition, USA Prentice Hall, 1999.
- P. Addison. *The illustrated Wavelet transform Handbook*. Second Edition. London Institute of Physics, 2002.
- F. Tadeo, T., Álvarez, S. González. Seguimiento de la cristalización de azúcar mediante procesado de imagen con wavelets Valladolid, Universidad de Valladolid 2002 Tesis de pregrado Departamento de Sistemas y Automática.
- Sistema de reconocimiento de matrículas basado en vision artificial para control de acceso, [online], 2008 [citado: Octubre de 2009] Betancor Antonio Ignacio, Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/725/1/pfm21.pdf>
- La inteligencia artificial en la agricultura: Perspectivas de los sistemas expertos [online], 1989 [citado: Octubre de 2009], Berbel Vecino Julio, Disponible en: http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reas/r149_02.pdf
- Y. Tang, I Yang. *Wavelet theory and its application to pattern recognition*, USA: World Scientific, 2000.
- R Medina, I. Lizarazo. *Fusión de imágenes satelitales usando la transformadora de wavelet*. Bogotá, Universidad Francisco José de Caldas, 2004.
- Wavelet smoothing of fMRI activation images" [online], 2002 [citado: Agosto de 2008]. University College, London. Disponible en: www.fil.ion.ucl.ac.uk/~wpenny/publications/wave.pdf. (<http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/Demosweb/PDFs/cajav14.pdf>).

Recibido: 19 de junio de 2009
Aceptado: 31 de agosto de 2009

TELEDIAGNOSIS OF PARKINON'S DISEASE USING FUZZY CLASSIFIER
CLASIFICADOR DIFUSO PARA DIAGNÓSTICO DEL MAL DE PARKINSON
VÍA TELEFÓNICA

Vanessa Caraballo, Cristian Cuadrado, Erick Herazo, Benjamín Pérez
PhD. Juan Antonio Contreras Montes

Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla
 Escuela Naval Almirante Padilla, Facultad de Ingeniería Naval
 Cartagena, Colombia, Tel.: 57-5-6694124.
 E-mail: epcontrerasj@ieee.org

Abstract: We present a novel method for diagnosis of Parkinson's disease by measuring of dysphonia. A fuzzy identification method is applied for discriminating healthy people from people with Parkinson's disease. The main aim is to discriminate healthy people from those with Parkinson disease from a dataset what is composed of a range of biomedical voice measurements from 31 people, 23 with Parkinson's disease (PD). The overall correct classification performance is upper than 95%.

Keywords: Parkinson's disease, dysphonia, fuzzy classifier, telemedicine

Resumen: En este artículo se presenta un novedoso método para el diagnóstico de la enfermedad de Parkinson a partir de una medida de disfonía. Se describe la aplicación de un algoritmo difuso de aproximación como clasificador para diferenciar entre pacientes saludables y pacientes con la enfermedad de Parkinson utilizando como entradas medidas de la voz del paciente que pueden ser adquiridas vía telefónica. Se presentan aplicaciones para el diagnóstico de la enfermedad de parkinson a partir de una base de datos que contiene 23 atributos relacionados con la medida de disfonía en los pacientes consultados, alcanzando una precisión superior al 95%.

Palabras clave: enfermedad de Parkinson, disfonía, clasificador difuso, telemedicina.

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Parkinson es una enfermedad degenerativa del sistema nervioso, un trastorno que afecta las células nerviosas, o neuronas, en una parte del cerebro que controla los movimientos musculares. Esto es ocasionado por la disminución en la producción de una sustancia química llamada dopamina debido a la muerte paulatina de las neuronas que producen. La dopamina se encarga de enviar señales que ayudan a coordinar los movimientos.

Los síntomas de la enfermedad de Parkinson pueden incluir: temblor en las manos, los brazos, las piernas, la mandíbula y la cara; rigidez en los brazos, las piernas y el tronco; lentitud de los movimientos y problemas de equilibrio y coordinación.

A medida que los síntomas empeoran, puede presentarse otros problemas como depresión, trastornos del sueño o dificultades para masticar, tragar o hablar.

El diagnóstico de un paciente con la enfermedad de Parkinson se hace tomando como base los síntomas de la persona y su historial médico. No existe ninguna prueba de sangre ni ninguna radiografía que pueda mostrar si una persona tiene la enfermedad de Parkinson, aunque algunos tipos de rayos x pueden ayudar al especialista para asegurarse que no es algo más lo que está causando los síntomas presentes en el paciente.

Estudios muestran que el 90% de los pacientes afectados con la enfermedad de Parkinson presentan trastorno de la voz (Ho et al., 1998), o disfonía, por lo que ese trastorno puede ser considerado como un indicador temprano del mal de Parkinson (Duffy, 2005). Es decir, la medida de la voz puede ser útil para descubrir y rastrear la progresión de los síntomas del parkinson (Rosen et al, 2006), lo que ha motivado un creciente número de investigaciones para detectar esta enfermedad a partir de un análisis de la voz (Little et al., 2008; Sakar and Kursun, 2009;), con el fin de poder diagnosticar al paciente de manera remota evitándole el traslado al sitio de atención médica.

2. CLASIFICADOR BORROSO

El algoritmo de clasificación se basa en un algoritmo de identificación borrosa (Contreras et al., 2007a; Contreras et al., 2008) que es empleado para aproximar a una función discontinua que representa valores numéricos asignados a cada clase.

2.1 Algoritmo de Identificación Borrosa

El algoritmo para generación de sistemas borrosos interpretables a partir de los datos se basa en la minimización del error de inferencia. El usuario solo debe introducir los datos de las variables de entrada y salida. El algoritmo determina los rangos de cada variable, distribuye las funciones de pertenencia en los universos de cada variable de entrada, ubica los consecuentes tipo *singleton* en el espacio de salida, determina las reglas y ajusta la ubicación de los consecuentes, empleando mínimos cuadrados, para minimizar el error de aproximación. El algoritmo se detiene cuando se ha alcanzado una métrica de error menor a la requerida por el usuario o cuando el número de conjuntos borrosos por variable de entrada es mayor a 9. La distribución de las funciones de pertenencia en cada universo de entrada se hace de manera uniforme para garantizar que la partición resultante sea suma 1; es decir, la suma de los grados de pertenencia de un dato en una variable de entrada será siempre igual a 1.

Dado una colección de datos experimentales de entrada y salida $\{x_k^{(i)}, y^{(i)}\}$, con $i = 1 \dots N$; $k = 1, \dots, p$, donde $x_k^{(i)}$ es el vector de entrada p -dimensional $x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_p^{(i)}$ e $y^{(i)}$ es el vector unidimensional de salida

- Organización del conjunto de p variables de entrada y una variable de salida, cada una con N datos.

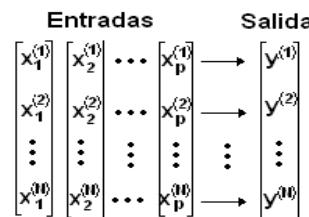


Fig. 1: Organización del conjunto de datos

- Determinación de los rangos de los universos de cada variable de acuerdo a los valores máximos y mínimos de los datos asociados $[x_k^-, x_k^+]$, $[y^-, y^+]$.
- Distribución de las funciones de pertenencia triangulares sobre cada universo. Se tiene como condición general que el vértice con valor de pertenencia uno (valor modal) cae en el centro de la región cubierta por la función de pertenencia mientras que los otros dos vértices, con valor de pertenencia iguales a cero, caen en los centros de las dos regiones vecinas. Para poder aproximar eficientemente los extremos inferior y superior de una función representada por los datos es necesario que en la partición triangular las funciones de pertenencia que cubren el inicio y final del universo coincidan sus vértices con valor de pertenencia uno con sus vértices izquierdo y derecho respectivamente, como se aprecia en la figura 2. Se inicia con $n = 2$ conjuntos triangulares.

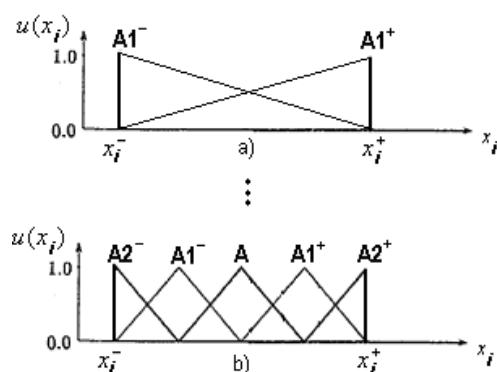


Fig. 2: Partición triangular suma 1. a) partición inicial, $n = 2$; b) partición con $n = 5$

- Cálculo de la posición de los valores modales de la(s) variable(s) de entrada, de acuerdo a

$$\text{Si } u_{A_k^{(n)}}(x_k^{(i)}) = 1$$

$$\text{Entonces, } ys_k^{(n)} = y[i] \quad (7)$$

Donde $ys_k^{(n)}$ corresponde a la proyección sobre el espacio de salida de la evaluación del dato $x^{(i)}$ de la k-ésima variable de entrada en el n-ésimo conjunto de la partición correspondiente. El valor de la salida correspondiente a dicha proyección está dado por el valor de la i-ésima posición del vector de salida y , el cual se constituye en el singleton asociado a ese conjunto. De esta manera se aplica el criterio de error de inferencia nulo empleando consecuentes tipo singleton.

- e. Determinación de las reglas. El número máximo de reglas está determinado por el número de conjuntos de cada variable de entrada multiplicado por el número de variables; es decir igual a $n \times k$, que es igual al número de singltons generados en el paso anterior. Cuando existen singltons ubicados en la misma posición, se combinan los antecedentes de acuerdo a (4) en una sola regla, lo que permite reducir el número de reglas.
- f. Validación del modelo empleando el método de inferencia descrito por (5), donde \bar{y}^j es el valor del singleton correspondiente a la regla j .
- g. Ajuste de los parámetros, reubicando los singltons de salida mediante el empleo del método de mínimos cuadrados. La ecuación (5) puede expresarse de la forma

$$f(x^{(i)}) = \sum_{j=1}^L w_j(x^{(i)}) \bar{y}^j \quad (8)$$

Donde

$$w_j(x^{(i)}) = \frac{m_j(x^{(i)})}{\sum_{j=1}^L m_j(x^{(i)})} = w_j^i \quad (9)$$

La ecuación (8) puede expresarse en forma matricial como $Y = Wq + E$, donde Y representa los valores de salida reales, Wq representa la salida del modelo borroso, siendo W es la matriz de grados de pertenencia obtenida de (9) y q el vector de consecuentes, y E es el error de aproximación que debe ser minimizado. Es decir:

$$\begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1^1 & w_2^1 & \dots & w_L^1 \\ w_1^2 & w_2^2 & \dots & w_L^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1^n & w_2^n & \dots & w_L^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{y}^1 \\ \bar{y}^2 \\ \vdots \\ \bar{y}^L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

Empleando la norma del error cuadrático se tiene

$$E^2 = (Y - Wq)^2 = (Y^2 - 2YWq + (Wq)^2) \quad (11)$$

La solución a este problema de mínimos cuadrados está dada por

$$\frac{\partial E^2}{\partial q} = 0 = -2YW + 2W^T Wq \quad (12)$$

de donde se obtiene

$$q = \frac{Y^T W}{W^T W} = (W^T W)^{-1} Y^T W \quad (13)$$

Esta solución es válida si $(W^T W)$ es no singular, lo que quiere decir que todas las reglas deben recibir suficiente excitación durante el entrenamiento. En la práctica esto no es siempre posible, por lo que es recomendable recurrir a la aplicación de mínimos cuadrados recursivos, buscando garantizar que la adaptación solo afecte las reglas excitadas

- h. Terminar si la medida del error cuadrático medio MSE es menor a una medida previamente establecida ó si el número de conjuntos por variable de entrada es mayor a 9. De otra manera, incrementar en 1 el número n de conjuntos de la variable de entrada y volver al paso c).

Con el algoritmo descrito se consigue un modelo borroso interpretable con una buena precisión y solo se requiere del ajuste de los parámetros del consecuente, que son tipo singleton, lo que disminuye el tiempo de entrenamiento. Es posible lograr una mayor aproximación (“ajuste fino”) si al finalizar el proceso mencionado se aplica el método del gradiente descendente para ajustar la ubicación de los valores modales de los conjuntos triangulares del antecedente, conservando la partición suma 1 y, por lo tanto la interpretabilidad del sistema, como explica Espinosa et al. (2005).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo es poder discriminar las personas saludables de aquellas que padecen el mal de parkinson, a partir de información extraída de una base de datos creada por Max Little, de la Universidad de Oxford, en colaboración con el National Centre for Voice and Speech, en Denver, Colorado, quienes grabaron las señales de voces (Max Little et al, 2007, 2008).

La base de datos está compuesta por una serie de medidas biomédicas de la voz realizada a 31 personas, 23 de ellas afectadas por el mal de Parkinson. Cada columna en la tabla representa una particular medida de la voz. La columna 17, denominada "status", asigna 0 para las personas saludables y 1 para las que padecen de Parkinson. Cada fila corresponde a cada una de las 195 grabaciones realizadas a cada uno de los individuos participante. Hay alrededor de seis grabaciones por paciente. Los datos están en un formato ASCII CSV.

La tabla o matriz de datos tiene los siguientes atributos:

- name – ASCII: identificación del paciente y número de la grabación
- MDVP:Fo(Hz): Promedio de la frecuencia fundamental vocal
- MDVP:Fhi(Hz): Máximo de la frecuencia fundamental vocal
- MDVP:Flo(Hz): Mínimo de la frecuencia fundamental vocal
- MDVP:Fluctuación(%),
- MDVP: Fluctuación(valor absoluto),
- MDVP:RAP,MDVP:PPQ,Jitter:DDP: Varias medidas de la variación en la frecuencia fundamental
- MDVP:Shimmer,MDVP:Shimmer(dB),Shimmer:APQ3,Shimmer:APQ5,MDVP:APQ,S himmer:DDA: Varias medidas de la variación en amplitud
- NHR, HNR: Dos medidas de la relación de ruido a componentes tonales en la voz
- Status: estado de la salud: Persona saludable (1) –Persona con mal de parkinson (0)
- RPDE, D2: Dos medidas de la complejidad dinámica no lineal
- DFA: exponente de escala de la señal fractal
- spread1, spread2, PPE: Tres medidas no lineales de la variación de la frecuencia fundamental

4. RESULTADOS

El proceso de entrenamiento se realizó de tal manera que el modelo difuso aproxima a la función discontinua de 1 y 0 dada por el estado del paciente. Es decir, el modelo borroso

inicialmente generado es más un aproximador que un clasificador. Se consideraron las 22 variables de entrada y se realizaron pruebas variando el número de conjuntos difusos desde 2 hasta 9. Es decir, el número de conjuntos difusos triangulares (y por ende de reglas) variará entre un máximo de 44 (para 2 conjuntos difusos por variable de entrada) hasta un máximo de 198 (para 9 conjuntos difusos por variable de entrada). La figura 3 muestra la variación del error cuadrático medio con respecto al número de conjuntos difusos por variable de entrada.

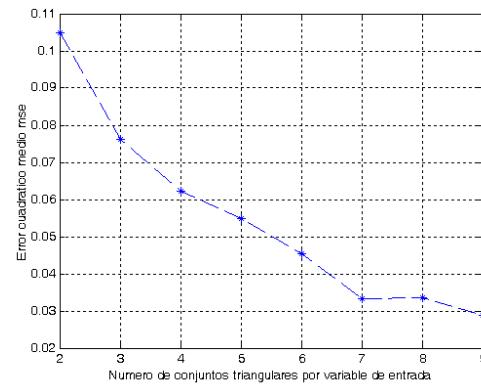


Fig. 3: Variación del error cuadrático medio del modelo borroso con respecto al número de conjuntos difusos por variable de entrada

A manera de ilustración, consideremos 3 conjuntos difusos por variable de entrada. Las etiquetas para los conjuntos difusos se pueden asignar como Bajo S, Medio M y Grande B. En este caso habrá 66 consecuentes tipo *singleton*. La salida del modelo difuso estará dada por

El modelo borroso toma los datos de entrada y genera una salida que trata de aproximarse a la salida real (estado del paciente), como se muestra en la figura 4.

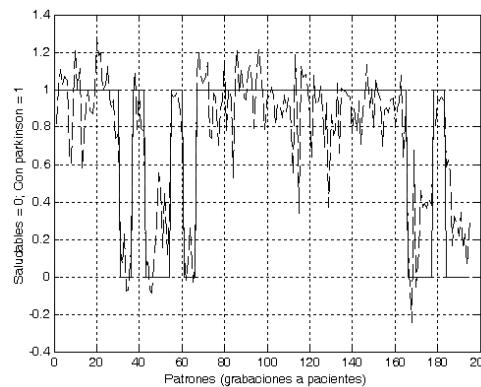


Fig. 4: Comparación entre la salida real (estado real del paciente) y la salida del modelo borroso

En el caso del diagnóstico de parkinson que se trata en esta investigación, la salida del modelo borroso debe tomar solo dos valores: 1 y 0. Por lo tanto, se procedió a agregar a la salida del modelo una función de discriminación, así:

*Si y^L es mayor a 0.5, entonces
 y^L se hace igual a 1*

*En caso contrario
 y^L se hace igual a 0*

De esta manera se consiguió la aproximación mostrada en la figura 5, donde las "x" indican el diagnóstico del modelo borroso y las "o" indican el diagnóstico real

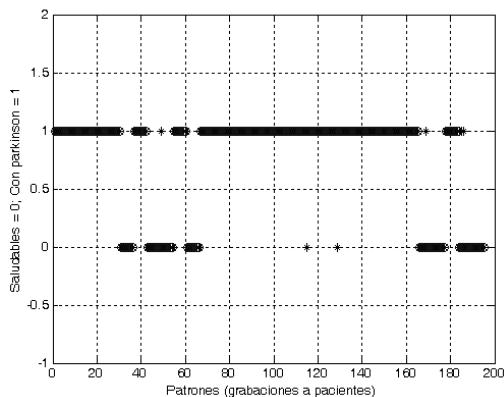


Fig. 5. Comparación entre el diagnóstico real (o) y el diagnóstico del modelo borroso (x)

Se puede apreciar que el sistema solo presentó 8 desaciertos en 195 diagnósticos; es decir, presenta una efectividad del 95.9%, la cual es superior a la encontrada en la literatura, la cual es del 95% (Little et al, 2008)

5. CONCLUSIONES

Se presentó un método de clasificación basado en lógica borrosa para detección de la enfermedad de Parkinson a partir del análisis de la voz. El método de clasificación es una derivación de un método de aproximación difusa que el autor ha desarrollado y aplicado anteriormente para el modelamiento de procesos complejos, y que solo requiere de la introducción del conocido condicional *IF-THEN-ELSE* para ser empleado como clasificador.

En el proceso de entrenamiento o de construcción de la estructura del modelo borroso no se requiere del apoyo de otras técnicas de Inteligencia Artificial, como redes neuronales o algoritmos genéticos; es decir, no es una técnica híbrida

El método propuesto alcanza la mayor precisión obtenida hasta ahora en la detección de la enfermedad de Parkinson a partir del análisis de la voz, lo que se constituye en un apoyo vital para el fomento de la telemedicina.

REFERENCIAS

- Contreras, J., Misa, R., Murillo, L., Paz J., Sarabia J. (2007). *Obtención de Modelos Borrosos Interpretables de Procesos Dinámicos*. RIAI: Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, vol. 5, No. 3, pp. 70-77.
- Contreras, J., Misa, R., Murillo, L., Paz J., Sarabia J. (2007) *Identificación Borrosa Eficiente Basada en Error de Inferencia*. Revista Tecnologías Avanzadas. Vol.1, No.9, pp. 62-67. Universidad de Pamplona. Colombia.
- Duffy, J.R., (2005). *Motor speech disorders: substrates, differential diagnosis, and management*. 2nd ed. St. Louis, Mo.: Elsevier Mosby.
- Ho, A.K., Lansek, R., Marigliani, C., Bradshaw, J.L. and Gates, S. (1998). *Speech impairment in a large sample of patients with Parkinson's disease*. Behav Neurol, vol. 11, pp. 131-137.
- Little, M. A., McSharry, P. E., Hunter, E. J., Ramig, L. O. (2008). *Suitability of dysphonias measurements for telemonitoring of Parkinson's disease*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 56(4):1015-1022.
- Rosen, K. M., Kent, R. D., Delaney, A. L., and Duffy, J. R. (2006). *Parametric quantitative acoustic analysis of conversation produced by speakers with dysarthria and healthy speakers*. Journal of Speech, Language and Hearing Research, vol. 49, pp. 395-411
- Sakar, C. O., Kursun, O. (2009). *Telediagnosis of Parkinson's Disease Using Measurements of Dysphonias*. Journal of Medical Systems

Recibido: 21 de julio de 2009
 Aceptado: 15 de septiembre de 2009

BAXSET: RECOVERY SYSTEM OF WEB SERVICES BASED ON A MODEL OF NAVIGATION TAXONOMY

BAXSET: UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE SERVICIOS WEB BASADO EN UN MODELO DE NAVEGACIÓN TAXONÓMICA

MSc. Jaime Alberto Guzmán Luna, Ing. Ingrid D. Torres Pardo
Est. Juan Camilo Jaramillo Alzate

SINTELWEB: Grupo de Investigación “Sistemas Inteligentes en la Web”
 Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
 Cll. 65, No. 80 -223, Bloq. M8A, Medellín, Antioquia, Colombia.
 E-mail: {jaguzman, jcjaramilloa}@unal.edu.co; durleytp@gmail.com

Abstract: This paper describes BAXSET, a system using Semantic Web techniques on a Multi-Agent platform, allows to classify, to search and to retrieve Web services. To accomplish this task, the system makes use of an ontology implemented in a specific knowledge domain and an interface that also displays the results of a query; it offers the possibility of browser on the ontological concepts, in order to classify services or specifying the intention to search.

Keywords: Semantic Web, Search of Web Services, Ontology Browser

Resumen: Este artículo describe BAXSET, un sistema que utilizando técnicas de la Web Semántica, sobre una plataforma Multi-Agente, permite clasificar, buscar y recuperar servicios Web. Para llevar a cabo esta tarea, el sistema hace uso de una ontología implementada en un dominio de conocimiento específico y una interfaz que además de desplegar los resultados de una consulta, ofrece la posibilidad de realizar una navegación sobre los conceptos ontológicos, a fin de clasificar servicios o precisar la intención de búsqueda.

Palabras clave: Web Semántica, Búsqueda de Servicios Web, Navegación de Ontología.

1. INTRODUCCIÓN

Tras varios años de existencia de los servicios web (Alonso et al., 2004), sigue siendo necesaria la interpretación de la información por parte de personal especializado, quedando patente la necesidad de dotarlos de semántica (Bulher y Vidal 2003).

Este déficit semántico de la web se intenta subsanar desde otra disciplina emergente: la Web Semántica (Berners-Lee, 2001), la cual se basa esencialmente en el concepto de ontologías (Gruber 1993): vocabularios de diversas

disciplinas, creados por consenso, en los que se describen conceptos y relaciones, con un significado semántico muy preciso. Combinados ambos servicios Web con Web semántica, se consiguen los popularmente conocidos, Servicios Web Semánticos (SWS) (Bulher y Vidal 2003).

Aunque los SWS están diseñados para interactuar con Agentes, no se debe olvidar que el usuario final de estos servicios puede ser un humano, quien muchas veces resulta ser un experto en un dominio específico, pero un inexperto en los temas de la informática y más directamente en el área de los servicios.

En este caso, se propone la intermediación de agentes especializados, que realicen las tareas de manera automática y transparente al usuario.

En esta dirección surge BAXSET, un sistema que a partir de una ontología que representa el dominio de experticia del usuario, permite clasificar, buscar y recuperar servicios (Benathallah et al. 2003) a través de un proceso de navegación por los conceptos pertenecientes a la ontología mencionada, soportándose para ello en una arquitectura Multiagente (Jennings 2001).

A manera de ejemplo y como caso de prueba del sistema desarrollado, se ha considerado un usuario experto en el tema de Artes plásticas, un dominio totalmente ajeno a las consideraciones tecnológicas de los servicios. Como resultado de tal consideración la ontología implementada representa los conceptos y relaciones del dominio de Artes.

En el presente documento, se describen las principales características de BAXSET, para lo cual se ha organizado de la siguiente forma: en la sección 2, se presenta una visión general del sistema detallando que módulos lo componen y en qué consiste la funcionalidad básica de cada uno de ellos; en la sección 3, se detallan los aspectos más importantes del módulo base del contexto, el cual representa y gestiona el conocimiento implementado en el dominio de experticia del usuario (Artes Plásticas), al igual que el conocimiento relacionado con la ontología de los servicios Web (ontología BaxSetProfile); en la sección 4, se describe el proceso de búsqueda y recuperación de Servicios Web implementado; en la sección 5 se explican las principales funcionalidades del modulo interfaz, con el cual se pretende mejorar los resultados presentados por el sistema, adicionado características como la navegación.

En la sección 6, se detalla, cómo se mantiene y actualiza el conocimiento en el repositorio de Servicios Web y finalmente la sección 7, que recopila y presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA BAX-SET

BAX-SET esta compuesto básicamente por 3 módulos (ver Fig.1.):

(1) **Módulo de Conocimiento**, el cual contiene el conocimiento relacionado con la Taxonomía Semántica y el repositorio de los Servicios Web Semánticos que maneja el sistema. Es decir este módulo se conforma de (a) la base de conocimiento que contiene la ontología instanciada en un dominio específico del conocimiento conformada por un conjunto de conceptos y sus relaciones jerárquicas y de asociación. Y (b) la base el conocimiento de los servicios Web Semánticos manejados por el sistema (ontología BaxSetProfile) al igual que sus respectivas especificaciones OWL-S (OWL-S 2003).

(2) **Módulo de Búsqueda y Recuperación Semántica**, el cual realiza el proceso de razonamiento para llevar a cabo la recuperación semántica de los servicios en respuesta a la consulta realizada por el usuario. Este módulo lo conforma el Agente de Búsqueda, en conjunto con el Agente Base del Contexto y el Agente Repositorio de SWS.

El agente de búsqueda coordina a los dos últimos agentes para realizar primero la búsqueda de los conceptos contenidos en la consulta del usuario y sus conceptos asociados en la Taxonomía Semántica (labor realizada por el Agente Base del Contexto) y luego con estos resultados realizar la búsqueda de los servicios Web semánticos clasificados bajo estos conceptos (labor realizada por el Agente Repositorio de SWS). (3) **Módulo de Interfaz**, el cual actúa como puente entre el usuario y el sistema, permitiéndole al primero navegar sobre la base del contexto, para que encuentre nuevos descriptores semánticos asociados a su intención de búsqueda que le permitan ampliar el rango de respuesta a la consulta que originalmente formuló. Este módulo está conformado por el Agente de Interfaz.

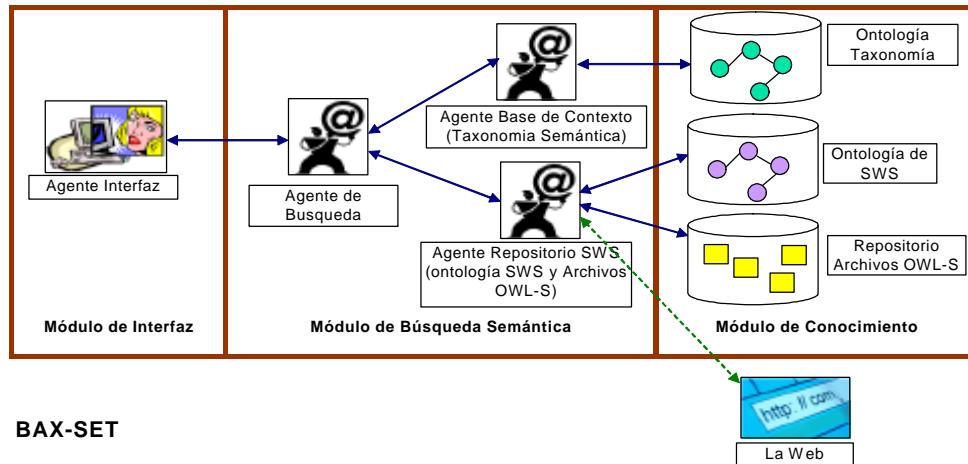


Fig. 1: Arquitectura del Sistema BAXSET

El sistema BAX-SET, le permite al usuario, realizar las siguientes funciones:

(1) **Cargar la Ontología del dominio**, el usuario explora su equipo local a fin de ubicar la ruta exacta donde se encuentra la ontología taxonómica, y así poder seleccionarla, informando al modelo que debe cargarla internamente.

(2) **Navegación Taxonómica**, en la interfaz del sistema, se presenta la porción de la estructura taxonómica asociado al concepto de intención de búsqueda. El usuario puede expandir su búsqueda para precisarla o ampliarla seleccionando los conceptos mucho más específicos asociados al concepto o seleccionando un concepto mucho más general respectivamente.

(3) **Categorizar los SWS**, el usuario ingresa la dirección de ubicación del SWS y selecciona los descriptores conceptuales que mejor se ajusten a la descripción funcional del SWS; esta labor la realiza bien sea digitando un concepto ontológico ó navegando a través de la ontología taxonómica. Adicionalmente, se genera una copia de la descripción semántica del servicio la cual es almacenada con un ID único.

(4) **Consultar por un Concepto**, el usuario, le ingresa al sistema un concepto, para que este le retorne instancias de SWS asociados a él. Adicionalmente, se presenta la estructura taxonómica correspondiente a la porción del concepto buscado, a fin de que el usuario expanda o precise su intención de búsqueda.

(5) **Recobrar Datos del SWS**, una vez identificados los servicios asociados al concepto consultado, algunos datos de esos servicios son mostrados al

usuario y este puede acudir a la dirección web del servicio o también puede elegir traerlo del repositorio local, a través del ID almacenado en el numeral 2.

(6) **Extender la Taxonomía**, para esto se le ingresa al sistema un concepto (según criterio del actor) y este entra a formar parte de una ontología taxonómica del sistema.

Para el desarrollo del sistema se siguió la metodología MAS-CommonKADS [Iglesias 1996] la cual da soporte a las etapas de conceptualización, análisis y diseño de un sistema Multi-Agente. Para su implementación se utilizó JADE [Bellifemine et al., 2003] que es una plataforma para el desarrollo de sistemas Multi-Agente basada en el lenguaje Java (Deitel y deitel 2004). Para la construcción del módulo del conocimiento y la ontología de interfaz de navegación, se utilizó el lenguaje OWL (OWL 2006) haciendo uso de la herramienta Protégé (Protégé 2000). De manera similar el conocimiento relacionado con las especificaciones de los servicios Web, reflejado en la ontología BaxSetProfile, se definieron a través de OWL-S y archivos OWL, ambos implementados bajo la plataforma Protégé

3. REPRESENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONOCIMIENTO

Como se citó anteriormente, este módulo compone la taxonomía semántica como una ontología de dominio de Artes y la ontología correspondiente al *BaxsetProfile* como especificación de los SWS.

Para la representación del conocimiento en la ontología de Artes, se siguieron los pasos sugeridos

en la metodología para la creación de ontologías “*Ontology Development 101*” (Noy, 2001), en donde sus principales recomendaciones consisten en: (1) determinar el dominio y ámbito de la ontología; (2) determinar la intención de uso de la ontología; (3) reutilizar ontologías o vocabularios controlados existentes; (4) enumerar los términos importantes del dominio; (5) definir la jerarquía de clases; (6) crear las instancias de las clases.

Como consecuencia de la metodología seguida se obtuvieron los siguientes resultados: (1) el dominio de la ontología es el tema de artes y su ámbito está asociado a los conceptos que rodean el plan de estudio del programa curricular de Artes plásticas de la Facultad de Arquitectura de la universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. (2) El de uso de la ontología es el de implementar un tesoro enriquecido semánticamente, mediante estructuras de conocimiento formalizadas (Gil Urdiciani, Blanca, 1996; Gómez-Pérez et al. 1996; López-Huertas, 1999), el cual podrá ser utilizado en la realización de tareas específicas tales como la indexación y la recuperación de Servicios Web Semánticos. (3) La reutilización de ontologías o vocabularios controlados era aplicable en este caso, ya que en la literatura existía la ontología *SKOS-Core* (SKOS-Core 2006), una ontología que ha sido creada precisamente para modelar conceptos bajo esquemas de tesoros, lo cual coincidía en gran parte con las intenciones de uso de la ontología que se prendía desarrollar. (4) Los términos más importantes en el dominio se extrajeron de la ontología del *SKOS-Core*, la cual tiene como elementos básicos el concepto (*skos:Concep*) y el esquema de conceptos (*skos:ConceptSchema*). Así, un concepto se define como “una unidad de pensamiento que puede ser definida o descrita” y un esquema de conceptos no es otra cosa que “una colección de conceptos”. De esta ontología, se retomaron para cada concepto la definición de las siguientes propiedades: el descriptor único ó término preferente (*skos:prefLabel*), los descriptores no-preferentes (*skos:altLabel*), los descriptores ocultos (*skos:hiddenLabel*) con los cuales se representaron los posibles errores de ortografía o de digitación que comete un usuario final al escribir cuando lo requiera uno de los descriptores de cada concepto, la definición del concepto (*skos:definition*) y su nota de alcance (*skos:scopeNote*). (5) Las relaciones entre los conceptos se representaron mediante el uso de las siguientes propiedades retomadas del SKOS-Core: *skos:narrower* y *skos:broader*, que representan las relaciones de jerarquía hacia conceptos específicos y generales respectivamente, y el *skos:related* que

representa la relación de asociación semántica entre los conceptos. (6) Se identificaron 209 conceptos, los cuales conforman un árbol jerárquico casi siempre hasta un tercer nivel. El primer nivel que es en el cual se encuentran los conceptos principales bajo el concepto Artes, esta conformado por ocho conceptos: Artes Plásticas, Temática, Soporte, Herramienta, Material, Género, Técnica y Época.

Otro producto asociado a este módulo esta representado en la ontología del servicio la cual se asocia con una semántica específica descrita en OWL-S. En esencia, OWL-S es una ontología que contiene los elementos fundamentales que caracterizan un servicio y que permite describir las capacidades que lo sustentan. Entre sus elementos aparece el *serviceProfile*, el cual para este caso específico, se usa como puente de asociación entre el concepto y el servicio. El *ServiceProfile*: Se enfoca a lo que hace un SW, ya que describe las propiedades necesarias de un SWS para su descubrimiento automático, en este caso se definió un identificador único del recurso para cada SW existente (*profile:serviceName_ID*), además en la propiedad del *Profile:serviceCategory* específicamente en el *profile:value*, se define el concepto de la taxonomía semántica (Ontología de Artes) con el cual se ha de asociar el SW. El nombre público del servicio se define en la propiedad *profile:serviceName*, en el *profile:textDescription* se especifica la descripción de la funcionalidad del servicio y finalmente, la dirección Web del servicio, la cual se almacena en *profile:comment*.

Los resultados anteriores permitieron primero, conformar la taxonomía semántica en el dominio de Artes, la cual fue implementada haciendo uso del lenguaje para ontologías OWL (Web Ontology Language 2004) y las herramientas Protégé (Protégé) y JENA (JENA (2006). Con el Protégé se implementó la Ontología y sus instancias y luego mediante JENA, estos dos productos se trasladaron a una base de datos hecha en MySQL (MySQL 1998) para su posterior manipulación.

En segunda instancia cada uno de los servicios fue implementado usando el editor de Ontologías OWL-S integrado al protégé 3.2.

En la Fig. 2. se señala un ejemplo del vínculo de asociación entre el concepto “Técnica” de la taxonomía semántica y un SW cuya funcionalidad es la compra de material de obras de arte de distintas técnicas.

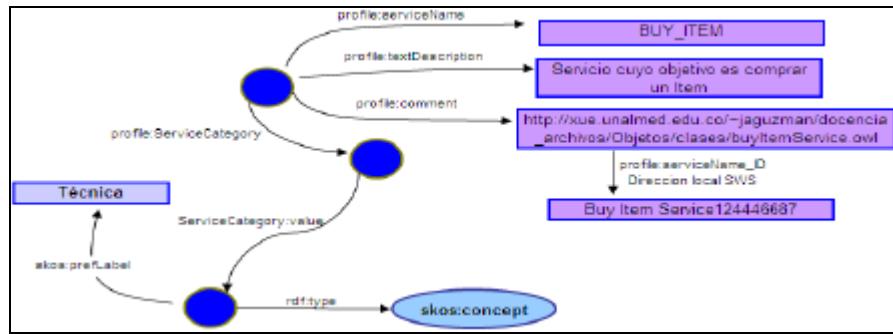


Fig. 2: Ejemplo de Asociación de un SW “BUY_ITEM” y el Concepto Técnica

4. MÓDULO DE BÚSQUEDA Y RECUPERACIÓN SEMÁNTICA

En el modelo BAX-SET, el proceso de búsqueda y recuperación semántica de SW, sigue los siguientes pasos:

(1) **Realización de la consulta**: el usuario formula la consulta en forma de términos semánticos (conceptos) mediante el Agente de Interfaz del módulo de visualización, quien solicita al Agente de Búsqueda la tarea de encontrar los SWS relacionados con estos términos semánticos.

(2) **Identificación de los conceptos y sus relaciones**: el Agente de Búsqueda toma los términos semánticos que componen la consulta y solicita al Agente de la Base del Conocimiento que determine si estos términos coinciden con los conceptos existentes en la Base del Conocimiento. Para esto el Agente hace una búsqueda tanto en las etiquetas preferentes (*skos:prefLabel*) como en las etiquetas alternas (*skos:altLabel*) e incluso en las de los errores (*skos:Hidden*) de cada concepto (*skos:concept*). Si al término de la consulta el Agente encuentra que existe uno ó más de estos conceptos, procede a buscar para cada uno de estos, las relaciones semánticas que tenga con otros conceptos (relaciones de herencia - *skos:broader*, y relaciones de generalización - *skos:narrower* y relaciones de asociación - *skos:related*) con el fin de encontrar otros conceptos que sean relevantes de manera semántica con la consulta hecha por el usuario. Luego de encontrar estos nuevos conceptos, el Agente de la Base del Conocimiento del servicio y extrae la siguiente información: El nombre público del servicio (*profile:serviceName*), la descripción de la funcionalidad del servicio (*profile:textDescription*) y la dirección Web del servicio (*profile:comment*). Por último el identificador único del concepto asociado. En caso de que el Agente Repositorio de SWS no encuentre

retorna al Agente de Búsqueda, un documento RDF (RDF, 2004) con una lista de triplets que contienen, para cada uno de los conceptos originales y sus conceptos asociados encontrados, la siguiente información: el identificador único del concepto, la propiedad que identifica el tipo de relación semántica con otro concepto (*skos:broader* ó *skos:narrower* ó *skos:related*) y el identificador único del concepto asociado (si existen). En caso de que no exista coincidencia entre los términos que conforman la consulta original del usuario y los conceptos existentes en la Base del Contexto, el agente retorna un fallo en la solicitud.

(3) **Identificación de Documentos**: si el Agente de Búsqueda recibe del Agente de la Base del Conocimiento un documento RDF con la lista de conceptos y sus relaciones, este Agente de Búsqueda solicita al Agente Repositorio de SWS que busque todos los documentos que estén marcados semánticamente con el conjunto de conceptos que conforman esta lista, para lo cual le envía junto a esta solicitud el documento RDF que contiene tales conceptos. En caso de existir documentos que cumplan con lo solicitado, el Agente Repositorio de SWS le devuelve al Agente de Búsqueda un nuevo documento RDF con una lista de triplets que contienen, para cada documento encontrado, la siguiente información: el identificador único del recurso documento existente (*profile:serviceName_ID*), la propiedad del *Profile:serviceCategory* (*profile:value*), que representa el concepto asociado al SWS, adicionalmente ingresa a la descripción semántica ningún servicio, este retorna al Agente de Búsqueda un fallo.

(4) **Unificación de Resultados**: cuando el Agente de Búsqueda recibe del Agente Repositorio de SWS el documento RDF, con la lista de los SWS, este Agente retorna al Agente de Interfaz, tal

documento RDF, al igual que retorna, el documento RDF que contiene la lista de conceptos procedente del Agente de la Base contextual y este se encargará de mostrarlos en la pantalla del modelo. En caso de recibir respuesta de un fallo ya sea por parte del Agente de la Base del Conocimiento o del Agente Repositorio de SWS, el Agente de Búsqueda le retorna al Agente de Interfaz un fallo que será mostrado en la interfaz del modelo.

5. MÓDULO INTERFAZ DE NAVEGACIÓN

El módulo interfaz, tienen como elemento principal al Agente de su mismo nombre. Este agente permite ingresar por parte de los usuarios los términos de búsqueda de los servicios al igual que mostrar los respectivos resultados de la búsqueda. En la Fig. 3, se presenta la interfaz, que señala los resultados a una consulta formulada por el término semántico “Técnica”.



Fig. 3: Interfaz Visualización y Navegación
Resultados “Técnica”

Los resultados devueltos por el buscador semántico, sugieren que existen dos SWS dentro del repositorio de servicios, los cuales hacen referencia al término semántico buscado (Técnica); La interfaz en su tabla superior izquierda, muestra únicamente los términos específicos (*skos:narrower*) que tienen Servicios Web asociados y entre paréntesis al lado de cada *skos:narrower* la cantidad de servicios, con los que estos se relacionan.

El agente Interfaz además de su interacción con el usuario, también interactúa con el Agente de Búsqueda con el objetivo de seleccionar qué información se muestra al usuario, luego del proceso de búsqueda realizado por su respectivo Agente. Para esto el Agente Interfaz realiza los siguientes pasos: (1) **Definición de la información a visualizar:** en este paso, el Agente Interfaz

solicita al Agente Buscador que defina, qué información asociada a los SWS que hacen parte de la lista de SWS resultantes a la consulta original del usuario, se mostrarán a tal usuario. Para esto, el Agente de Buscador le envía al Agente Interfaz el ID con el que se identifica el servicio en el repositorio de servicios. Para llevar a cabo esta tarea, se definen los siguientes elementos básicos: el Dominio que describe cuales elementos serán visualizados, la Representación que define el cómo serán visualizados, la Fuente que describe de dónde se sacan las instancias de los elementos, y por último, la Visualización que permite unificar el Dominio, la Representación, y la Fuente, en un solo Servicio de Visualización. El agente Interfaz, genera de manera dinámica, para cada servicio existente en la lista de servicios retornados, una triplete que hará parte de la instancia temporal en la cual se indicará cómo se extraerá la información del Repositorio de Servicios. Luego de generada esta instancia, se le retorna esta en un archivo RDF que se llama “Archivo de Visualización” al Agente Interfaz. (2) **Definición de la Interfaz con los resultados:** Con esta información, el agente Interfaz procede a construir la interfaz en la que se mostrará al usuario la información contenida en el Archivo de Visualización. Para esto, el agente Interfaz genera una Interfaz, donde además de la información que se desea mostrar, se incluyen los elementos necesarios para que el usuario interactúe con la interfaz.

6. MANTENIMIENTO DEL REPOSITORIO DE SWS

El repositorio de SWS puede ser preservado y actualizado constantemente. Para llevar a cabo esta tarea, el Agente Interfaz, le presenta al usuario: (1) un formulario que le permite ingresar la dirección Web del Servicio y (2) un mecanismo de navegación sobre los conceptos semánticos que conforman la taxonomía semántica. Este mecanismo de navegación tiene dos objetivos principales, el primero es darle a conocer al usuario que conceptos semánticos en el dominio de Artes, se encuentran registrados en el sistema, y segundo, como estos conceptos están relacionados. Para permitirle al usuario, extender su vocabulario de marcado con nuevos conceptos asociados a los que inicialmente había pensado. Para estos casos la visualización y navegación, no se encuentra porcionada entorno a un concepto de la ontología taxonómica en particular, sino que se puede acceder a la estructura taxonómica de la ontología completa.

La Fig. 4, detalla la forma en que se puede ingresar un SWS, al repositorio de servicios.

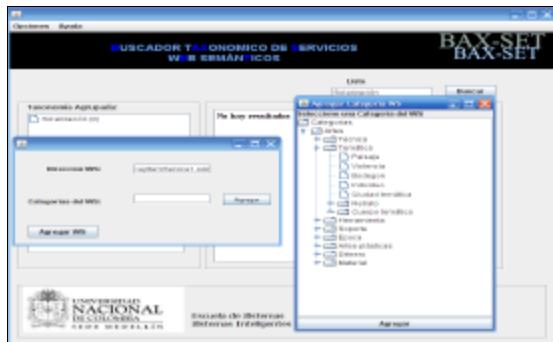


Fig. 4: Interfaz de Visualización y Navegación para la tarea Agregar SWS

En este una vez especificada la dirección Web del servicio, se debe seleccionar el concepto con el cual se desea categorizar el servicio. Para realizar esa tarea de categorización, el botón “Aregar”, abre una nueva venta de visualización donde se carga la estructura taxonómica completa de la ontología y le es posible al usuario navegar sobre ella, a fin de que seleccione el concepto que mejor describe su servicio.

7. CONCLUSIONES

El Modelo de Navegación Taxonómica para la Búsqueda Semántica de Servicios Web (BAX-SET), parece postularse como el marco ideal para conseguir materializar uno de los paradigmas propuestos por el proyecto de Web Semántica, es decir, la gestión semántica para el acceso a la información. Prácticamente la totalidad de los autores vienen señalando la necesidad de contar con mecanismos automáticos para acotar los espacios de búsqueda de resultados. Los usuarios de BAX-SET, son los beneficiados en primer lugar, pues ellos precisan herramientas que propicien la explotación eficiente de los recursos. Además, y ya haciendo referencia a la validación del modelo “prototipo”, los resultados de este proyecto en el escenario de la clasificación y posterior búsqueda y presentación de SWS en el ámbito de las artes plásticas, revierten en importantes beneficios culturales para la sociedad. Beneficios hasta ahora no explotados ni aprovechados en su totalidad.

El modelo de BAX-SET, presenta cuatro ventajas fundamentalmente:

1. Innovación. La innovación es la razón de ser de este modelo. En un mundo cambiante

donde las cosas no son, sino que lo parecen, es imprescindible dotar a los usuarios de la posibilidad de cambiar el color de las lentes con las que perciben la realidad. Es importante entonces, considerar a usuarios expertos en dominios ajenos al campo de las tecnologías, que puedan verse beneficiados de esos avances tecnológicos, sin que ello represente un esfuerzo de conocimiento considerable.

2. Acoplamiento. La utilización de una ontología en el modelo BAX-SET tiene como efecto inmediato aprovechar una valiosa fuente de información a partir de los repositorios de servicios diseñados por diferentes proveedores con variadas funcionalidades, que pueden ser acoplados a un solo ámbito de conocimiento.
3. Retroalimentación. En BAX-SET, el usuario es quien decide bajo qué concepto de clasificación taxonómica señalara el SWS ingresado e incluso ampliara sus posibilidades al permitirle adicionar conceptos cuando él considere que no existen en la taxonomía un mejor descriptor que el faltante.
4. Transparencia. Esta característica viene dada porque BAX-SET ofrece al usuario una herramienta automática de soluciones de nivel superior independientemente de los proveedores que permite la clasificación, búsqueda y presentación de SWS. El usuario sólo debe conocer la ubicación de los Servicios, recordemos que los Servicios Web constituyen un middleware de aplicación que permite obviar los detalles del canal de transmisión y las características del mensaje, el cual llegará encapsulado en un documento semiestructurado con la suficiente meta-infomación para ser procesado.

Uno de los aportes a futuro, que pretenden ser incluidos a BAX-SET, se encuentra representado en un módulo de aprendizaje que de manera automática permita la clasificación de los SWS, estableciendo relaciones entre las descripciones semánticas de los propios servicios y la definición taxonómica dada por los conceptos de la ontología. Adicionalmente, dada la ventaja de retroalimentación que existe en el modelo (numeral 3 - conclusiones), se presentan enormes posibilidades para el estudio de las preferencias de los usuarios, para el reconocimiento de patrones que pueden dar origen a nuevos perfiles de usuarios e incluso para la propia retroalimentación del modelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está apoyado por el proyecto de investigación titulado “Un Sistema de Recuperación Semántico de Servicios Web Basado en un Modelo de Navegación Taxonómica” el cual es apoyado por la DIME de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

REFERENCIAS

- Alonso G., F. Casati, H. Kuno, y V. Machiraju, (2004) Web Services. Concepts, Architectures and Applications, Springer.
- Bellifemine, F. (2004). JADE Programmer's GUIDE.
- Antoniou G. y Van F. H. (2004). A Semantic Web Premier. Ed. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, pp, 205 – 224.
- Berners-Lee T., J. Hendler y O. Lassila. (2001) The Semantic Web. Scientific American, 284(5):34–43, May.
- Bellifemine F. Y., S. Willmott (2003). Developing multiagent systems with JADE.
- Benatallah B., M.S. Hadid, C. Rey, y F. Toumani, Request Rewriting-Based Web Service Discovery, Proceedings of the 2nd International Semantic Web Conference (ISWC 2003), LNCS, vol. 2870: 242–257, Springer, 2003,
- Buhler P. A. y J.M. Vidal. (2003) Semantic Web Services as Agent Behaviors. In Agentcities: Challenges in Open Agent Environments, LNCS/LNAI, B. Burg, J. Dale, et al., Eds. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- Deitel M. Harvey y Deitel J. Paul (2004). Como programar en JAVA. Editorial Pearson Ptrintice Hall.
- Dublín-Core. (2000). <http://es.dublincore.org/> Consultado Mayo de 2009.
- Gil Urdianci, Blanca, (996) Manual de lenguajes Documentales. Madrid:Noesis.
- Gómez-Pérez A., M. Fernández-López, Vicente de A. (1996), Towards a Method to Conceptualize Domain.
- Gruber T. A (1993). Translation Approach Portable Ontology Specifications, Knowledge Acquisition, 5(2), 199-220.
- Iglesias, C. (1996). Definición de una metodología para el desarrollo de Sistemas Multi-Agente. Tesis doctoral. Departamento de ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Jennings N.R. (1999). An Agent-Based Approach for building Complex Software Systems. Communications of the ACM, 44(4), pp. 35-41.
- López-Huertas, M. J. (1999). "Potencialidad evolutiva del tesoro: hacia una base de conocimiento experto". En a Representación y la Organización del Conocimiento en sus distintas perspectivas: su influencia en la Recuperación de la Información (Actas del IV Congreso ISKO-España EOCONSID99, 22-24 de abril de 1999 en Granada), 1999. Granada: ISKO-Facultad de Biblioteconomía y Documentación. 133-140.
- MySQL. (1995). <http://www.mysql.com/>. Consultado febrero de 2009.
- Noy, N.F. McGuiness D.L. (2001) Ontology Development 101: A guide to creating tour first ontology. Disponible en <http://www-ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness-abstract.html>. Consultado Septiembre de 2009.
- OWL Services Coalition. (2003) OWL-S: Semantic markup for web services. OWL-S White Paper: <http://www.daml.org/services/owl-s/0.9/owl-s.pdf>, ultima visita marzo 2006.
- OWL Services Coalition. OWL-S: Semantic markup, (2003). OWL-S White Paper: <http://www.daml.org/services/owl-s/0.9/owl-s.pdf>, Consultado marzo 2009.
- Protégé (1999): <http://protege.stanford.edu/plugins/owl/> Consultado febrero de 2009.
- RDF (2004). Semantics W3C Recommendation 10 February 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/rdf-mt/>. Consultado enero 2009
- Web Ontology Language (2004). W3C Recommendation 10 Feb 2004. URL: <<http://www.w3.org/2004/OWL/>>. Consultado marzo 2009
- SKOS-Core (2006): http://www2.ub.es.bid/consulta_articulos.php?fichero=13perez2.html. Consultado abril de 2009
- SPARQL (2006): <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> [consultado enero 2007]

Recibido: 02 de marzo de 2010
Aceptado: 05 de mayo de 2010**COOPERATIVE SERVICE ROBOTS****ROBOTS DE SERVICIO COOPERATIVOS**

Daniel Alfonso Correa Niño, Fredy Alberto Sanabria Cárdenas
MSc(c). Wilmer Alexis Sandoval Cáceres, MSc(c). Reynaldo Claros Lamus

Universidad Santo Tomás. Programa de Ingeniería Mecatrónica.
 Carrera 18 No. 9 – 27, Tel.: (577) 680 0801 Ext. 1410 – 1411.
 E-mail: d.alconi@gmail.com, freddy_j64@hotmail.com,
 sandoval.wilmer@gmail.com, rclaros@hotmail.com

Abstract: This document summarizes the various stages of implementation and builds two autonomous robots with the ability to work cooperatively to make the search for an object with color patterns including both pre-established testing and packaging of various types of sensors such as development and characteristics of transit systems implemented in mobile robots. Robots were built so that they can carry out exploration in a given environment, providing them with a sensory system according to the needs of the project and a handle for the collection of the object on search.

Keywords: Mobile robotics, navigation, cooperative robotics, multi-robot system.

Resumen: En el presente documento se resume las diferentes etapas de implementación y construcción de dos robots autónomos con la posibilidad de trabajo cooperativo para efectuar la búsqueda de un objeto con patrones de color pre-establecidos incluyendo tanto pruebas y acondicionamiento de diversos tipos de sensores como el desarrollo y características de sistemas de locomoción implementados en robots móviles. Los Robots se construyeron de tal forma que puedan realizar tareas de exploración en un entorno determinado, dotándolos con un sistema sensorial acorde a las necesidades del proyecto y un manipulador para la recolección de los objetos motivo de búsqueda.

Palabras clave: Robótica móvil, navegación, robótica colectiva, sistemas multi-robot.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías en la rama de la robótica, muchas de ellas inspiradas en comportamientos abstraídos de la naturaleza.

La robótica colectiva es una de ellas, la cual busca diseñar sistemas compuestos por varios robots dotados con capacidades para la resolución de problemas operando de forma conjunta. Una aplicación de este tipo de tecnología, se logra apreciar en robots que trabajan en celdas de

manufactura flexible y aplicaciones en las áreas didácticas y de investigación como son los robots futbolistas.

La Universidad Santo Tomás en pro de estar a la vanguardia de nuevos avances a nivel de investigación y tecnología aplicada, ha apoyado durante los últimos años la implementación de microbots móviles con el fin de apoyar el desarrollo académico mediante la elaboración de módulos didácticos aplicados a las diferentes áreas de investigación que trabaja la Facultad de

Ingeniería Mecatrónica, como son la inteligencia artificial, sistemas de control entre otros.

La aplicación desarrollada se fundamenta en mecanismos de comunicación, cooperación y coordinación entre dos robots que poseen sistemas sensoriales propios y que deben navegar de forma autónoma. Su principal inconveniente proviene del uso de múltiples unidades móviles, dado que todas ellas interactúan en un mismo entorno de trabajo convirtiéndose así en obstáculos móviles para los demás robots, por tal motivo, se requiere de coordinación entre los robots y en muchas ocasiones las comunicaciones suelen centrarse en la evasión de colisiones.

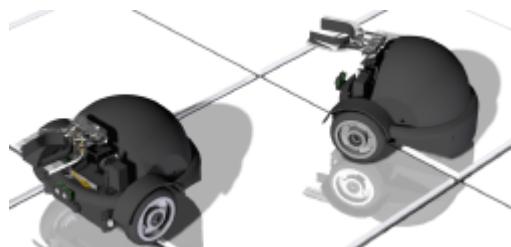


Fig. 1. Esquema general del proyecto

2. ARQUITECTURA DE LOS MOVILES

El esquema implementado está conformado por dos robos autónomos idénticos capaces de funcionar de manera cooperativa, El calificativo de “autónomo” hace referencia a la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar unos objetivos sin la intervención, o con una intervención muy pequeña, de supervisores humanos [1-7].

Los móviles han sido diseñados basados en la premisa de disponer de dos estructuras robóticas que puedan satisfacer los objetivos del proyecto y a su vez generar nuevos proyectos de investigación en dicha área, por tanto cada uno de los móviles se dota con sistemas sensoriales de alta precisión, con el fin de obtener las diferentes variables físicas de interés extraídas del entorno y convertirlas en señales eléctricas que les permiten la exploración en entornos parcialmente estructurados, cuentan además con un módulo de comunicación inalámbrico configurados en modo bidireccional *full-duplex*¹ basados en los protocolos de comunicación serial asíncrona que les permite un entendimiento mutuo a los dos móviles y una cámara para realizar tareas de visión artificial como

¹ Full-duplex es un modo de comunicación que permite enviar y recibir mensajes de forma simultánea.

son reconocimiento de colores, seguimiento de objetos y detección de bordes entre otros.

Los móviles tienen una dimensiones de 25 cm de ancho, 24 cm de largo y una altura de 20 cm, en una estructura de configuración diferencial, que consta de dos ruedas de goma (Poliuretano Blando) con diámetro 10 cm y una rueda cester en la parte posterior que le brindara mayor grado de estabilidad y de libertad de giro.

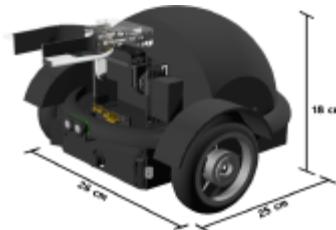


Fig. 2. Diseño estructural de cada Robot

2.1 Modelo cinemático

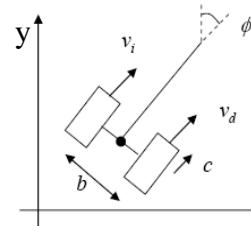


Fig. 3. Configuración con guiado diferencial

La aplicación desarrollada está basada en la configuración diferencial, mostrada en la Figura 3, las coordenadas (x, y) suministran la posición del robot con respecto a las coordenadas globales y el ángulo F su orientación respecto a un eje paralelo al Y. [2, 4]

Dada esta configuración, las variables de control son las velocidades de las ruedas laterales v_i y v_d , al igual que el sentido de giro de las mismas. Si el radio de las ruedas es c , las velocidades lineales ²correspondientes son $v_i = ? i.c$ y $v_d = ? d.c$.

$$(1) \quad V = \frac{V_d + V_i}{2} = \frac{(W_d + W_i) * c}{2}$$

$$(2) \quad W = \frac{V_d - V_i}{b} = \frac{(W_d - W_i) * c}{b}$$

Basándonos en la anterior información y utilizando el software de simulación Matlab®, podemos

² La velocidad lineal es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

conseguir las trayectorias seguidas por la posición y orientación cuando se aplican diversas combinaciones de velocidades angulares³ a las ruedas izquierda y derecha respectivamente. Para ello se emplea el siguiente esquema de la figura 4, el cual está desarrollado mediante la Toolbox Hemero de Simulink®.

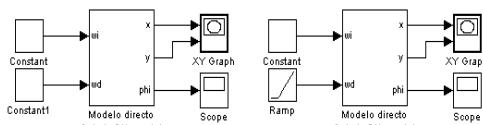


Fig. 1. Diagrama de Simulink para el cálculo de posición y orientación de robots móviles con guiado diferencial

Teniendo en cuenta el diseño del móvil a emplearse, el radio de las llantas es $c = 0.05$ m y la separación entre las mismas corresponde a $b = 0.224$ m. Así mismo, la posición inicial será el origen de coordenadas y la orientación inicial tendrá un valor de $-p/4$. Se simulará la evolución del robot durante 30 segundos.

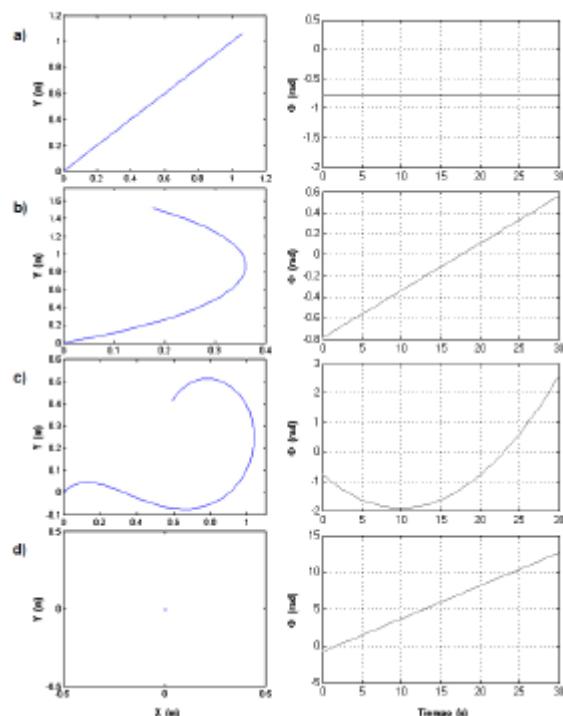


Fig. 5. Casos simulados para el guiado diferencial del móvil

Los casos y resultados empleados en la simulación se observan en la figura 5, en la parte izquierda se

pueden apreciar las trayectorias y en la parte derecha el ángulo de orientación del móvil.

a) En la Figura 5a, se aplicó una velocidad angular igual y en el mismo sentido a cada una de las ruedas con una magnitud de 1 rad/seg, razón por la cual móvil avanza en línea recta con la orientación inicial.

b) En el caso observado en la Figura 5b se aplica una velocidad angular mayor a la rueda derecha (1.2 rad/s) a la aplicada en la parte izquierda (1 rad/s), con lo que se observa que el móvil gira continuamente hacia la izquierda.

c) Para el caso de simulación de la Figura 5c se aplica una velocidad angular constante de 1 rad/s en la rueda izquierda, mientras que la rueda derecha se aplica una rampa que empieza en 0 y que crece continuamente con pendiente de 0.1. Se puede observar que el móvil gira hacia la derecha hasta el instante en que la velocidad angular de la rueda derecha supera a la de la izquierda, momento en el cual se invierte el sentido de giro del móvil.

d) Por último se aplican iguales velocidades angulares en ambas ruedas (1 rad/s), pero en sentidos opuestos, con lo que se pone de manifiesto de que el robot gire sobre su propio eje como se aprecia en la Figura 5d.

2.2 Arquitectura hardware

El cerebro principal de cada robot se basa en una placa electrónica dotada con dos microcontroladores PIC18F452 conectados entre sí, un microcontrolador será el encargado de recibir y procesar la información brindada por todos y cada uno de los sensores que hacen parte del sistema sensorial del robot, mientras que el segundo microcontrolador se encargará de efectuar las labores de control de cada uno de los motores del sistema de locomoción del móvil.

Además, la tarjeta Principal cuenta con un modulo ICSP (*In Circuit Serial Programming*) con el cual se puede reprogramar el microcontrolador principal sin necesidad de extraerlo de la tarjeta electrónica evitando daños en la estructura física del microcontrolador y la generación de cargas estáticas debido a la manipulación del mismo [4-9].

³ La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación.

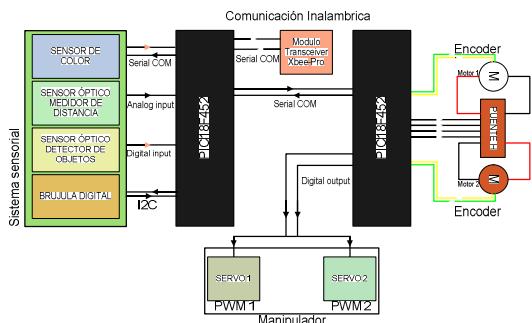


Fig. 6. Arquitectura hardware del sistema sensorial y mecánico

2.3 Sistema de percepción

El sistema de percepción⁴ del móvil permite que éste pueda hacer frente a diversas situaciones que se le presenten mientras ejecuta sus acciones, lo que exige de un sistema sensorial capaz de suministrar la información del entorno.

Con este sistema, el robot debe ser capaz de realizar 3 tareas fundamentales: determinar su orientación, estimar su posición y detectar objetos.

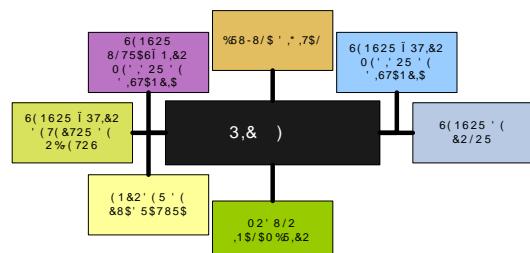


Fig. 7. Sistema sensorial

Usualmente, un robot móvil no se dota con un único sensor para efectuar todas las tareas programadas, por el contrario, se combinan múltiples sensores dentro del sistema sensorial que en mayor o menor medida se complementan [4-9].

2.3.1 Sensor Óptico GP2D12

La señal de salida del sensor GP2D12 está disponible de forma continua y corresponde a un voltaje análogo entre 0 y 3 voltios dependiendo de la distancia a la cual se encuentra localizado un objeto en particular, su valor es actualizado cada 32 mseg [7], [8]. La señal análoga sensada es transformada en una variable de tipo digital mediante el uso de un conversor Análogo Digital (A/D). Esta salida es

de tipo no lineal y corresponde a la gráfica observada en la Figura 8.

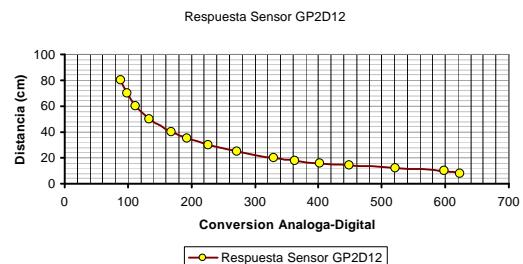


Fig. 8. Curva de operación del sensor GP2D12

En la gráfica de la curva de operación del sensor infrarrojo de la figura 8, se puede observar la eficacia del sensor en un rango de 10 a 60 cm dado que a distancias menores la curva no es homogénea y para distancias mayores el intervalo de voltaje de salida del sensor es muy pequeño. Por tanto es necesario limitar el sensor a dicho intervalo por software o hardware, haciendo necesario la realización de una regresión lineal de la curva entre la salida del sensor y la distancia basados en los datos reportados en la tabla 1.

Una vez tabulados los datos de la tabla 1. Se efectuó el procedimiento de regresión, obteniendo como resultado la gráfica de ajuste de la medida del sensor que se observa en la Figura 9.

Por tanto la curva de la regresión queda representada por la función:

$$(3) \quad D = \frac{6787}{V - 3}$$

Tabla 1. Datos caracterización GP2D12.

Distancia (cm)	Voltaje (V)	Conversión análoga
8	3	623
10	2,9	599
12	2,5	521
14	2,1	449
16	1,9	402
18	1,7	363
20	1,6	330
25	1,3	271
30	1,1	226
35	0,9	193
40	0,8	169
50	0,6	134
60	0,5	112
70	0,4	99
80	0,4	88

⁴ El sistema de percepción es el que proporciona al robot la posibilidad de obtener e interpretar la información de su entorno.

Donde V corresponde al dato del conversor análogo digital y D hace referencia a la distancia medida por el sensor en centímetros.

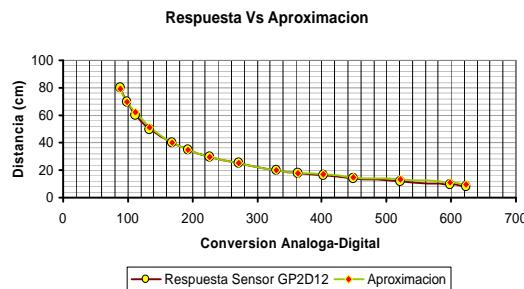


Fig. 9. Aproximación lineal sensor GP2D12

2.3.2 Sensor Brújula Digital CMPS03

Este dispositivo nos permite identificar variaciones en la dirección del robot durante un desplazamiento, por lo tanto podrá corregir una trayectoria en caso de modificar la dirección por algún factor externo como podría ser una posición forzada de un motor o cualquier otro evento no comprendido por las variables de entorno.

Por otra parte, este instrumento proporciona información precisa durante la ejecución de giros, por lo que se puede conocer el desplazamiento en grados y la orientación de la unidad móvil⁵.



Fig. 10. Diagrama de tiempos sensor Brújula Digital. [7]

2.3.3 Encoder de Cuadratura QME-01

El encoder es un dispositivo electromecánico, que convierte la posición angular de su eje en una señal digital eléctrica permitiendo así medir desplazamientos angulares, movimientos lineales, circulares, velocidades rotacionales y aceleraciones. Los encoder QME-01 conectados a los motorreductores encargados de la locomoción de cada uno de los robots, pueden contar 120 ciclos o 480 conteos de cuadratura por revolución, que basado en dos sensores generan trenes de pulsos desfasados 90 grados entre sí logrando obtener información del avance y el sentido de giro de cada una de las ruedas de los móviles. [2, 4, 5].

⁵ Unidad Móvil es un dispositivo Mecatrónico capaz de funcionar de manera autónoma.

2.3.4 Cámara de visión artificial CMUcam2+

Uno de los objetivos del proyecto es la generación de trayectorias en base a un sistema de visión artificial para efectuar tareas de tipo cooperativo [11-18]. Por tanto la unidad móvil debe ser capaz de reconocer objetos de 3 diferentes colores predeterminados. Una vez ubicado este objeto, y determinada su posición, el robot reacciona, desplazándose hacia él.

Con el fin de poder discriminar cada color de manera correcta e independiente y una vez obtenidas las componentes RGB⁶ por medio de la CMUcam2, se trabajó en el espacio de color HSV⁷ (*Hue, Saturation, Value*) debido a que dicho espacio define el color en tres componentes; una componente denominada HUE o tonalidad que hace referencia al tipo de color (rojo, amarillo, verde, etc.) y otras dos componentes que son saturación y valor del color que corresponden a la pureza (concentración de color) y brillo (claridad del color) respectivamente.

En la Figura 11 se observan los rangos de tonalidad para cada uno de los colores en el espacio HSV, conforme a esto se tabuló en la Tabla 2 los límites máximos y mínimos de los colores de interés. Sin embargo en la selección de rangos no se tuvieron en cuenta las componentes de saturación y valor de color debido a que solo nos interesa la tonalidad de un objeto en particular.



Fig. 11. Rangos de tonalidad del espacio HSV

⁶Modelo de color RGB (del inglés Red, Green, Blue; "rojo, verde, azul").

⁷ Modelo HSV (del inglés Hue, Saturation, Value – Tonalidad, Saturación, Valor).

Tabla 2. Tonalidades de color en espacio HSV.

Rangos		COMPONENTES			COLOR
		H	%S	%V	
ROJO	Min	345	100	100	
	Max	5	100	100	
VERDE	Min	90	100	100	
	Max	170	100	100	
AZUL	Min	220	100	100	
	Max	250	100	100	

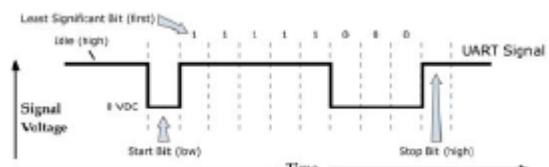
2.4 Sistema de comunicación

Dentro del mundo de la robótica uno de las tareas más comunes de encontrar es el método de comunicación a utilizar para el envío de datos entre los móviles.

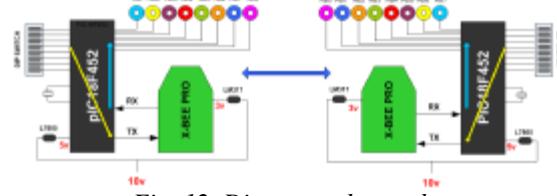
El sistema de comunicación más usado para el envío de datos es vía radiofrecuencia (RF) estableciendo una comunicación bidireccional [5, 7].

Este sistema de comunicación se implementó mediante el uso de los Módulos X-Bee Pro, los cuales permiten efectuar comunicaciones de tipo bidireccional, su alcance máximo en línea de vista es de 1 milla y manejan protocolo de comunicación Serial.

Para efectuar la comunicación entre los robots móviles se utilizaron microcontroladores PIC18F452 los cuales se encargan de enviar datos de forma serial a los módulos de comunicación, los datos recibidos de forma inalámbrica, corresponden a una señal asíncrona sucesiva. Un estado alto representa que ningún dato ha sido transmitido. Cada byte de datos consta de un bit de inicio (bajo), 8 bits de datos (el bit menos significativo primero) y un bit de parada (el último).

*Fig. 11. Diagrama de tiempos de la comunicación*

Para la comprobación del sistema de comunicación se definió una unidad remota como elemento transmisor y la otra como receptora de datos (ambas de forma inalámbrica).

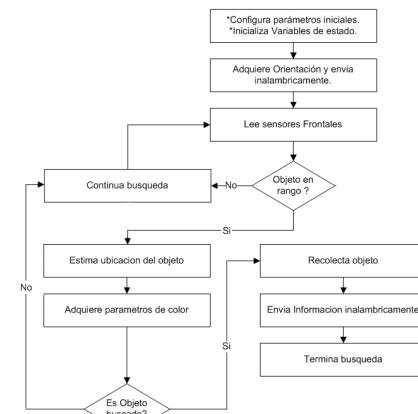
*Fig. 12. Diagrama de prueba*

3. ROBOTICA COLECTIVA

La robótica colectiva se refiere a un grupo de robots que interactúan entre sí pero no necesariamente se deben colaborar explícitamente para realizar una tarea dada. En robótica colectiva, la solución de un problema está ligada a un concepto conocido como inteligencia colectiva, es decir la forma de solucionar el problema surge del comportamiento de los robots como grupo [19].

La programación de cada uno de los robots se orientó a encontrar mecanismos de comunicación, y coordinación entre ellos, dicha programación siguió una cadena básica de eventos la cual determinó las acciones que efectuó cada móvil ante una situación determinada, en la Figura 13 se observa el diagrama de flujo general del código fuente implementado en cada uno de los robots construidos para la aplicación.

Cada uno de ellos se implementó con un sistema de comunicación inalámbrica, para compartir información básica tanto de los objetos detectados, como del momento de finalización de la búsqueda. Por su parte, los microcontroladores se encargaron de interpretar los datos obtenidos del entorno y generar diferentes acciones acordes a las tareas que cada robot debía realizar, las cuales correspondieron a movimientos como giros, avances y recolección de objetos.

*Fig. 13. Diagrama de flujo programa principal*

Para garantizar un movimiento uniforme de los robots, se efectuaron labores de control correspondientes sobre la velocidad de giro de los actuadores para cada una de las ruedas, el cual fue realizado mediante el uso de un sistema de odometría⁸, basado en la captación de pulsos emitidos por cada uno de los encoder implementados sobre el sistema de locomoción. A partir del número de revoluciones angulares y la cantidad de pulsos emitidos por el sistema de odometría de cada llanta, fue posible hallar la sección circular de desplazamiento y así calcular la distancia que el móvil debía desplazarse.

A continuación se relacionan las fórmulas usadas para efectuar el cálculo de dichos movimientos:

$$\text{Perímetro} = 2\pi r \quad (1)$$

$$\text{avance} = \frac{\text{pulsos por vuelta} * \text{distancia}}{\text{perímetro}} = \frac{6000 * \text{distancia}}{2\pi r} \quad (2)$$

Es decir, que la ecuación 1 expresa la distancia recorrida por cada revolución de la rueda de los robots construidos que corresponde a 33 cm, la cual depende de cada uno de los movimientos a realizar y que se citan en la Tabla 3 resaltando el caso correspondiente y el número de pulsos entregado por los encoder.

Tabla 3. Movimiento respecto a los pulsos del encoder

Caso	Distancia	Avance	valor
Avance en línea recta	33 cm	6000	ppv ⁹
Giro sobre su eje 45°	8.25 cm	1500	ppv
Giro sobre su eje 90°	16.5 cm	3000	ppv

Una vez se obtuvieron los datos de desplazamiento, se realizó la implementación de un controlador tipo proporcional [20] garantizando de ésta manera que cada uno de los robots mantuviera una trayectoria rectilínea y así obtener una orientación fija al momento de realizar cada uno de los desplazamientos en cualquiera de las direcciones seleccionadas a partir de la interacción del robot en el entorno explorado.

⁸ Odometría, Técnica que busca estimar la posición de un vehículo durante su navegación usando información sobre la rotación de sus ruedas.

⁹ PPV, sigla que hace referencia a la cantidad de pulsos por vuelta emitidos por cada uno de los encoder implementados en el sistema motriz de los móviles.

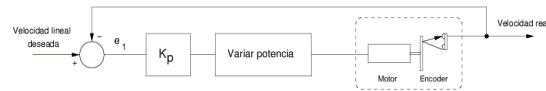


Fig. 14. Controlador proporcional implementado

En la Figura 15 se puede apreciar el error de desviación presentado por el robot al momento de desplazarse en una dirección determinada. En la Figura 16 se aprecia la gran efectividad del controlador implementado en cada uno de los robots, reduciendo en gran medida el error ocasionado por la diferencia de velocidades existentes en los motores.



Fig. 15. Avance del robot sin controlador de orientación



Fig. 16. Implementación del controlador de orientación

Un aspecto importante al momento de implementar la configuración de los robots móviles, fue definir el tipo de control y la arquitectura del sistema. Para la aplicación desarrollada se basó en la construcción de dos robots que trabajan de forma conjunta, no obstante actúan independientemente o siguiendo unas reglas de comportamiento, teniendo un mínimo grado de comunicación entre ellos, a este tipo de arquitectura cooperativa se le conoce como robótica de manadas “swarm” [21], donde no hay una inteligencia central sino, que todo el control es distribuido, cada robot móvil simplemente sigue unas reglas de comportamiento.

Se configuraron cada uno de los móviles para que de manera autónoma encontraran un objeto de un color particular escondido dentro de más objetos de colores diferentes en un escenario de trabajo desconocido para ellos.

La eficiencia del sistema se pudo observar dado que siempre han de encontrar el objeto motivo de búsqueda, que para el caso en particular, ha de ser un objeto de color rojo, verde o azul. Las implicaciones de fallo se ven evidenciadas en problemas de detección, es decir, en ocasiones el

robot pudo pasar cerca al objeto sin siquiera notarlo, pero posteriormente, dentro de su algoritmo de búsqueda podrá encontrar nuevamente el objeto y lograr efectuar la tarea propuesta.



Fig. 17. Pruebas de búsqueda

En la Figura 17, se evidencia claramente el comportamiento tipo *swarm* que poseen los móviles. Una vez, que cualquiera de los robots encuentre el objetivo, el robot que efectuó la tarea está en la capacidad de informar al otro que dicha tarea ha sido finalizada con éxito y seguidamente ambos móviles de manera automática entran en un estado de reposo dejado concluida la tarea en ejecución.

4. RECONOCIMIENTOS

A nuestros colegas Juan Sebastián Díaz, Jesús Andrés Rueda. A los profesores e ingenieros Hernando González, Wilmer Sandoval, Reynaldo Claros, Paola Guzmán, Jorge Araoz, John Jairo Gil por la asesoría brindada. A nuestros Proveedores, Futurlec Electrónica, Acriltec Diseños, Dynamo Electronics, Sigma electrónica y en especial a la Universidad Santo Tomás.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se describió la implementación del trabajo cooperativo realizado por dos robots móviles teniendo como base una arquitectura tipo *swarm*, concentrándose en aspectos relacionados tanto en las áreas de control como de comunicación para de esta manera garantizar un nivel de coordinación permisible.

La obtención de una estrategia de “equipo” se tradujo en determinar un comportamiento para cada uno de los robots durante el proceso de búsqueda de un objeto en particular, estableciendo un método de cooperativismo que tenga en cuenta que el sistema en conjunto está formado por subsistemas autónomos con dinámicas propias, permitiendo asegurar que la introducción de labores de este tipo puede obtener un excelente comportamiento colectivo de los robots,

garantizando a su vez que los objetivos planteados para una tarea en particular se lograran con gran eficiencia sin tener en cuenta los fallos ocasionados por cada uno de los móviles.

Durante el proceso de reconocimiento de colores se utilizó el modelo RGB, obteniendo resultados inesperados en diversas pruebas debido a las variables condiciones de luz en cada una de ellas, por lo tanto se hizo necesario utilizar el modelo de color HSV con lo que el trabajo de la definición de colores se vuelve más sencillo frente al modelo RGB, debido a que discrimina las componentes de iluminación permitiendo a cada uno de los móviles garantizar sus labores de selección aun en entornos con baja iluminación.

Se implementó un sistema de comunicación inalámbrico bidireccional basado en los transceiver Xbee-Pro los cuales permitieron que los móviles compartieran información del estado de la tarea en ejecución y de esta manera lograran con gran eficiencia la coordinación de movimientos y acciones.

REFERENCIAS

- [1]. González J. y Ollero A. *Estimación de la Posición de un Robot Móvil*. Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Málaga. 1993
- [2]. Ollero Aníbal. *Robótica – Manipuladores y Robots móviles*. Barcelona - España. 2001
- [3]. A. Ollero, A. Simón, F. García y V. Torres. “Integrated Mechanical Design of a New Mobile Robot”. Proc. SICICA’92 IFAC Symposium. Ed. A. Ollero y E.F. Camacho. Pergamon Press, 1993.
- [4]. Jones L. Josep, FLYNN Anita M, SEIGER Bruce A. *Mobile robots: Inspiration to implementation*. Segunda Edición. Natic MA, USA: A. K. Peters Ltd.. 1999.
- [5]. Sandoval C., W. A. y Salcedo R., I. M. *Estudio de Detección de Obstáculos mediante sensores ultrasónicos e infrarrojos para la realización de mapa bidimensional con representación gráfica en computador*. Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Marzo 2005.
- [6]. Tibaduiza Diego. Martínez, Ángel. “Algoritmos de Planificación de Trayectorias para un robot móvil. CWRA”. IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation”. 2006

- [7]. Mejía, Carlos; Hernández Luis D. y Bustamante, Oscar. *Estudio e Implementación de Técnicas de Control y Navegación para Robots Móviles*. Bucaramanga. 2007.
- [8]. Angulo, José María, Angulo Martínez Ignacio, Romero Yesa Susana. *Microbotica: Tecnología, aplicaciones y montaje práctico*. Segunda Edición. Thomson. Madrid, España. 1999.
- [9]. Barrientos Antonio. *Fundamentos de robótica*. Universidad Politécnica de Madrid. McGraw Hill. 1997, Madrid 1997.
- [10]. Choset Howie et-al. *Principles of robot motion-theory, algorithms, and implementation*. Cambridge MA, USA. The MIT press. 2005.
- [11]. Zhikang Linz. *Camera-Based Vision for Unmanned Air Vehicles (UAVs) Operations*. National University of Singapore. 2007-2008.
- [12]. Nebot Patricio, Cervera Enric. *La arquitectura Acromovi: Una arquitectura para tareas Cooperativas en robots Móviles*. Castellón - España.
- [13]. Suarez, Oscar Deniz. *Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- [14]. Suarez, Oscar Deniz. "Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables". Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 2006.
- [15]. Zamora M. A. et-al. *Navegación planificada de un robot móvil en entornos interiores desconocidos*. 2000.
- [16]. Martel, Antonio Falcón. *Coordinación y Control de Trayectorias en Sistemas Multirobot Mediante sensores visuales*. Universidad de las palmas de Gran Canaria.
- [17]. Dudek G., Jenkin M. *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University. 2000.
- [18]. Siegwart R., Nourbakhsh I. *Autonomous Mobile Robots*. MIT. 2004
- [19]. Orosco Duque, Andrés Felipe y Vélez Pérez, Gabriel Jaime. *Robot móvil modular: Plataforma de trabajo en Robótica móvil y colectiva*. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. Colombia.
- [20]. Ogata, K. *Ingeniería de Control Moderna*. Pearson Educación S.A. Madrid. 2003.
- [21]. Spears, William M.; Spears, Diana F. *Distributed, Physics-Based Control of Swarms of Vehicles*. University of Wyoming.

Recibido: 07 de abril de 2009
Aceptado: 12 de junio de 2009**METHODOLOGY FOR DEVELOPING A SCHEDULER FOR A FLEXIBLE
MANUFACTURING CELL USING HEURISTIC SEARCH****METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UN PLANIFICADOR DE
TAREAS PARA UNA CELDA FLEXIBLE DE MANUFACTURA UTILIZANDO
BÚSQUEDA HEURÍSTICA**

Esp. Camilo Arturo Lagos Mora*, **MSc. José Tomas Buitrago Molina****
PhD. Ricardo Timarán***

* Departamento de Sistemas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, Estudiante
Maestría Universidad del Valle, E-mail: clagos@udenar.edu.co

** Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, Cali,
Colombia, E-mail: buitrago@univalle.edu.co

*** Departamento de Sistemas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia,
E-mail: ritimar@udenar.edu.co

Abstract: The principal difficulty which the planning of tasks faces for the development of pieces or products in a cell of flexible manufacture (FMC) is the complexity of the relations of his elements and the quantity of pieces tried in it that, though it is minor that those who are made of cells of dedicated use, it does not stop being a problem at the moment of planning the actions for the accomplishment of each one of them. In this article one proposes a methodology of planning of tasks for a flexible cell of manufacture using heuristic search with partial solutions, which it is a modification of the technique of search first the best, and it is based that to produce n pieces of ideal form is necessary to pass for the production of $n-1$ ideal pieces. This concept allows to eliminate all the unnecessary states to produce n pieces departing from the partial solution of the production of $n-1$ pieces and assuming therefore the solution of them $n-1$ pieces as initial state for the production of n -pieces.

Keywords: Scheduler, flexible manufacturing cell, state-space, heuristic search, heuristic function.

Resumen: La principal dificultad a la que se enfrenta la planificación de tareas para el desarrollo de piezas o productos en una celda de manufactura flexible (FMC) es la complejidad de las relaciones de sus elementos y la cantidad de piezas procesadas en ella que, aunque es menor que las que se fabrican en celdas de uso dedicado, no deja de ser un problema a la hora de planificar las acciones para la realización de cada una de ellas. En este artículo se propone una metodología de planificación de tareas para una celda flexible de manufactura utilizando búsqueda heurística con soluciones parciales, que es una modificación de la técnica de búsqueda primero el mejor, y se basa en que para producir n piezas de forma óptima es necesario pasar por la producción de $n-1$ piezas óptimas. Este concepto permite eliminar todos los estados innecesarios para producir n piezas partiendo de la solución parcial de la producción de $n-1$ piezas y asumiendo por lo tanto la solución de las $n-1$ piezas como estado inicial para la producción de n -piezas.

Palabras clave: Planificador, celda de manufactura flexible, espacio de estados, búsqueda heurística, función heurística.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades al querer lograr un objetivo es la planificación de las acciones que se deben desarrollar en su consecución. Esto se cumple no solo en la industria si no también en la vida diaria. Un ejemplo típico es la planificación de tareas para el desarrollo de piezas o productos en una celda de manufactura flexible (FMC). La principal dificultad a la que se enfrenta ésta tarea es la complejidad de las relaciones de sus elementos y la cantidad de piezas procesadas en ella que, aunque es menor que las que se fabrican en celdas de uso dedicado, no deja de ser un problema a la hora de planificar las acciones para la realización de cada una de ellas.

Se estima que aproximadamente el 90% de las piezas producidas en una fábrica se hacen en lotes de 50 o menos. Del tiempo que pasan estas en el taller, la mayoría es perdido en mover y esperar, resultando en una baja productividad, encontrando como resultados costos de producción de 10 a 100 veces más que en la producción masiva [19].

El objetivo de la planificación de tareas en FMC es tratar de alcanzar y superar la eficiencia de producción de los sistemas de producción masiva de tal manera que los costos sean iguales o inferiores a estos.

Existen varios trabajos realizados enfocados a desarrollar algoritmos de planificación de tareas para celdas de manufactura y diferentes tipos de procesos, los cuales han mostrado sus bondades para esta tarea como el de Chen y Song 2008 [3] en el cual plantean una estrategia híbrida de dos etapas para la minimización del *makespan*. Lee y otros [5] propusieron un esquema para procesos *flow shop* con permutación para m-máquinas utilizando el algoritmo *branch-and-bound*. Rego y Duarte [13] desarrollaron un algoritmo que combina el clásico algoritmo de cuello de botella y un procedimiento de búsqueda dinámico y adaptativo de vecindad para problemas *job shop*. Rad, Ruiz y Boroojerdián [10] proponen 5 métodos nuevos que mejoran la heurística NHE la cual ha sido considerada como una heurística de alta eficiencia para *flowshop*, y así se podría hablar de otras técnicas [1, 4], donde su principal objetivo es la minimización del tiempo de producción o minimización del *makespan* como es más comúnmente conocido [16].

No existe mucho trabajo en tratar de desarrollar una metodología, en donde se puedan implementar estos trabajos relacionados con anterioridad.

Este trabajo se centra en el desarrollo de una metodología para el desarrollo de un planificador de tareas que permita implementar y probar una diversidad de algoritmos y principalmente funciones heurísticas sobre un esquema de una búsqueda heurística.

2. CONCEPTOS PRELIMINARES

Dentro de los conceptos preliminares a tener en cuenta para la comprensión de la metodología se tienen:

- *Espacio de estados*: Es un modelo que permite representar cualitativamente las situaciones que se pueden presentar durante la búsqueda de una solución a un problema. Las variables específicas de este modelo son el estado inicial y el estado objetivo, que representan las situaciones en la cual comienza el problema y donde termina el problema respectivamente.
- *Búsqueda heurística*: Es una técnica de búsqueda que permite encontrar un camino hacia una solución de forma eficiente debido a la incorporación de una función heurística.
- *Función heurística*: Es una función de evaluación que permite ponderar a un estado para determinar su bondad [6].

3. METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN DE TAREAS EN UNA FMC

La metodología planteada para la solución del problema de planificación en FMC sigue los siguientes pasos:

3.1 Formular el modelo matemático para la celda de manufactura

Un aspecto importante a la hora de querer planificar las actividades en una FMC es su modelaje. El modelo será vital a la hora de querer aplicar la técnica de inteligencia artificial escogida para realizar la planificación. En lo que se refiere ya directamente al modelo propuesto, se tiene en cuenta los elementos mínimos necesarios para la planificación adecuada de las tareas de una celda de manufactura y que además permita una interacción fácil con otros elementos, de tal forma

que permitan simular de forma más fiel a la realidad el comportamiento de esta. Los elementos tenidos en cuenta son:

- Estado de la máquina (ocupada o no).
- Tiempo en que una máquina empieza a realizar una tarea.
- Tiempo en el que la máquina termina de realizar la tarea.
- Tipo de pieza que entra y tipo de pieza que sale de una máquina herramienta
- Número de la pieza
- Almacenes de entrada y salida

Para un robot también es importante definir las máquinas con las que interactúa.

- Máquina origen.
- Máquina destino

Teniendo en cuenta estos aspectos, un modelo básico tendrá la siguiente forma:

$$\begin{aligned} M(Ocp, Ti, Tf, Pin, Pout, Pieza), \\ R(Ocp, Ti, Tf, Morg, Mdtm, Pin, Pout, Pieza), \\ Ain(Pi, Pe, Pp), Aout(Pi, Pe, Pp) \end{aligned}$$

Donde:

- M es una máquina herramienta de la celda de manufactura,
- R es un robot de la celda de manufactura,
- Ain es el almacén de entrada,
- Aout es el almacén de salida.

Los parámetros asociados a cada uno de los ítems representan lo siguiente:

- Ocp: Especifica si la máquina está ocupada o no (se podría utilizar para esta variable 0 si está libre o 1 si está ocupada).
- Ti: Es el tiempo en que la operación se comienza a realizar.
- Tf: Es el tiempo que la operación termina.
- Pin: Es la pieza de entrada.
- Pout: Es la pieza de salida.
- Pieza: Es el nombre de la pieza procesada (consecutivo).
- Morg: Máquina herramienta de la cual tomará la pieza el robot.
- Mdtm: Máquina herramienta a la cual entregará la pieza el robot.
- Pi: Son las piezas iniciales en el almacén de entrada y en el almacén de salida.
- Pe: Son las piezas existentes actualmente en el almacén de entrada o las piezas que han sido terminadas en el almacén de salida.
- Pp: Son el número de piezas que se deben procesar.

La representación del estado puede ser ampliada para de tal manera que permita especificar elementos adicionales como la trayectoria de algunas máquinas, que permita evitar posibles colisiones con los elementos de la celda.

3.2 Definir el problema de producción como una búsqueda en un espacio de estados

Para definir el problema como una búsqueda en un espacio de estados se debe:

1. *Definir el espacio de estados:* El espacio de estados igual al modelo de la celda de manufactura.
2. *Definir el estado inicial:* Donde se reemplazan las condiciones iniciales del problema en el espacio de estados.
3. *Definir estado final:* Donde se reemplazan las condiciones finales del problema en el espacio de estados. Se asume como una situación en la que se tenga las piezas deseadas procesadas.
4. *Definir operadores:* Los operadores permiten cambiar de estado y están definido por las tareas que pueden realizar cada una de las máquinas. Por ejemplo, se podría definir el siguiente operador

Si la máquina herramienta M1 está libre y el robot R1 está libre y el número de piezas requeridas no se cumple, el robot R1 toma una pieza del almacén 1 para llevarlo a M1. Dicho matemáticamente se tendrá:

Si $M1(Ocp)==0$ y $R1(Ocp)==0$ y $Ain(Pe)>0$ y $(Ain(Pp)-Ain(Pe)) < \text{PiezasProducir}$,

Entonces $R1(1, Ti=\text{mayor}[R1(Tf), M1(Tf)], Tf=Ti+T1, Morg=A1, Mdst=M1), Ain(Pe=Pe-1)$.

Claro está que los operadores deberán expresarse de manera general de tal forma que puedan ser aplicados a una gran cantidad de celdas.

3.3 Definir la función heurística para que guie la búsqueda

La función heurística tiene como fin asignar o quitar puntos a un estado de acuerdo a sus características.

En lo que se refiere a la función heurística, existen muchas estrategias para tratar de obtener el mejor camino posible de una forma más directa, como lo es la “distancia cuadrática”, división del problema, entre otros [12, 14], y tratar de reducir al máximo la explosión combinatoria, claro está que la eficacia de cada uno de ellos dependen del problema particular. Para este trabajo se utilizó

como estrategia el mayor tiempo empleado y la profundidad del camino seguido, dando como resultado la siguiente función heurística.

$$Fh = Tf \text{ máximo} - Pfd^*(30 \text{ a } 70\% \text{ tiempo tarea más rápida})$$

Donde:

Tf máximo: Es el mayor valor Tf (tiempo en que termina el proceso) de todas las máquinas de la FMC.

Pfd: Es la profundidad de la ruta seguida

Para problemas poco complejos o con un bajo número de piezas, una heurística expresada como sigue es adecuada.

$$Fh = Tf \text{ máximo}$$

3.4 Utilizar una técnica de búsqueda para solucionar el problema

En este paso simplemente se selecciona una técnica de búsqueda heurística en la cual se implementa la función heurística antes definida y se procede a encontrar un camino desde el estado inicial hasta el estado objetivo.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta en esta etapa al tratar de desarrollar un planificador de tareas es la explosión combinatoria, lo que hace muchas veces imposible la utilización de algoritmos matemáticos que buscan optimizar el tiempo empleado. Debido a esto han surgido algunas técnicas como: Gráfica de Precedencias [11] que permite definir planes en los cuales se contempla situaciones en las que se pueden realizar varias tareas paralelamente pero no situaciones en donde diferentes máquinas pueden realizar la misma tarea. Otras técnicas que intentan combatir este problema, son las de inteligencia artificial, como las redes neuronales, algoritmos genéticos [8] y la búsqueda heurística como *enfriamiento simulado* [7], en la cual se evita la explosión combinatoria siguiendo un único camino a la vez, pero implica una rigurosa ordenación de las reglas del modelo de acuerdo a su importancia en la solución, *búsqueda tabú* [17], entre otras. Otro aspecto importante, es que la búsqueda en un espacio de estados es bastante general y permite la inclusión de otras técnicas en su estructura, considerándolas como heurísticas que permitirán orientar la búsqueda.

Dentro de los métodos de búsqueda heurística, el método *primero el mejor*, es uno de los mejores, pues combina las ventajas que posee las búsquedas

por profundidad y la búsqueda por anchura y la estrategia de soluciones parciales permite combatir la explosión combinatoria.

Blai y Hector [2] en su estudio realizado compararon el rendimiento de los planificadores de búsqueda heurística y en especial los que utilizan el algoritmo de búsqueda primero el mejor, frente a otros planificadores específicos como GRAPHPLAN y demostraron su gran competitividad de este frente a los demás.

A pesar de que a estos tipos de búsqueda se les critica por obtener buenas soluciones y no óptimas, esto depende principalmente del tipo de función heurística empleada. Obviamente que una función heurística orientada a tener una buena solución será más eficiente en términos de tiempo y costo computacional que una heurística orientada a obtener la mejor solución.

Dentro del método de búsqueda primero el mejor existen dos variaciones: los grafos "O" y el algoritmo A^* , de estos dos siendo el mejor el algoritmo A^* pues se tendrá en cuenta el costo del camino seguido como una forma adicional para reducir la explosión combinatoria.

Para esta metodología se desarrolló una técnica de búsqueda heurística denominada BPMSP, la cual es una modificación de la técnica de búsqueda primero el mejor, propuesta para este trabajo y que permite reducir la explosión combinatoria.

Algoritmo propuesto:

- a. Comenzar definiendo el estado inicial y el estado final de la FMC.
- b. Hacer al estado inicial el estado Actual.
- c. Definir el número de piezas para la solución parcial.
- d. Mientras que el número de piezas producidas del estado actual sea menor que el número de piezas a producir haga:
 - d.1** Mientras que el número de piezas producidas del estado actual sea menor que el número de piezas a producir en la solución parcial haga:
 - d.1.1** Si el estado actual no ha sido explorado antes hacer:
 - d.1.1.1** Ingresar al estado actual en una estructura denominada *explorados*.
 - d.1.1.2** Generar los sucesores del estado actual y guardarlos en una estructura denominada *abiertos* ordenándolos de acuerdo a su

importancia (menor valor heurístico).

d.1.1.3 Sacar el mejor estado de *abiertos* y convertirlo en el estado actual.

d.2 Si el número de piezas producidas del estado actual es menor que el número de piezas a producir hacer:

d.2.1 Construir la solución parcial desde la lista de cerrados

d.2.2 Tomar de la solución parcial el estado en el cual ingreso el último elemento a la FMC, eliminando los sucesores a este y convertirlo en el nuevo estado inicial para la producción de la siguiente solución parcial.

d.2.3 Limpiar la lista de abiertos y cerrados.

d.2.4 Pasar los estados que quedaron de la solución parcial a la lista de cerrados.

3.5 Generar el plan de tareas utilizando la solución anteriormente obtenida

Encontrado un camino desde el estado inicial al estado objetivo solo resta tomarlo y extractar de este las máquinas que interactuaron en la planificación, definiendo sus tiempos de inicio y terminación y sus máquinas de origen y destino. Esta información puede ser consignada en un archivo o hoja de cálculo, la cual puede ser fuente de información para el control de la celda.

4. RESULTADOS

Para probar la validez del modelo se desarrolló el software denominado K'Axllay, en el cual se implementaron varios modelos de celdas de manufactura, con los siguientes resultados:

- Se implementó la celda de manufactura de la figura 1.

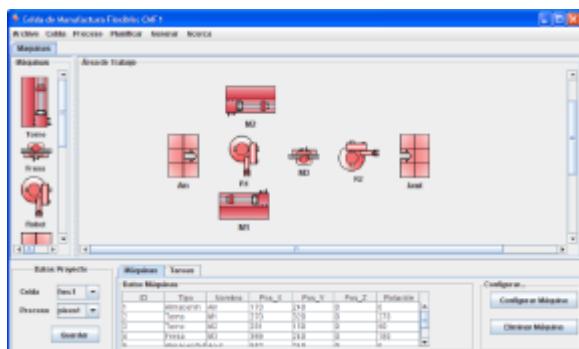


Fig. 1. Celda de manufactura flexible

Donde M1 y M2 son máquinas que pueden realizar la misma tarea. El modelo para la FMC será el siguiente:

M1(Ocp,Ti,Tf,Pin,Pout,Pieza),

M2(Ocp,Ti,Tf,Pin,Pout,Pieza),

M3(Ocp,Ti,Tf,Pin,Pout,Pieza),

R1(Ocp,Ti,Tf,Morg,Mdtn,Pin,Pout,Pieza),

R2(Ocp,Ti,Tf,Morg,Mdtn,Pin,Pout,Pieza),

Ain(Pi,Pe,Pp), Aout(Pi,Pe,Pp)

El conjunto de operaciones a realizar se muestran en la tabla 1, el cual es un tipo de problema flow shop donde cada trabajo o tarea tiene su ruta predeterminada a seguir y las operaciones deben seguir un orden dado [9], pero considerando máquinas paralelas.

Tabla 1. Conjunto de operaciones para fabricar una pieza en la FMC de la figura 1.

Trabajos	Operaciones	Mejecutora	Morigen	Mdestino	Tiempo
J1	O ₁₁	R1	Ain	M1	10
	O ₁₁	R1	Ain	M2	18
	O ₁₂	M1	0	0	20
	O ₁₂	M2	0	0	15
	O ₁₃	R1	M1	M3	15
	O ₁₃	R1	M2	M3	10
	O ₁₄	M3	0	0	25
	O ₁₅	R2	M3	Aout	10

El resultado obtenido al aplicar la metodología propuesta y que se implementó en un software para la fabricación de 3 piezas se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Actividades que debe desarrollar las máquinas de la celda para la producción de 3 piezas

Planificación para la producción de 3 piezas						
Máquina	Ocupada	Tiempo ini	Tiempo fin	Máquina d	Pieza In	Pieza Out
R1	1	0	10	Ain	M1	1
M1	1	10	30	0	0	1
R1	1	10	28	Ain	M2	1
M2	1	28	43	0	0	1
R1	1	30	45	M1	M3	11
M3	1	45	70	0	0	11
R1	1	45	55	Ain	M1	1
M1	1	55	75	0	0	1
R1	1	60	70	M2	M3	11
M3	1	70	95	0	0	11
R2	1	70	80	M3	Aout	112
R1	1	80	95	M1	M3	11
M3	1	95	120	0	0	11
R2	1	95	105	M3	Aout	112
R2	1	120	130	M3	Aout	1

- Se implementó la celda de manufactura de la figura 2, el cual es un ejemplo de problema de planificación *open shop*.

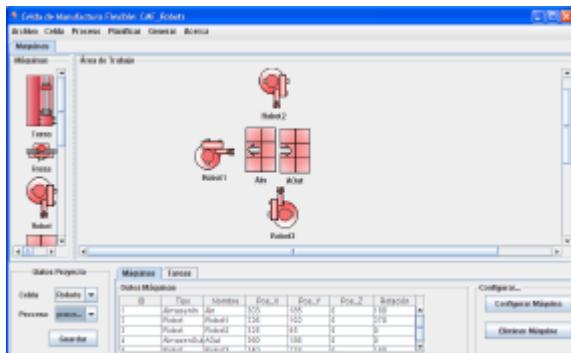


Fig. 2. Celda de manufactura flexible (open shop)

En este tipo de problemas todas las máquinas pueden realizar todas las operaciones y las operaciones pueden empezar en cualquier orden.

La tabla 3 muestra las operaciones y los tiempos para la celda de la figura 2.

Tabla 3. Tabla de operaciones y tiempos respectivos para la FMC de la figura 2

Trabajos	Operaciones	M1	M2	M3
J1	O ₁₁	5	3	2
	O ₁₂	1	2	2

La solución al problema de planificación para la producción de 5 piezas puede verse en la tabla 4 y en la figura 3.

Tabla 4. Conjunto de operaciones para fabricar una pieza en la FMC de la figura 2

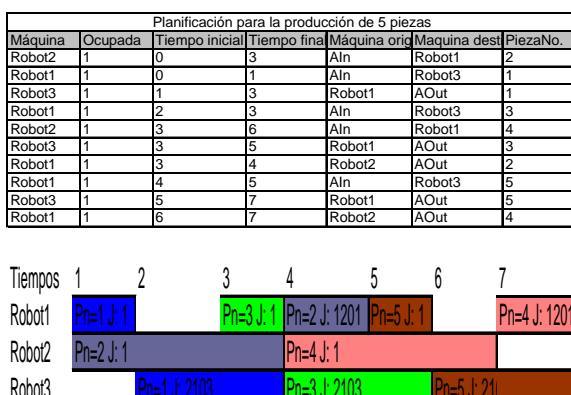


Fig. 3. Diagrama de barras para la distribución de tiempos y operaciones de las máquinas para la fabricación de 5 piezas en la celda de la figura 2.

Como se puede observar los resultados obtenidos son buenos, lo que valida la utilidad de la metodología y su utilidad como herramienta para el desarrollo de una FMC y para su análisis.

5. CONCLUSIONES

La metodología propuesta permite la implementación de diversos tipos de problemas de planificación de una manera rápida y sencilla, probando así la validez de esta metodología.

La metodología propuesta y la herramienta software desarrollada es general y puede utilizarse como una herramienta de investigación en la cual se pueden validar diversas propuestas de técnicas de búsqueda heurística y de funciones heurísticas, así como analizar el comportamiento de las FMC.

Un aspecto importante de este trabajo es que se logró reducir la explosión combinatoria, la cual crece considerablemente al tener más elementos en la FMC que puedan realizar la misma tarea (mayor número de combinaciones), con la estrategia de soluciones parciales propuesta.

La manufactura integrada por computadora (CIM) puede beneficiarse de la tarea desarrollada por el algoritmo propuesto, ayudando especialmente a la planificación de procesos asistido por computadora (CAPP), pues le permitirá establecer la manera más adecuada y eficiente el conjunto de operaciones o actividades que debe desarrollar la FMC para la fabricación de las piezas.

REFERENCIAS

- [1]. Bellanger, A., y A. Oulamara. «Scheduling hybrid flowshop with parallel batching machines and compatibilities.» *Computers & Operations Research* 36 (2009): 1982 - 1992.
- [2]. Bonet, Blai, y Hector Jennifer. «Planning as Heuristic Search.»
- [3]. Chen, Feng, y Kailei Song. «Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem.» *Computers & Operations Research*, nº 36 (2008): 2066-2073.
- [4]. Erhan Kesena, Saadettin, M.Duran Toksarib, Zülał Güngör, y Ertan Güner. «Analyzing the behaviors of virtual cells (VCs) and traditional manufacturing systems: Ant colony optimization (ACO)-based metamodels.» *Computers & Operations Research*, nº 36 (2009): 2275-2285.
- [5]. Lee, Wen-Chiung, Chin-Chia Wu, Yu-Hsiang Chung, y Han-Chu Liu. «Minimizing the total completion time in

- permutation flow shop with machine-dependent job deterioration rates.» *Computers & Operations Research*, nº 36 (2009): 2111-2121.
- [6]. Nilsson, Nils J. *Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis, Primera edición*. Madrid: McGraw Hill, 2001.
- [7]. Onwubolu, G. C., Y. M. Mutingi. «A genetic algorithm approach to cellular manufacturing systems.» *Computers & Industrial Engineering*, 2001.
- [8]. Pan, Jason Chao-Hsien, y Han-Chiang Huang. «A hybrid genetic algorithm for no-wait job shop scheduling problems.» *Expert Systems with Applications* (Elsevier), nº 36 (2008): 5800-5806.
- [9]. Pinedo, Michael L. *Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems*. New York: Springer, 2008.
- [10]. Rad, Shahriar Farahmand, Rubén Ruiz, y Naser Borojerdian. «Newhigh performing heuristics for minimizing makespan in permutation flowshops.» *Omega*, nº 37 (2009): 331 – 345.
- [11]. RAMOS, Carlos, Joao ROCHA, Y Zita VALE. «On the complexity of precedence graphs for assembly and task planning.» *Computers in Industry*, nº 36 (1998).
- [12]. Ramos, Silvia A. «ApuntesHeuristicas.pdf.» Modelos y Optimización I. Noviembre de 2007.
- [13]. Rego, Cesar, y Renato Duarte. «A filter-and-fan approach to the job shop scheduling problem.» *European Journal of Operational Research*, nº 194 (2009): 650–662.
- [14]. Soto, Jesús. «T2-III.». *Inteligencia artificial e ingeniería de conocimiento - estrategias de resolución de problemas: búsqueda informada*. <http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:o45KBMaOrhAJ:imai-software.com/moodle/file.php/2/T2-III.pdf+tipos+de+heuristica&hl=es&gl=co> (último acceso: 21 de 10 de 2008).
- [15]. T'kindt, Vincent, y Jean-Charles Billaut. *Multicriteria Scheduling Theory, Models and Algorithms*. Segunda edición. Berlin: Springer, 2006.
- [16]. Universidad de Alicante. Departamento de ciencias de la computación e inteligencia artificial. *Aplicaciones: Scheduling*. 2004. <http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/MTPSR/sesion9-alu.pdf> (último acceso: 7 de 2 de 2009).
- [17]. Wang, Xianpeng, y Tang Lixin. «A tabu search heuristic for the hybrid flowshop scheduling with finite intermediate buffers.» *Computers & Operations Research* (Elsevier) 36 (2007): 907-918.
- [18]. Winston, Henry Patrick. *Inteligencia Artificial, Tercera edición*. Wilmington, Delaware: Addison-Wesley, 1994.
- [19]. Zubair, M. Mohamed. «"A flexible approach to (re)configure Flexible Manufacturing Cell".» *European Journal of Operational Research*, 1995: 566.

Recibido: 19 de abril de 2009
Aceptado: 23 de julio de 2009

EVALUATION OF THE CURRICULAR ASPECTS OF COMPUTER SYSTEM ENGINEERING PROGRAM

EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS CURRICULARES DEL PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS

MSc. Torcoroma Velásquez Pérez

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Sede Algodonal Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5690088, Fax: 57-7-5690088, Ext. 212.
E-mail: tvelaquezp@ufps.edu.co

Abstract: The Computer Systems Engineering program of the University of “Francisco de Paula Santander Ocaña” in order to obtaining the registration qualified presented a document of minimum Conditions of Quality where the different most minimum standards are established required by the National council of Accreditation. One of the standards expressed in this document analyzes the basic curriculum aspects, which are conformed by; areas of formation, axes of formation, contents of the courses, competences and lines of investigation. The work here presented intends to do a semiannual review of these curriculum aspects, showing the evaluation of the different groups as are students, professors, graduates and educational administrative that belong to the Systems Engineering studies plan. A system of information was created that allows to register the results of the evaluations by the different groups, additionally they are analyzed through a system of takes of decisions to launch a diagnostic of the current situation of these aspects and to give alternatives of solution to the possible problems found.

Keywords: Artificial intelligence, decisions-making, curricula.

Resumen: El programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña con el fin de obtener el registro calificado presentó un documento de Condiciones mínimas de Calidad donde se establecen los diferentes estándares mínimos exigidos por el Consejo Nacional de Acreditación. Uno de los estándares plasmados en este documento analiza los aspectos curriculares básicos, los cuales están conformados por; áreas de formación, ejes de formación, contenidos de los cursos, competencias y líneas de investigación. El trabajo aquí presentado pretende hacer una revisión semestral de estos aspectos curriculares, mostrando la evaluación de los diferentes estamentos como son estudiantes, docentes, egresados y docentes administrativos que pertenecen al plan de estudios de Ingeniería de Sistemas. Se creó un sistema de información que permite registrar los resultados de las evaluaciones hechas por los diferentes estamentos, adicionalmente se analizan a través de un sistema de toma de decisiones para lanzar un diagnóstico de la situación actual de estos aspectos y dar alternativas de solución a los posibles problemas encontrados.

Palabras clave: Inteligencia artificial, toma de decisiones, currículo.

INTRODUCCIÓN

Es frecuente ver como las empresas ya tienen sistemas de información que soportan todo o gran parte de los procesos del negocio, ocasionando que estas sean más eficientes, pero hoy en día las instituciones o empresas tienen que ser más estratégicas creando sistemas que permiten lograr ventajas competitivas; por esto se deben generar sistemas que se orienten más a la toma de decisiones o a los sistemas estratégicos, evaluando alternativas de solución a las problemáticas generadas, para este tipo de sistemas de información se requieren utilizar técnicas de inteligencia artificial que colaboran en cumplimiento de estos objetivos.

La universidad Francisco de Paula Santander Ocaña como institución de educación superior, busca siempre mejorar la calidad de los programas académicos, teniendo en cuenta esta proyección se pensó en un sistema que permita la autoevaluación del programa Ingeniería de Sistemas en el aspecto curricular, por medio de una técnica de inteligencia artificial llamada redes neuronales, las cuales analizan las variables seleccionadas del sistema transaccional para indicar alternativas de solución, en base a los factores que influyen en el desarrollo del programa, con esto se busca mejorar la calidad en las futuras generaciones de egresados.

2. ASPECTOS CURRICULARES

Según lo reglamentado en la resolución Nro. 2773 De 2.003 por la cual se definen las características específicas de calidad para los programas de formación profesional de pregrado en Ingeniería [MINISTERIO DE EDUCACIÓN, 2009] se definen las áreas de formación como lo refleja el documento ‘Condiciones mínimas de calidad del programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña’, en su estándar número tres, Aspectos curriculares básicos se establece:

Áreas de Formación:

- Área de Formación en Ciencias Básicas. En esta se fundamenta la formación básica científica del Ingeniero. Estas suministran las herramientas necesarias para explicar los fenómenos físicos que nos rodean, hacen parte de esta; la matemática, la física, la biología y la química.
- Área de Formación en Ciencias Básicas Aplicadas. Tiene su origen en la

matemática y en las ciencias naturales, lleva a un conocimiento específico en la aplicación de la Ingeniería [Ministerio de Educación, 2009].

- Área de Formación Profesional Específica. Suministra las herramientas de aplicación profesional del Ingeniero, conduce a desarrollos propios de cada especialidad.
- Área de Formación Socio Humanística. Comprende componentes en Economía, Administración, Ciencias Sociales y Humanidades [Comité Curricular de Ingeniería de Sistemas, 2004].

Ejes de Formación:

- Ejes profesionalizantes. En este se interrelacionan contenidos de formación básica.
- Ejes trasversales. En este se interrelacionan los contenidos que desarrollan las competencias y la formación propia del Ingeniero de Sistemas.

Competencias:

- Competencias Procedimentales. En estas se evidencia la capacidad de desarrollo y desempeño en actividades propias de la especialidad.
- Competencias Propositivas. En estas se refleja la capacidad de proponer y plantear alternativas en diferentes problemáticas.
- Competencias Cognitivas. Estas competencias están vinculadas con la capacidad de explicar ciertos fenómenos teniendo en cuenta el conocimiento.
- Competencias Actitudinales. En este tipo de competencias se refleja las actitudes y valores que debe tener el futuro Ingeniero de Sistemas.

Los saberes se organizan en cursos, que se clasifican en obligatorios o electivos, [Comité Curricular de Ingeniería de Sistemas, 2004].

Para el programa existen seis líneas para las electivas como son software, redes, informática educativa, enfoque administrativo, inteligencia artificial y automatización; estas se toman de acuerdo a las preferencias de los estudiantes.

En el estándar número cinco, Formación Investigativa se tienen definidas las líneas de investigación:

Líneas de Investigación:

- Línea de Investigación en Teleinformática y Desarrollo de Software. Esta línea busca contribuir en la investigación y desarrollo de sistemas de Información y las Redes y Telecomunicaciones.
- Línea de Investigación en Agentes Inteligentes. En esta se suscribe el desarrollo de software utilizando la Inteligencia Artificial.

El programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander debe seguir estos parámetros en su formación académica por tanto corresponde a la institución vigilar que estos se estén cumpliendo a cabalidad.

3. AUTOEVALUACIÓN

La autoevaluación se entiende como un proceso de valoración, un método de contraste de los principios y propósitos misionales con el conjunto de acciones, procesos y procedimientos que lleva a cabo en la institución [Ministerio de Educación, 2009] o en un programa perteneciente a una institución educativa.

La autoevaluación es un mecanismo que permite confrontar criterios establecidos previamente con lo que se lleva en la realidad, es un proceso que mide el grado en que se están cumpliendo dichos criterios. Por medio de la autoevaluación de cada una de estas variables establecidas dentro del estándar tres y cinco de las Condiciones mínimas del programa de Ingeniería de Sistemas se da a conocer el grado en que se están llevando dentro del currículo académico del programa de Ingeniería de Sistemas, lo cual permite determinar las fallas y actuar sobre estas de una forma eficaz y eficiente, contribuyendo así con el desempeño del programa. En este proceso debe participar la comunidad que interviene directamente con el desarrollo de los aspectos curriculares básicos del programa como son estudiantes, docentes, docentes administrativos y por último los egresados, que es el ente en el cual se puede evidenciar con mayor precisión la calidad con que se han desarrollado cada uno de los aspectos establecidos. La autoevaluación permitirá tener una visión real de lo que pasa en el programa, puesto que lo existente en el documento ‘Condiciones Mínimas de Calidad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña’, es lo ideal, mas no lo real.

4. SISTEMA PARA LA AUTOEVALUACIÓN DEL PROGRAMA

Para la autoevaluación del programa Ingeniería de Sistemas en el aspecto curricular se tiene en cuenta factores importantes como lo son, docentes, estudiantes, docentes-administrativos y egresados, y la forma en que estos influyen en la calidad del programa. El proceso dentro del sistema de autoevaluación consiste en aplicar cuestionarios para evaluar cada una de los criterios establecidos como aspectos curriculares básicos, cada evaluación tiene como objeto contribuir en la determinación de los problemas existentes, los resultados obtenidos se almacenan, y luego son utilizados para realizar el respectivo proceso de diagnóstico y toma de decisiones. Para la creación de este sistema se cuenta con el desarrollo de un sistema transaccional y de un sistema de toma de decisiones. El sistema con capacidad de toma de decisiones requiere de una técnica de la Inteligencia Artificial llamada Redes Neuronales la cual utiliza el algoritmo *Backpropagation*.

Las redes neuronales son consideradas como sistemas compuestos de muchos elementos simples llamados neuronas que poseen características de entrada/salida, los cuales se encuentran ordenados de una forma jerárquica e interconectada en paralelo, donde el funcionamiento se determina gracias a la estructura de la red. El cuerpo de la neurona está compuesto por un núcleo que se encarga de las actividades metabólicas de la neurona [Redes Neuronales, 2009], y recibe información de neuronas vecinas por medio de las “entradas” (que vienen siendo las dendritas), por su parte el axón es la “salida” de la neurona y se utiliza para enviar impulsos o señales a otras células nerviosas. De la misma forma funciona una red neuronal artificial. Para el prototipo en cuestión se utiliza una red neuronal multicapa, en la cual las neuronas se dividen en capas de entradas, capas ocultas y capas de salida.

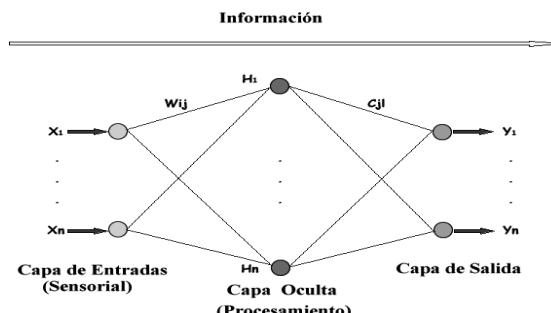


Fig. 1: Red Neuronal Multicapa

El algoritmo *Backpropagation* es el que permite entrenar a una red neuronal multicapa para que adquiera el aprendizaje deseado, de este aprendizaje dependen las propuestas que son lanzadas por el sistema para solucionar los posibles problemas encontrados.

En el desarrollo del prototipo de autoevaluación se puede evidenciar en la realización de las siguientes etapas:

4.1 Desarrollo del Sistema Transaccional

El Sistema transaccional es un sistema de información orientado a la Web, se desarrolló bajo el lenguaje PHP y utiliza el motor de bases de datos Mysql, éste toma información del Sistema de Información Académico (SIA) referente a estudiantes, egresados, docentes y materias del programa de Ingeniería de Sistemas e incluye la información curricular como áreas, ejes de formación, competencias y líneas de investigación que no se encuentran en el SIA. Adicionalmente de almacenar la información relacionada con el currículo académico del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña, permite recolectar y almacenar la información de los cuestionarios aplicados a los diferentes entes como lo son egresados, docentes, estudiantes, y docentes administrativos para ser utilizados por el sistema de toma de decisiones.



Fig. 2: Pantalla inicial del Sistema

Este sistema permite tener contacto con los criterios establecidos para el desarrollo del currículo académico del programa de Ingeniería de Sistemas como son: objetivos del programa, contenidos de las materias, objetivos de las áreas de formación entre otros; el sistema complementa la información establecida dentro del SIA respecto al programa de Ingeniería de Sistemas, y permite a los usuarios hacer parte de los procesos de autoevaluación desarrollados dentro de este.



Fig. 3. Pantalla de consulta al Sistema

El sistema genera:

- Consultas a las Áreas de Formación.
- Consultas a los Ejes de Formación.
- Consultas a las Competencias.
- Consultas a las Líneas de Investigación
- Consultas a los Contenidos de los cursos
- Consultas a las Evaluaciones

4.2 Conceptualización del Sistema de Toma de Decisiones

En esta etapa se definen una serie de variables tomadas del documento ‘Condiciones Mínimas de Calidad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña’, de cada una de estas se establece una serie de parámetros, mediante los cuales se puede medir el grado de desarrollo de estas variables. Estos parámetros sirven de entradas a la capa de entradas de la red neuronal. A continuación se presentan algunas de las variables tenidas en cuenta con uno de sus respectivos parámetros:

4.3 Competencias

- Alcance de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas.
- Cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas

A cada parámetro se asigna una calificación, y por cada nivel de calificación se establecen una serie de recomendaciones como las mostradas a continuación:

- Las competencias se están alcanzando adecuadamente, se debe continuar con su fortalecimiento.
- Las competencias se están alcanzando en un nivel medio por tanto se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su curso para el alcance de estas por parte de los estudiantes.

- Las competencias se están alcanzando en un nivel muy bajo, como medidas de acción se debe enviar un memorando informativo a los docentes con las competencias establecidas para cada curso, se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su curso para el alcance de estas por parte de los estudiantes y verificar semestralmente el cumplimiento de cada una de estas competencias.

Todas las recomendaciones con que cuenta el sistema para la autoevaluación de los aspectos curriculares del programa de Ingeniería de Sistemas fueron definidas con la colaboración del personal que hace parte del Comité curricular del programa, ya que este requiere de la asesoría de expertos en el currículo académico.

4.4 Formalización del Sistema de Toma de Decisiones

En esta etapa se definen una serie de reglas simples “*si... entonces*”, cuyas premisas están compuestas por un conjunto de proposiciones, las cuales corresponden a los parámetros y recomendaciones establecidos en la etapa de conceptualización. A continuación se tiene un ejemplo de lo realizado en esta etapa.

- **Competencias**

1. *Si* alcance y cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas, es alto **entonces** Las competencias se están alcanzando adecuadamente, se debe continuar con su fortalecimiento.
2. *Si* alcance y cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas, es medio **entonces** Se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su curso para el alcance de estas por parte de los estudiantes.
3. *Si* alcance y cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas, es bajo **entonces** Como medidas de acción se debe enviar un memorando informativo a los docentes con las competencias establecidas para cada curso, se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su

curso para el alcance de estas por parte de los estudiantes y verificar semestralmente el cumplimiento de cada una de estas competencias.

4.5 Construcción del Sistema de Toma de Decisiones

En esta etapa se definen las diferentes entradas y salidas que posee la neurona en cada una de sus capas, y se realiza la construcción del sistema teniendo en cuenta el algoritmo establecido, se utilizan las entradas para luego desarrollar el proceso de toma de decisiones mediante las reglas establecidas y dar las diferentes salidas a la problemática planteada.

Entradas.

1. (X1) Alcance de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas.
2. (X2) Cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas

Salidas.

- (Y1) Las competencias se están alcanzando adecuadamente, se debe continuar con su fortalecimiento.
- (Y2) Las competencias se están alcanzando en un nivel medio por tanto se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su curso para el alcance de estas por parte de los estudiantes.
- (Y3) Las competencias se están alcanzando en un nivel muy bajo, como medidas de acción se debe enviar un memorando informativo a los docentes con las competencias establecidas para cada curso, se debe capacitar a los docentes sobre las competencias que se deben perseguir en su curso para el alcance de estas por

Reglas.

1. Si $X_{13} = 0.9$ y $X_{14} = 0.9 \Rightarrow Y_1$
2. Si $X_{13} = 0.6$ y $X_{14} = 0.6 \Rightarrow Y_2$
3. Si $X_{13} = 0.3$ y $X_{14} = 0.3 \Rightarrow Y_3$

En términos generales el sistema de toma de decisiones trabaja mediante reglas establecidas como las planteadas anteriormente. Como ejemplo tenemos en cuenta los parámetros establecidos

como entradas X1 y X2, al obtener una calificación de 0.9 en el procesamiento de la información recolectada por medio del sistema transaccional, en el alcance de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas en 0.9 y 0.9 Cumplimiento de las competencias por parte del Ingeniero de Sistemas, tenemos como salida ‘Las competencias se están alcanzando adecuadamente, se debe continuar con su fortalecimiento’, esta recomendación la establece el sistema de toma de decisiones y logra evidenciar que las competencias se están alcanzando.

4.6 Entrenamiento del Sistema de Toma de Decisiones

En esta etapa se da el entrenamiento de la red neuronal teniendo en cuenta los aspectos realizados en las anteriores etapas, en esta se ejecuta el algoritmo establecido para el funcionamiento de la red neuronal, este proceso se sigue realizando hasta que el error máximo y error cuadrático sobre los patrones de entrenamiento sea menor a un error estándar definido como $E = 0.01$; dichos errores van disminuyendo mediante el aprendizaje de la red.

5. CONCLUSIONES

Este prototipo es una herramienta que contribuye en la mejora de la calidad de los futuros egresados del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña mediante la autoevaluación de los aspectos curriculares básicos.

Dicho prototipo esta basado en el algoritmo *backpropagation*, que trabaja de modo supervisado, este es apropiado para el presente trabajo ya que se puede determinar las acciones a seguir de acuerdo a los problemas presentados con el manejo de currículo en los programas. Una característica importante de las redes neuronales artificiales es la generalización que se logra al podar la red para su mejor funcionamiento, permitiendo así tratar con información incompleta y dando buenos resultados, casos que se pueden presentar, ya que en los casos reales no siempre se cumplen todas las condiciones planteadas en los patrones de entrenamiento.

Se involucran para el análisis los docentes, estudiantes y docentes administrativos del programa para poder tener diferentes opiniones y llegar a un consenso del proceso de formación de

cada asignatura. El aporte de los egresados es fundamental ya que se puede medir como ellos perciben desde la parte laboral la pertinencia de las competencias, que se lograron y en donde se están presentando debilidades.

El prototipo desarrollado puede ser aplicado a los demás programas teniendo un análisis previo de su estructura curricular básica, con el fin de proporcionar un apoyo a los mismos, permitiendo el mejoramiento de la calidad académica en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y además contribuir como herramienta que apoya la autoevaluación institucional.

Es importante que la Facultad de Ingenierías de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, continué con procesos de fortalecimiento en la línea de IA (Inteligencia Artificial) por medio de la realización de este tipo de trabajos los cuales son innovadores y captan el interés de los docentes y estudiantes.

REFERENCIAS

- Comité Curricular de Ingeniería de Sistemas (2005). *Condiciones Mínimas de Calidad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña*. Ocaña: Autor.
- Delgado, Alberto (1998). *Inteligencia Artificial y Minirobots*, (2^a ed). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Pressman, S Roger (2002). *Ingeniería del software un enfoque práctico*, (2^a ed). Editorial Mc Graw- Hill.
- Redes Neuronales. La neurona biológica. (s.a). [Julio 29, 2009] Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/mechatronica/mectronics/redes.htm>
- Rolston, W David (1998.). *Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos*. (2^a ed). Aravaca (Madrid): Editorial Mc Graw Hill,
- Ministerio De Educación Nacional. Resolución número 2773 de 2003. (s.a). [Junio 06, 22, 2009] Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86417_Archivo_pdf.pdf.
- Ministerio De Educación Nacional. Evaluación De Las Condiciones Mínimas De Calidad, Autoevaluación Artículo 130 Decreto 2566 de 2003. (s.a). [citado Junio, 22, 2009] Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_9/recursos/general/documentos/normatividad_externa/04092009/evaluacion_cond_min_cal.pdf. P 44

- Senn, James (1994). *Análisis y diseño de sistemas de información.* (2^a ed). México: Mc Graw Hill.
- Silberschatz, Abraham (1998). *Fundamentos de Base de datos.* Madrid: Mc Graw Hill.
- Velásquez, Torcoroma (2007). Conceptos de Inteligencia Artificial. Documento cambio de categoría. Ocaña. (Inédito)
- Bollella, Ana. Redes neuronales. (s.a) .[citado agosto 15, 2009]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/rednuro.shtml>

NORMAS PARA PUBLICAR ARTICULOS

Para publicar artículos científicos y tecnológicos en las secciones de la revista, debe de enviarlo por medio de correo electrónico de acuerdo con las normas de publicación en formato IFAC que se encuentran disponibles en:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/04082009/publi_revistas.jsp

(Formato IFAC). Como máximo 8 páginas (10 con justificación) el trabajo a presentar. Los artículos deben de enviarse también a:

rcta@unipamplona.edu.co

Nuestro comité editorial le comunicará el estado de su artículo y las observaciones del grupo de revisores para su publicación.

**AREAS TEMATICAS DE PUBLICACION**

- Telecomunicaciones.
- Control y automatización.
- Mecatrónica.
- Investigación de operaciones.
- Inteligencia artificial y robótica.
- Electrónica de potencia.
- Dispositivos y circuitos electrónicos.
- Procesamiento digital de señales.
- Microelectrónica.
- Bioingeniería.
- Ingeniería de software y simulación.
- Ingeniería Eléctrica.
- Sistemas y Gestión informática.
- Tecnologías Educativas.
- TIC's.

Cupón de suscripción

Revista Colombiana de

Tecnologías de Avanzada

ISSN: 1692 - 7257

Suscripción y Factura: _____

Dirección de envío: _____

País: _____

Valor de la suscripción (2 números) - \$ 30.000

Al exterior USD ----- \$ 30.00 USD

Consignar a la Universidad de Pamplona

Banco Bogotá: Cta. No. 46294676 - 4

Banco Popular: Cta. No. 72072061 - 4

CORRESPONDENCIA, CANJE Y SUSCRIPCIONES

Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas

Ciudadela Universitaria, Pamplona. Norte de Santander. Colombia.

Teléfonos: (+57) 7568 5303, Ext.: 241, 156.