

INFOCIENCIA

VOLUMEN 8 / 2014



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS
ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

Rector

Grab.

Roque Moreira Cedeño

Director ESPE Extensión Latacunga

Tern. de E.M.

Freddy Játiva Coronel

Subdirector ESPE Extensión Latacunga

Mayo de MG..

Daniel Chamorro Enríquez

**Jefe de Investigación, Innovación y
Transferencia de Tecnología**

Ing. José Bucheli, MSc.

Editor

Ing. José Bucheli , MSc.

Comité Editorial

Ing. David Rivas , MSc.

Ing. José Luis Carrillo , MSc.

PhD. Víctor Andaluz

PhD. María Villapol

Ing. Germán Erazo

PhD. Edison Espinosa

Ing. Euro Mena

Ing. Edison Cabezas

Dr. Jacqueline Pozo

Lcdo. Alfredo Albán

Colaboración:

Sra. María Berrazueta O.

Responsable Legal:

ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

Quijano y Ordoñez s/n y Hermanas Páez

Telf.: (03)2810206 Fax: (93) 2810208

<http://www.espe.edu.ec>

sie-el@espe.edu.ec

Diseño:

Impresión

ISSN 1390 – 339X



CONTENIDO

Válvula electro neumática vs variador de frecuencia como actuadores en el control de nivel Edwin Pruna, Ivón Escobar, Jaqueline Llanos, Paola Calvopiña, Estefanía Serna y Marco Pilatasig	1
Desarrollo de un sistema experto para la especificación de requerimientos María Alexandra Corral y José Luis Carrillo	6
Diseño e implementación de una celda de manufactura robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-EL Fausto Acuña, Marco Singaña, Nora Acosta y Edwin Caizalitin	18
Tips for reading extensively Alfredo Albán	28
Fabricación de ayudas técnicas para discapacitados empleando materiales compuestos con refuerzos de fibra de YUTE (<i>corchorus capsularis</i>) Roberto Beltrán, Julio Pino, Daniel Hernández, Antonio Otero y Héctor Terán	33
Términos de referencia para contratar servicios de consultoría para la implementación de un centro de datos e infraestructura de red en una universidad Patricio Espinel	38
Automatización del proceso de reto - lavado de los filtros de planta de tratamiento de agua e implementación de un sistema HMI para los procesos de filtrado y retro lavado para la planta de tratamiento de agua potable de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de "Lago Agrio". Washington Freire, Franklin Silva y Deivid Gaona	45
Especificaciones formales de sistemas de información usando notación Z Patricio Espinel	53
Cargador automatizado para baterías de vehículos híbridos German Erazo, Miguel Ávila, Leónidas Quiroz	62
Evaluación del desempeño de los controladores lógico y difuso y proporcional integral derivativo en una estación de caudal Edwin Pruna, Ivón Escobar, Jaqueline Llanos, Alex Navas y Jorge Zambrano	72
Propuesta de implementación de un modelo de calidad para la selección de software de base para servidores Patricio Espinel Mena y Javier Montaluisa	78
Diseño e implementación de un prototipo de unidad de medición fasorial (PMU - Phasor Measurement Unit) para el monitoreo, control y protección de sistemas eléctricos Diego Ortiz, A. Villamarin, D. Espín	85
Diseño y construcción de un prototipo de robot bípedo autónomo con desplazamiento dinámico Marco Singaña, Jackeline Llanos, Eduardo Morillo y Juan Portero	93



El aporte de la gestión del conocimiento a la ingeniería de requisitos	102
Cecilia Hinojosa, Geovanny Raura y Rodrigo Fonseca	
Diagnóstico energético de las áreas del taller industrial y de pintura del Centro de Producción de la ESPE Extensión Latacunga	109
Galo Ávila, Luis Mena, Juan Castro	
Conversión de una moto scooter de combustión interna y eléctrica	114
Euro Mena, William Bonilla, Christian Cabrera, Wilson Través y Enrique Mena	
Diseño del sistema de suspensión para un vehículo de competición formula student	120
Euro Mena, Oscar Arteaga, Juan Castro, Henry Iza, Juan Rocha, Víctor Zambrano, Mauricio Cruz, Stalin Mena, Manuel Garcés, William Bonilla, Javier Córdor	



EVALUADORES

PhD. Edison Espinosa

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

PhD. Ender Carrasquero

Universidad Rafael Bellosillo Chacín, Prometeo
Venezuela

PhD. Julio Pino

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

PhD. Víctor Andaluz

Universidad Técnica de Ambato,
Ecuador

Ing. Miguel Lucio

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. David Rivas MSc.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Eddie Galarza MSc.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Edwin Pruna

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Euro Mena

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Félix Manjarrez

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Freddy Acosta MSc.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Galo Ávila

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Raúl Cajas, MSc.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Roberto Beltrán MSc.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Wilson Sánchez

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Julio Senfort Navarro, MSc.

Universidad de Holguín
Cuba

Ing. Sandro Ricardo Palacio, MSc.

Universidad de Holguín
Cuba

Mg. Zandra Altamirano León

Pontificia Universidad Católica – Ambato,
Ecuador

MSc. Enrique Xavier Garcés Freire

Pontificia Universidad Católica – Ambato,
Ecuador

MSc. Germania Vayas

Pontificia Universidad Católica – Ambato,
Ecuador

MSc. Jessica Ortiz

Universidad Técnica de Ambato,
Ecuador

MSc. Stalyn Ávila

Universidad de Investigación de Tecnología
Experimental YACHAY,
Ecuador

PhD. Alberto Ríos

Universidad Técnica de Ambato,
Ecuador

PhD. José Luis Rojo

Universidad Rey Juan Carlos,
España



Ing. German Erazo
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. José Luis Carrillo, MSc.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Juan Castro
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Luis Guerra
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Marco Singaña
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Nancy Guerrón
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Néstor Romero
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Patricio Espinel, MSc.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

Ing. Alejandro Rojas
Universidad Tecnológica Equinoccial,
Ecuador

PhD. José Manuel Aller
Universidad Simón Bolívar,
Venezuela

PhD. José Restrepo
Universidad Politécnica Salesiana,
Ecuador

PhD. José Viola
Universidad Politécnica Salesiana,
Ecuador

PhD. Juan Carlos Castro
Universidad Técnica de Ambato,
Ecuador

PhD. Marco Flores
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,
Ecuador

PhD. María Elena Villapol
Universidad Central,
Venezuela

PhD. Mónica Huerta
Universidad Politécnica Salesiana,
Ecuador

PhD. Thamara Villegas
Universidad Simón Bolívar,
Venezuela

PRESENTACIÓN REVISTA INFOCIENCIA 2014



Nelson Mandela consideraba que la mayor gloria que tiene el hombre no es caer, sino levantarse siempre; en el campo de la investigación se evidencia la tenacidad, constancia, perseverancia por parte del investigador ya que no siempre las hipótesis pueden ser demostradas; en ocasiones deben ser reformuladas e inclusive se debe empezar de cero.

Los docentes investigadores de esta extensión universitaria, de manera permanente, como parte de la trasmisión del conocimiento en sus actividades académicas no sólo que dan a conocer aspectos teóricos, planteamientos y conclusiones de estudios internacionales pasados y recientes sino que son ellos mismos quienes como fruto de sus trabajos dan a conocer sus propias conclusiones a hipótesis planteadas en el seno universitario para coadyuvar a la resolución de casos específicos, son los docentes quienes con sus investigaciones van guiando a sus estudiantes en varios proyectos generados, es así que algunos de esos trabajos son dados a conocer a la comunidad universitaria y al lector interesado en temas técnicos, pensando en que el conocimiento no debe quedar oculto a la sociedad sino al contrario, que debe ser difundido para que coadyuve a la solución de otros problemas o sirva de base para continuar con nuevos retos o satisfacer nuevas interrogantes, logrando una sinergia que permita contribuir al país en el desarrollo tecnológico, la industrialización; considerando la normativa constitucional que busca la formación de profesionales con visión científica y humanista; realizando investigación científica y tecnológica, innovando, desarrollando y difundiendo la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo.

En este campus universitario se puede ser testigo del deseo permanente de adoptar planteamientos, retos que permitan alcanzar nuevos conocimientos, para analizarlos, aplicarlos y darlos a conocer, convencidos que es la manera correcta que tiene la sociedad para avanzar, ya que estos podrán constituirse en los cimientos para los nuevos pasos que se darán en la progresión de la meta a alcanzar.

Los trabajos de investigación son permanentes y con un alto contenido de aplicación de los temas tratados en las aulas, para luego con brillante y gran ingenio transformarlos en dispositivos y modelos que buscan coadyuvar a la solución de algunos problemas de la sociedad. Sin la difusión de los estudios realizados y los trabajos desarrollados para aplicar lo teórico quedaría inconcluso el esfuerzo realizado, es por esta razón que la Jefatura de Investigación y Vinculación con la Sociedad ha hecho posible que la octava edición de la revista INFOCIENCIA sea publicada. Felicitaciones a ese grupo humano de docentes investigadores, felicitaciones a esos estudiantes que con la guía de sus maestros, con esfuerzo y tenacidad han contribuido para la elaboración de esta nueva edición.

ING FREDDY J. JÁTIVA C. MBA
TCRN DE E.M.
DIRECTOR UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA

Válvula electro neumática vs variador de frecuencia como actuadores en el control de nivel

Edwin Pruna, Ivón Escobar, Jacqueline Llanos, Paola Calvopiña, Estefanía Serna y Marco Pilatásig

Departamento de Eléctrica y Electrónica
 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
 Latacunga- Ecuador

eppruna@espe.edu.ec, ipescobar@espe.edu.ec, jdllanos1@espe.edu.ec, jpcalvopina@espe.edu.ec, emserna@espe.edu.ec, mapiltásig@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014. Aceptado: diciembre, 2014

Resumen-- El propósito de este trabajo de investigación es presentar el análisis del consumo energético de la estación nivel. Para ello se dispone de la estación de trabajo ND-0704 cuya finalidad es controlar el nivel de agua de un tanque al manipular el caudal del líquido utilizando dos mecanismos diferentes, el primero es utilizar una válvula electro neumática de control cuya apertura es proporcional a una señal de 4-20 mA y el otro mecanismo utiliza un sistema motor-variador-bomba cuya succión es proporcional a la velocidad de dicho motor.

Se diseñó un controlador PID para ambos mecanismos y para el análisis del consumo energético se utilizó el analizador de Redes Fluke modelo 1735 con el cual se comprobó que al utilizar el variador de frecuencia se disminuye hasta un 49% de potencia total consumida y la potencia aparente disminuyó hasta un 48%.

Palabras clave-- Bombas centrífugas, control de nivel, válvulas de control, variadores de frecuencia.

Abstract-- The purpose of this study is to present the analysis of the consumption of electrical energy of the station level. It was necessary to use the work station ND-0704 which has purpose of to control the level of water from a tank when manipulating the flow of the liquid, using two different mechanisms, the first is to use a electro-pneumatic valve of control whose opening is proportional to a sign of 4-20 mA and the other mechanism uses a system motor-variable frequency drive -pump, whose suction is proportional to the speed of this motor.

It was necessary design a PID controller for both mechanisms, and it was used for the analysis of the energy consumption a network analyzer Fluke model 1735 it allowed to determine that when is used the variable frequency drive it diminish until 49% of total power consumed and the apparent power decreases until 48%.

Keywords-- Centrifugal pumps, level control, control valves, variable frequency drive.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las variables en la industria que se necesita medir, monitorear y controlar es el nivel, por su importancia en el óptimo funcionamiento del proceso, y en etapas de acopio de materia prima y el almacenamiento del producto final.

Es necesario conocer las propiedades de la sustancia o fluido que se manejará así como la estructura del sistema ya

que en función de las mismas se seleccionarán los elementos y el diseño del control.

La variable nivel puede ser controlada por diferentes mecanismos, dependiendo de los requerimientos del proceso, uno de estos manipular el caudal del líquido con el fin de mantener determinado nivel en un depósito. Para regular el flujo del fluido en el proceso se puede utilizar diferentes elementos de control final como válvulas de control o sistemas motor – variador – bomba, este último permite ahorrar el consumo energético por la disminución de consumo de potencia del motor. Además el uso de este elemento evita cambios repentinos en la presión que hay en las tuberías de transporte, manteniendo la integridad de los demás elementos. [1]

Para comparar la eficiencia entre estos actuadores se debe analizar las curvas de rendimiento, tomando en cuenta parámetros básicos, la variación de caudal, carga estática y dinámica, temperatura. Sin embargo el ahorro de energía al usar variadores de frecuencia con bombas de 5 a 200 hp es más significativo. [2]

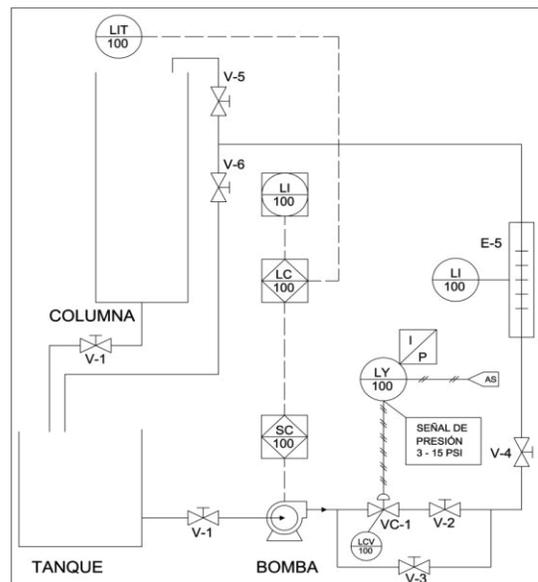


Figura 1. Diagrama P&ID de la estación de trabajo ND-0704

Para un control óptimo el sistema debe trabajar en el punto de operación Q, es el que determina la eficiencia del sistema a más de evitar que exista cavitación en los elementos del mismo. Para determinar este punto se debe hallar la intersección de la curva del sistema con la curva resultado de la variación de velocidad en caso de usar un variador de frecuencia. Cuando se utiliza una válvula de control este punto es resultado de la intersección curva del sistema con la curva de diferentes valores de caudal. Estos dos criterios son conocidos también como gasto constante y gasto variable respectivamente [1]

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La estación de trabajo ND-0704 (

Figura 1. Diagrama P&ID de la estación de trabajo ND-0704

), del Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga consta de un sistema de control de la variable nivel para lo cual está provisto de: un controlador lógico programable Siemens S7-1200 que procesa la información de acuerdo al control configurado, un transmisor de nivel tipo radar Rosemount 5402 que entrega señales de 4 a 20mA proporcional a un rango de 20 a 60 centímetros de nivel de agua, un rotámetro que permite visualizar el caudal.

Integra como elemento de control final una válvula electro neumática proporcional Baumann 24000 Little Scotty, un variador micromaster 440.

Además posee un touch screen Red Lion que contiene un HMI para sintonización y monitoreo del sistema, permite escoger el actuador que se utilizará; un variador de frecuencia que regula la velocidad de una bomba centrífuga o una válvula electro neumática proporcional en conjunto con un conversor de corriente a presión para apertura o cierre de la misma.

Debido a que este trabajo busca analizar el consumo energético al aplicar dos actuadores diferentes se utilizó un analizador de redes Fluke modelo 1735 cuya conexión se explica en el análisis de resultados.

III. DISEÑO DE LOS CONTROLADORES

A. Diseño del control con válvula electro neumática proporcional

En esta sección se diseña un controlador PID considerando como actuador una válvula electro neumática.

Para realizar la sintonía de los controladores PID del proceso en la estación de trabajo ND-0704 se ha utilizado el método del tanteo que consiste en mantener la banda derivativa en 0 y la integral en 0 repeticiones/minuto, luego aumentar la ganancia proporcional hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0,25. Se incrementa lentamente la banda integral hasta que el sistema elimine el error de estado estable perturbando al sistema.

Se aumenta poco a poco la banda derivada, y al mismo tiempo se perturba el sistema, hasta que la constante derivativa compense rápidamente la perturbación evitando y adelantándose a los cambios bruscos en el proceso. [4]

La sintonización del controlador usando válvula está

determinada por las siguientes constantes:

$$K_p= 4,413$$

$$T_i=11,561 \text{ min/rep}$$

$$T_d= 2,29 \text{ min}$$

B. Diseño del control con variador de frecuencia

En esta sección se diseña un controlador PID que a diferencia del anterior se usa como elemento de control final un variador de frecuencia. La sintonización del controlador PID se realiza usando el método del tanteo descrito en la sección anterior.

$$K_p=1,350$$

$$T_i=6,925 \text{ min/rep}$$

$$T_d=1,53 \text{ min}$$

IV. RESULTADOS COMPARATIVOS

A. Análisis del consumo energético

Para el análisis del consumo energético se consideraron los dos actuadores (electro válvula y variador de frecuencia), se utilizó el analizador de Redes Fluke, modelo 1735 con una conexión para una fase dividida como muestra la Figura 2, donde el neutro está insertado en el centro y hay dos bifurcaciones activas que corresponden a los conductores de prueba A y B. AB es la tensión de fase a fase, que es dos veces el de cada bifurcación activa [3].

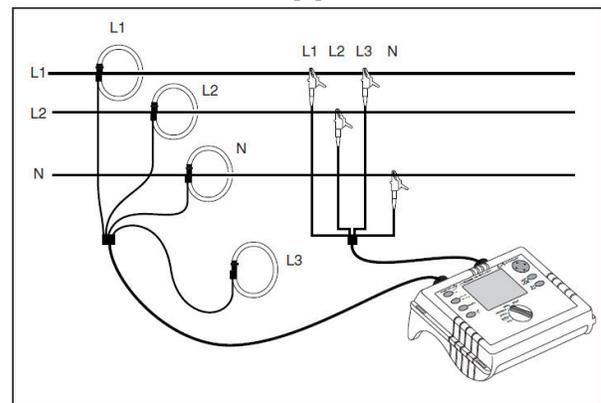


Figura 2 Conexiones de fase dividida Fluke 1735

Una vez conectado el analizador de red con el proceso en funcionamiento, se varió el punto de consigna en escalones de forma ascendente, descendente y de forma combinada. Se realizó una prueba de cada modalidad de forma diaria por dos semanas y se sacó un promedio para desarrollar cuadros comparativos.

La prueba combinada se aproxima más a un proceso industrial real por lo que se van a tomar en cuenta los valores medidos en la misma para el análisis de consumo energético, y se determinó que utilizar variadores de frecuencia reduce el consumo de energía eléctrica en el motor ya que trabaja de 0 a 100% dependiendo el punto de consigna del nivel de agua, y no a una velocidad constante por consiguiente disminuye el consumo energético y costos de operación.

Se comprobó también que al utilizar el variador de

frecuencia existe una disminución de hasta el 49% de potencia total consumida como se presenta en la Figura 3.

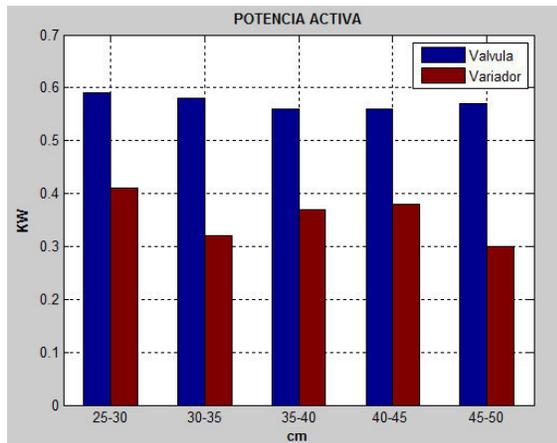


Figura 3 Promedio de potencia activa prueba combinada

En la Figura 4 se puede apreciar que la potencia aparente disminuyo hasta un 48% del consumo total, utilizando el variador de frecuencia como elemento de control final.

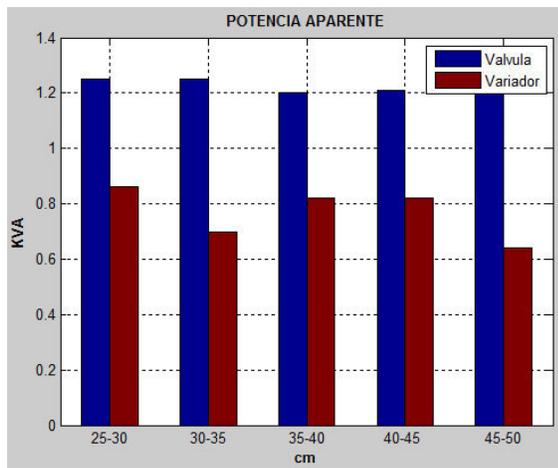


Figura 4 Promedio de potencia aparente prueba combinada

B. Comportamiento del controlador

Para determinar que el control PID elegido trabaja correctamente, brindando las mejores características de eficiencia y rapidez en la respuesta del proceso, se han realizado varias pruebas en la estación de trabajo ND-0704 del Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

El análisis del comportamiento del controlador se realiza para cada uno de los actuadores de manera que se pueda garantizar que ambos trabajan bajo las mismas condiciones. Se realizaron 3 tipos de pruebas para cada actuador, en las cuales se varió el punto de consigna (en centímetros) en escalones de forma ascendente, descendente y de forma combinada, de ésta última prueba se obtuvieron las curvas de respuesta del sistema, empleando como actuadores tanto al variador frecuencia como a la válvula electro neumática como se presenta en la Figura 5 y Figura 6 respectivamente.

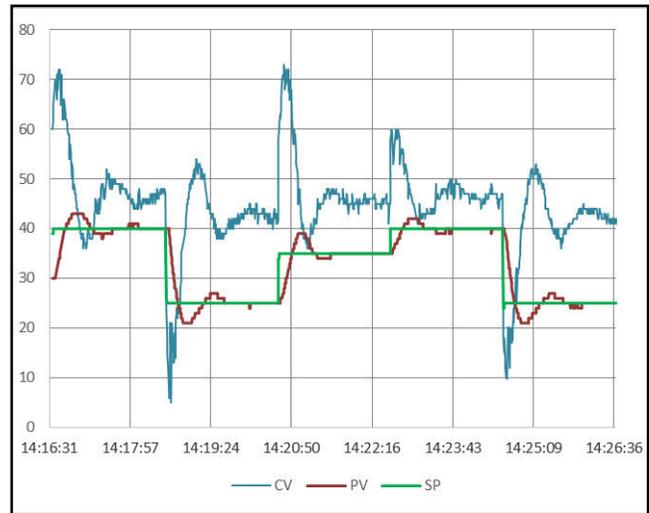


Figura 5 Control PID de la Estación de Nivel con Variador de Frecuencia

Como se puede observar, la curva de la señal de control (CV) del variador muestra comportamiento más estable, entregando en promedio el 44,9% de señal sin alcanzar en ningún momento un valor extremo.

En la válvula electro neumática, la señal de control (CV) lleva en varias ocasiones a la válvula a una apertura y cierre del 100%. La válvula se mantiene en una apertura promedio del 37,7%.

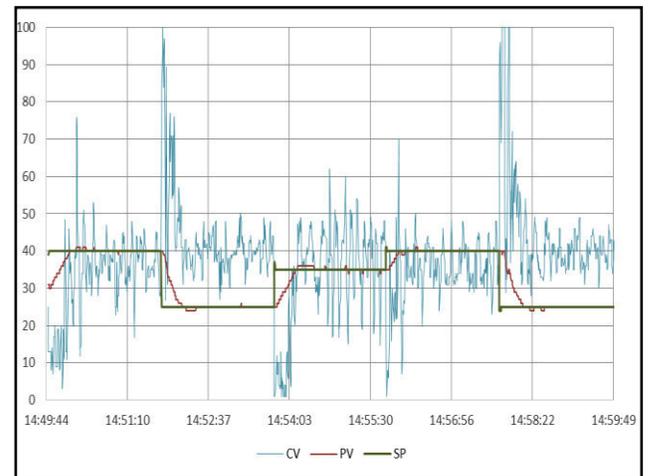


Figura 6 Control PID de la estación de Nivel con Válvula Electro neumática

Para el análisis del comportamiento de la señal de proceso (PV) se ha tomado en cuenta los valores de porcentaje de sobre impulso, tiempo pico y tiempo de asentamiento de la curva del sistema, de esta forma establecer la existencia de similares condiciones de trabajo para los dos actuadores, TABLA I y TABLA II.

Durante la prueba combinada (variación ascendente y descendente del punto de consigna) utilizando el variador de frecuencia se obtuvo un máximo porcentaje de sobre impulso de 1,4%, un tiempo pico máximo de 21 segundos y un tiempo de asentamiento máximo de 59 segundos, utilizando la válvula de control el porcentaje de sobre impulso se reduce en relación al variador, alcanzando un máximo de 0,4%, el

tiempo pico máximo es de 33 segundos y el tiempo de asentamiento es de 33 segundos. Cabe recalcar que en algunos casos no existe sobre impulso en la señal del proceso (PV) con la válvula.

TABLA I
DATOS DE LA CURVA DE RESPUESTA DEL SISTEMA USANDO VARIADOR DE FRECUENCIA.

SP (cm)		Porcentaje de Sobre impulso (%)	Tiempo Pico (s)	Tiempo de asentamiento (s)
30	40	1,2	21	53
40	25	1	18	55
25	35	1,4	21	34
35	40	0,8	19	59
40	35	1	19	55

Se observa entonces una mínima diferencia de estabilidad en los procesos de manera que se puede decir que responden de manera similar.

TABLA II
DATOS DE LA CURVA DE RESPUESTA DEL SISTEMA USANDO VÁLVULA ELECTRO NEUMÁTICO

SP(cm)		Porcentaje de Sobre impulso (%)	Tiempo Pico (s)	Tiempo de asentamiento (s)
30	40	0,4	30	30
40	25	0,25	26	26
25	35	0,35	27	27
35	40	0	14	14
40	25	0,25	33	33

V. CONCLUSIONES

De los experimentos realizados, se determinó que utilizar variadores de frecuencia reduce el consumo de energía eléctrica en el motor ya que el sistema motor-bomba trabajan en un rango de 0 a 100% dependiendo del nivel de agua que se desee controlar, y no al máximo de potencia.

Se comprobó que al utilizar el variador de frecuencia existe una disminución de hasta un 49% de potencia total consumida, así como también disminuye hasta un 48% de la potencia aparente.

De todas las pruebas desarrolladas el valor máximo de ahorro fue de 270W y de 580VA, estos datos llevados a un nivel industrial representan un ahorro económico significativo para la empresa.

El control con variador tiene un promedio de 0.84% mayor de sobre impulso en relación al de la válvula proporcional, pero definitivamente hay un mejor cuidado del actuador que no posee cambios bruscos lo que alargara la vida útil del mismo.

El variador muestra un comportamiento más estable, entregando en promedio el 44,9% de señal, lo que representa un menor consumo de energía eléctrica del sistema.

La ventaja de utilizar un variador de frecuencia como actuador es que no se necesita un suministro de aire para el control del proceso, mientras que en la válvula de control se requiere una señal neumática de 20PSI como alimentación del conversor de corriente a presión.

Se recomienda desarrollar las pruebas para determinar curvas de eficiencia del sistema.

REFERENCIAS

- [1] R. Salas Venegas, «Ahorro de energía en bombas centrífugas por medio del control de flujo.» Instituto Politécnico Nacional, México, 2009.
- [2] J. C. Campos Avella, E. Lora Figueroa, L. Meriño Stand, I. Tovar Ospino y A. Navarro Gómez , «Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas,» Universidad del Atlántico, Colombia, 2010.
- [3] C. Fluke , *Manual de uso 1735 Power Logger*, 2006.
- [4] A. Creus y A. Creus, Instrumentación industrial, Barcelona: marcombo, 2011.
- [5] J. Nunez Perez, «Advantages and disadvantages in the use of a variable system velocity-motor,» *Energy Technology Data Exchange World Energy Base*, 1997.
- [6] J. E. Castellanos, D. R. Mahecha y E. Nuñez, «Variadores de Frecuencia Eléctrica en el Control de Bombeo de Hidrocarburos para la reducción de costos energéticos,» *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, p. 8, 2012.
- [7] B. Abril, J. Palacios y C. Pantoja, «Optimización de Energía en Sistemas de Bombeo,» 2013.
- [8] Benhaddadi, M.;Olivier, G. y Dima B. Energy savings by means of generalization adjustable speed drive. XX CANADIAN CONFERENCE ON ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (CCECE). Montreal, 2007.
- [9] Monteagudo Yanes, José y Borroto Norelo, Aníbal. Ahorro de energía en sistemas de bombeo y ventilación. Editorial Universidad de Cienfuegos, 2002.p. 3-40. La Habana. 2002.



Edwin Patricio Pruna Panchi. Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2007; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



Ivón Patricia Escobar Anchaguano. Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniera Electrónica e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2008; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



Jacqueline Llanos. Es Ingeniera Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Eléctrica de la Universidad de Chile. Actualmente es docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sus áreas de investigación son en controladores avanzados, modelamiento de sistemas, modelos de predicción, micro-redes, aplicaciones de controladores inteligentes.



Estefanía Serna. Es egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Actualmente se encuentra desarrollando su proyecto de tesis acerca de la implementación de un posicionador electro neumático inteligente para el diagnóstico y control de una válvula proporcional e integración a una red Industrial HART.



Paola Calvopiña. Es egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Actualmente se encuentra desarrollando su proyecto de tesis acerca de la implementación de un posicionador electroneumático inteligente para el diagnóstico y control de una válvula proporcional e integración a una red Industrial HART.



Marco Pilatásig Panchi. Nació en Latacunga, Ecuador en 1980. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE Extensión Latacunga en 2005; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Desempeña las funciones de Docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.

Desarrollo de un Sistema Experto para la Especificación de Requerimientos

María Alexandra Corral Díaz y José Luis Carrillo-Medina

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga- Ecuador

macorral@espe.edu.ec, jlcarrillo@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen-- La complejidad de los proyectos de software, así como el carácter multidisciplinar de ingeniería de requisitos obliga a los desarrolladores a seleccionar cuidadosamente las técnicas y prácticas de especificación de requerimientos durante el proceso de desarrollo de software. Uno de los mayores problemas en la especificación de requerimientos es trasladar de un lenguaje natural a una especificación, en la que el requerimiento tenga aplicación en el dominio, este traslado se ve comúnmente afectado por la mala comprensión del dominio de la aplicación, el mayor trabajo para el ingeniero de software es explorar ámbitos desconocidos y trabajar en un lenguaje, en que tanto el usuario como el ingeniero mantienen un grado de abstracción diferente. En este artículo se investiga a cerca de los problemas que se presentan en la especificación de requerimientos asistidos y/o apoyados por un sistema experto.

Una de las técnicas utilizadas para la especificación de requerimientos es determinar los tipos de marcos de problemas con la finalidad de obtener la tipificación de requerimientos.

Se implementa un sistema experto el cual permite obtener un documento de especificación de requerimientos basado en el estándar IEEE 830, documento entendible y legible para la fase inicial del desarrollo de un producto software.

Palabras clave- Especificación de requerimientos, Marcos de problemas, Sistemas Expertos.

Abstract-- The complexity of software projects as well as the multidisciplinary nature of requirements engineering requires developers to carefully select the techniques and practices of requirements specification for the software development process. One of the biggest problems in the requirements specification is moved from one natural language to a specification, in which the requirement has application in the domain, this transfer is commonly affected by poor understanding of the application domain, the more work for the software engineer is to explore unknown areas and work in a language that both the user and the engineer maintain a different level of abstraction. This article investigates about the problems that arise in specifying requirements assisted and / or supported by an expert system.

One of the techniques used for requirements specification is to determine the types of problems frameworks in order to obtain the definition of requirements.

An expert system which allows a requirements specification document based on the IEEE 830, understandable and legible for the initial phase of development of a software product is implemented document.

Keywords-- Requirements specification, Problems frames, Expert Systems.

I. INTRODUCCIÓN

El reto de las empresas desarrolladoras de software es implementar aplicaciones que sean entregadas a tiempo, que no involucren presupuestos elevados y que satisfagan las necesidades del usuario, utilizando para su efecto metodologías y herramientas que guíen el proceso de desarrollo de Software.

La ingeniería de requisitos es la ciencia y la disciplina que se ocupa del análisis, documentación y validación de los deseos, necesidades y/o requerimientos de las partes interesadas para el desarrollo de un sistema [1]. Jiang et al. [2], considera que la mala práctica de la ingeniería de requisitos contribuye al fracaso de proyectos de software. Macaulay [3] demuestra los beneficios de la ingeniería de requisitos, presenta muchas evidencias empíricas, mientras Nuseibe et al. [4] cita el impacto positivo de la utilización de técnicas de ingeniería de requisitos adecuadas para mejorar la calidad del software.

Siendo la ingeniería de requisitos una de las actividades más complicadas e importantes para construir un producto software, hablamos específicamente de la elicitación de requerimientos que es una subactividad de la ingeniería de requisitos la cual tiene un alto impacto en el diseño y en las fases posteriores del ciclo de vida de un producto software. Si esta se realiza apropiadamente, ayuda a reducir cambios y correcciones en los requisitos. La elicitación de requerimientos se considera como la primera etapa en el proceso de abstracción, comprensión y concepción de las funcionalidades que un producto software debe cumplir. Definiéndose como requerimiento una condición o capacidad que debe cumplir o poseer un sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación u otro documento formalmente impuesto.

La elicitación es una actividad humana donde se identifican las partes interesadas y se establecen las relaciones entre el comprador, el cliente, los usuarios y el equipo de desarrollo. De acuerdo a estudios realizados en [5] el 79% de todos los documentos de requisitos están escritos en lenguaje natural común. Trasladar de un lenguaje natural común a una especificación, en donde el requerimiento tenga aplicación en

el dominio, es uno de los problemas más comunes que enfrentan los analistas. La relación entre analistas y diseñadores son susceptibles a producir errores en la interpretación de los requerimientos, razón por la cual se ha ampliado líneas de investigación con el objetivo de acortar brechas entre la especificación de requerimientos y el diseño a través de la conversión de modelos verbales a modelos conceptuales [6], visto de diversos enfoques como heurísticas a ser usadas a discreción del analista o a través de la utilización de herramientas de apoyo tanto para la interpretación automática del lenguaje natural como la aplicación automática de las heurísticas [7].

La mayoría de las herramientas existentes de acuerdo a estudios realizados por [8], se basan en sistemas centralizados de gestión de bases de datos que almacenan información de los requisitos, que suelen consistir en párrafos de texto libre con una serie de atributos predefinidos. Mediante el estándar 830 de la IEEE se puede obtener un documento que sirve de contrato sobre especificaciones del producto a construirse, tanto para la empresa consumidora como para la empresa proveedora, en la que las partes mantengan un mutuo acuerdo. Las razones por las que las empresas no documentan los requerimientos es el tiempo y costo empleado para esta actividad, centrándose directamente en el desarrollo del producto de software.

La investigación genera un sistema experto que permite asistir al ingeniero de software en la obtención del documento de especificación de requerimientos de software, basado en el análisis de marcos de problemas propuestos por Michael Jackson [10], mediante el empleo del estándar IEEE 830.

Un Sistema Experto es un conjunto de programas computacionales, que constan de hardware y software que imitan el proceso de pensamiento de un experto para resolver problemas complejos en un campo o dominio en particular.

Un marco de problema caracteriza a una clase de problema simple. Los problemas realistas son vistos como composiciones de problemas sencillos de clases reconocidas correspondientes a marcos elementales conocidos, es decir, la complejidad del problema se aborda por descomposición en subproblemas, y así en forma recursiva, hasta que los subproblemas obtenidos son lo suficientemente simples para ser entendidos y resueltos sin más descomposición.

La sección II del paper proporciona un esquema general sobre ingeniería de requisitos, análisis de dominios, marcos de problemas y tipificación de requerimientos, explicando e ilustrando sus principios y motivaciones subyacentes. Se explica la metodología a utilizar para el desarrollo de un sistema experto. El análisis detallado sobre los principios aplicados en la construcción de un sistema experto para asistir al ingeniero de conocimientos en la especificación de requerimientos de software están en la sección III, en donde se examina los procesos de análisis basados en marcos de problemas y como los marcos de problemas encajan en el contexto más amplio de las técnicas de especificación de requerimientos para el desarrollo de productos software utilizando la metodología propuesta. En la sección IV las ideas, principios, prácticas subyacentes son revisados y

discutidos en el contexto del sistema desarrollado.

II. MARCO CONCEPTUAL

A. Ingeniería de requisitos

La ingeniería de requisitos provee el mecanismo para la comprensión de las necesidades de los usuarios, utilizando para ello métodos, técnicas y herramientas que permiten analizar, documentar y especificar requerimientos de software.

El proceso de determinar los requerimientos empieza con la extracción y análisis de requisitos, considerándose una parte crítica en el proceso, ya que es la fase en donde se determina que es lo que realmente los clientes, los usuarios e interesados quieren que realice el sistema.

Un buen documento de ingeniería de requisitos puede reducir la carga de trabajo de los desarrolladores en las fases posteriores del desarrollo del producto software, mientras que una buena referencia en la documentación ayuda a prevenir problemas de mantenimiento[9].

B. Análisis del dominio

El análisis del dominio es "el proceso por el cual la información utilizada en el desarrollo de sistemas de software dentro del dominio es identificado, capturado, y organizado con el fin de hacerla reutilizable (para crear activos) en la construcción de nuevos productos" [10]. Este proceso puede ser utilizado para identificar elementos comunes y la variabilidad en los requerimientos y capturar las decisiones sobre los rangos y las interdependencias de variabilidad. Si el análisis del dominio no se lleva apropiadamente está termina en su definición ya sea por ser demasiada amplia o por ser demasiada restrictiva al alcance de la línea de productos. Lo que implica que los grandes beneficios como son la reutilización, la reducción de costes y mejora de la calidad del producto software no se pueden realizar [11].

El análisis de dominios se considera como una herramienta útil para el desarrollo de sistemas en dominios estables, en los cuales la información de contexto puede ser fácilmente deducible a partir de expertos de dominio [12].

C. Marcos de problemas y tipificación de requerimientos

Los marcos de problemas, dan mayor énfasis a la comprensión de problemas reales [13], representan, clasifican y transforman los problemas de software a través de la descomposición del problema en subproblemas más simples. Los marcos de problemas permiten clasificar y caracterizar clases de problema que ordinariamente ocurren como subproblemas de otros problemas más grandes y reales. Un problema que pertenece a una clase caracterizada por un marco elemental podrá ser definido mediante descripciones apropiadas a un marco. Un problema de una clase compuesta podrá primero ser descompuesto en subproblemas caracterizados por marcos elementales. La descomposición permite detectar e identificar las partes de un marco y las diferentes aproximaciones a la descomposición de un problema real en subproblemas ajustables a marcos elementales. Jackson utiliza dos técnicas para la descomposición de problemas: interior-exterior y exterior-interior. La técnica interior-exterior permite ajustar al

problema aproximadamente a un marco de problema conocido, pero exhibe dificultades que frustran la aplicación pura del marco, tales dificultades generan por sí mismas subproblemas que pueden reconocerse ajustándose a otros marcos. La técnica exterior-interior permite al usuario identificar partes del problema (subproblemas) para deducir un tipo de marco de problema. Una vez identificado el marco de problema por una de las dos técnicas se puede deducir el tipo de requerimiento (tipificación de requerimientos). La Tabla I

muestra los tipos de requerimientos asociados a los tipos de marcos de problemas descritos por Jackson. Por lo tanto cuando se detecta un problema que se ajusta a uno de los marcos, se conoce como debe documentarse sistemáticamente el problema de una manera que sea útil para el resto del desarrollo. Los problemas reales involucran distintos tipos de requerimientos a la vez, como es el caso de marcos compuestos.

TABLA I
TIPIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS ASOCIADOS A LOS TIPOS DE MARCOS DE PROBLEMAS [13].

Tipo de Requerimiento	Descripción	Marco de Problema	Descripción
Consultas	Requerimiento de información sobre alguna parte del dominio del problema	Información	Todo software que resuelve un problema de información, contesta consultas acerca de cierta parte del mundo real. Documentar un problema de este tipo involucra describir los tipos de requerimientos de información a ser satisfechos, la parte del mundo real sobre la cual aplican tales consultas y cómo el software puede tener acceso a dicha parte del mundo.
Reglas de comportamiento	Reglas que debe seguir el comportamiento del dominio del problema	Control	En un problema de control, el software es responsable de asegurar que alguna parte del mundo se comportará de acuerdo a ciertas reglas. Documentar un problema de este tipo involucra describir los objetos que habitan en tal parte del mundo, las reglas causales a las que obedecen, las reglas que rigen a dichos objetos por efecto de su propia naturaleza, y los fenómenos compartidos con el software a través de los cuales el mismo puede monitorear el estado del mundo e iniciar cadenas causales que resulten en las reglas que se están siguiendo.
Mapeos	Mapeos sobre datos de entrada y de salida del software	Transformación	Para resolver un problema de transformación, el software genera datos de salida que están mapeados contra datos de entrada de acuerdo a reglas específicas. Documentar un problema de este tipo involucra la descripción del conjunto completo de todas las posibles entradas y las reglas de mapeo que prescribe, para cada posible entrada, la salida correcta.
Operaciones sobre dominios creados	Operaciones que realizan los usuarios sobre objetos que existen solo dentro del software	Workpieces	En un problema del tipo Workpieces, el software actúa como una herramienta para carear objetos que existen solo dentro del mismo software. Documentar un problema de este tipo consiste en la descripción del objeto que existirá dentro del software y las operaciones que los usuarios pueden realizar sobre el mismo.
Correspondencias entre dominios	Mantenimiento de dominios que no poseen fenómenos compartidos en sus estados correspondientes.	Conexión	En un problema de conexión, hay dominios que no comparten fenómenos directamente, sino que lo hacen a través de otro dominio entre ellos, el dominio de conexión. El problema consiste en lograr que dos dominios indirectamente conectados se comporten como si estuvieran directamente conectados.

Las relaciones existentes entre los requerimientos, las propiedades del dominio y las especificaciones de la máquina a construirse caracterizan a las clases de problemas. La Figura 1 muestra que un marco de problema consiste en:

- Un dominio del problema que describe el subconjunto del mundo real, el cual es motivo de análisis,
- Un requerimiento que describe lo que se espera sea verdadero acerca de los fenómenos en el dominio del problema, y
- Una máquina que describe el comportamiento que debe ser mostrado por un sistema informático para satisfacer los requerimientos.



Figura 1: Estructura general de un problema de software [10]

D. Metodología para la construcción de un Sistema Experto

De acuerdo a las características del sistema y a la necesidad de garantizar la fiabilidad del sistema experto (SSEE) que se desea construir, resulta adecuado adoptar la Metodología IDEAL para el desarrollo del sistema experto que propone un ciclo de vida en espiral en tres dimensiones, y se ajusta a la tendencia del software actual, esto es: ser reutilizable, ser integrable, poseer requisitos abiertos y posee diversidad de modelos computacionales.

Los requisitos están sometidos a constantes cambios, por ende el sistema también, el resultado es un sistema en constante evolución por lo que se considera como un prototipo en constante perfeccionamiento, mediante el agregado de nuevos marcos compuestos, nuevas técnicas de descomposición del problema, formas de documentación o estándares a los que debe ajustarse.

En la Tabla II se expone las fases y etapas que componen la metodología I.D.E.A.L. y que guían el desarrollo del sistema experto:

TABLA II
FASES DE DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA IDEAL [10].

Fase	Descripción
Estudio de Viabilidad	Cuando se intenta resolver un problema con la tecnología de Sistemas Expertos, previamente debe evaluarse si la tarea es abordable en el campo de la Ingeniería del Conocimiento. Es decir, debe dirimirse si el desarrollo es Plausible, Justificable, Adecuada y procura garantizar su Éxito.
Adquisición de Conocimientos	Una de las actividades que requiere mayor esfuerzo, por su complejidad es la extracción y educación de conocimientos, por medio de la cual se intenta descubrir el dominio de la aplicación, el problema y el proceso de solución del mismo.
Conceptualización	Esta actividad está constituida por dos tareas fundamentales: el Análisis, basado en la detección de conocimientos estratégicos, tácticos y fácticos, y la Síntesis donde quedan expresados dichos conocimientos en forma estructurada.
Formalización	Pretende encontrar una adecuada representación de los conocimientos, garantizando su correcta manipulación.
Implementación	Desarrolla la transformación de los conocimientos representados en el modelo formal en un modelo computacional
Evaluación	Establece el grado de experiencia alcanzado por el sistema. Al evaluar el desempeño del sistema, tratando de vislumbrar la calidad de asistencia que brinda el sistema experto ante diferentes casos de problema a resolver por software..

Sin embargo no todos los problemas pueden ser resueltos mediante la tecnología de sistemas expertos, sino aquellos que se justifiquen y sean apropiados para un fin. Para que un sistema experto sea viable debe existir un experto en el dominio, caso contrario el sistema fracasa. La viabilidad del sistema se plantea de acuerdo a la metodología IDEAL esta evalúa 4 dimensiones: plausibilidad, adecuación, justificación y éxito que caracterizan al problema. Para ello se utiliza el test de viabilidad, que consiste en asignar valores a las dimensiones anteriormente indicadas. El método es de tipo métrico, usa ponderaciones, utiliza la media armónica e incorpora la manipulación de valores lingüísticos mediante intervalos difusos, con los que se define operaciones básicas de cálculos para cada dimensión. La Tabla III muestra el análisis final de las dimensiones la cual consiste en el cálculo de la media aritmética ponderada del resultado obtenido para cada dimensión, para más detalle revisar referencia [18].

TABLA III
ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES PLAUSIBILIDAD, ADECUACIÓN, JUSTIFICACIÓN Y ÉXITO PARA VALIDAD EL SSEE [14].

Dimensión	Peso	Valores Intervalo				Peso*Valor			
Plausibilidad	8	7,9	8,3	8,7	8,9	63	66	70	71
Justificación	3	7,8	8,8	10	10	23	26	30	30
Adecuación	8	5,2	6,4	7,6	8,46	41	51	60	68
Éxito	5	2,4	2,8	3,3	3,64	12	14	16	18
Sumatoria						140	158	177	187
Intervalo Resultado Final						6	7	7	8
Resultado Final (Promedio):						6,90			

Un proyecto es viable si el cálculo de la media aritmética ponderada del análisis de dimensiones del sistema es mayor a 6. Una vez calculado estos valores, como puede observarse en la Tabla III, el valor de 6.9 indica por lo tanto que es viable el desarrollo del sistema experto, desde la perspectiva de la Ingeniería del Conocimiento [14].

III. DESARROLLO DE UN FRAMEWORK PARA LA ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS MEDIANTE UN SISTEMA EXPERTO

Para el desarrollo del sistema experto es importante entender las características y atributos que tendrán influencia para su construcción, ver Tabla III. A través de la comprensión de estos criterios se define los requerimientos de forma clara para el desarrollo del sistema; se analiza el proceso ingeniería de requisitos identificando los objetivos y requisitos.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS Y ATRIBUTOS QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE UN SSEE

Factores	Descripción
Tamaño de Proyecto	Diferentes tamaños de proyectos necesitan diferentes técnicas de requerimientos
Volatilidad de Requerimientos	Proyectos con requerimientos de alta volatilidad necesitan técnicas más flexibles de ingeniería de requerimientos.
Categoría del Proyecto	Se necesitan diferentes técnicas para diferentes categorías de proyectos.
Seguridad Critica	La aplicación de técnicas más serias son necesarias para sistemas con seguridad crítica
Complejidad del Proyecto	Los proyectos complejos necesitan diferentes técnicas de ingeniería requerimientos
Restricciones de Costo del Proyecto	Los ingenieros del conocimiento tendrán dificultades para completar los proyectos si el presupuesto no es suficiente
Restricciones de Tiempo del Proyecto	El sistema experto no podría satisfacer los requerimientos si el tiempo es limitado.

Para el desarrollo del sistema experto hemos delimitado sus características y atributos en referencia a su tamaño y categoría para proyectos pequeños, la volatilidad de los requerimientos se considera estática. Estas restricciones se deben al mercado de desarrollo de productos de software cubierto por esta investigación y por los casos propuestos y evaluados por el sistema experto, ver sección IV.

La tabla V muestra las actividades desarrolladas por el ingeniero de conocimiento para la elicitación de requerimientos del sistema experto.

La Figura 2 muestra la base para la construcción del sistema experto para asistir al ingeniero de conocimiento en la especificación de requerimientos. Describe como cualquier metodología de elicitación de requerimientos es representada en términos de un modelo. El modelo basado en [16] representa una generalización de la metodología utilizada, las técnicas de elicitación conocidas y la asociación de marcos de problemas en el proceso de elicitación de requerimientos. Explícitamente se destaca el rol que juega el conocimiento en

el desempeño de la obtención y selección de técnicas de elicitación. Para ello se analiza el dominio del problema y el dominio del proyecto, lo que permite proporcionar un marco unificado con el fin de entender el propósito de la obtención de requerimientos en el desarrollo de software. Este modelo permite describir como un ingeniero en conocimiento puede realizar la elicitación de requerimientos moviéndose a través de una serie de actividades.

TABLA V
FASES Y ACTIVIDADES DE LA INGENIERÍA DE REQUISITOS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SEE

Fases	Actividades
Obtención de requisitos	Se identifican todos los actores del sistema. Usuarios, Clientes y otras partes Interesadas.
	Se realizan entrevista, encuestas, grupos de enfoque y de intercambio de ideas.
	Se identifican todos los requisitos para alcanzar el objetivo del sistema experto.
Modelado	Se organizan los datos de manera que puedan ser entendidos por todos los grupos de interés.
	Se crear el modelo conceptual a través del modelo Entidad-Relación. El modelo pueden ser utilizados para ser referenciados por el equipo de desarrollo y por cada equipo de desarrollo deben tener acceso de la misma.
	Se crea un resumen de la actividad que es susceptible a interpretación.
Análisis de requerimientos	Se identifica, entiende y comprenden las funciones, los datos y las interfaces y sus relaciones en el desarrollo del sistema.
	Se identifican ambigüedades, inconsistencias e incompletitud para ser resueltos.
	Se analizan los requisitos no funcionales del sistema experto.
	Se gestiona conflictos, la tarjeta de clasificación y análisis basado en un punto de vista.
Validación y Verificación	Se garantiza que los requerimientos del sistema experto son válidos de manera que sean ejecutables para las siguientes fases de desarrollo.
	Se aclara los requisitos ambiguos.
	Se realiza una inspección formal, se chequea la lista de verificación de requisitos, se realiza las pruebas de requisitos en el prototipo desarrollado.
Gestión de Requisitos	Incluye las tareas de gestión de los requisitos en todo el tiempo de desarrollo
	Se documentan los requisitos.

El propósito de cada actividad es acercar a las partes involucradas con la finalidad de entender de forma común los requerimientos que se desean y/o quieren tratar. De acuerdo al modelo propuesto existen tres formas de obtener requerimientos de software:

1. Analizado el problema, este dará guías para describir tanto el dominio del problema, como el dominio del proyecto. Según la descomposición del problema se selecciona la técnica de elicitación a aplicarse de acuerdo a requerimientos conocidos, aplicada la técnica y analizado el dominio de conocimiento se traspasa la información al sistema obteniendo los requerimientos funcionales.
2. Una vez analizado el problema y de acuerdo a los conocimientos obtenidos de los usuarios, clientes y/o

partes interesadas se envía la información al sistema obteniendo los requerimientos funcionales y no funcionales.

3. De acuerdo al análisis del problema y la descomposición del problema por parte de los usuarios, el sistema ajusta esta información a un marco de problema, para luego tipificarlos en requerimientos funcionales sugeridos por el sistema experto.

La descomposición utilizada en la investigación es la exterior-interior la cual empieza por definir aspectos del problema conocidos y/o reconocidos por los usuarios, las cuales se encaminan a la deducción de un tipo de marco de problema.

Lo fundamental para el sistema es: saber hacer buenas preguntas para determinar las condiciones necesarias encontrando lo desconocido del problema, es decir, se trata de generar y deducir correctamente un tipo de marco de problema, en el cual la especificación del requerimiento tenga sentido en el contexto del dominio tratado, sin olvidar las partes relevantes de los requerimientos funcionales, los cuales definen el comportamiento específico del software. En lo que se refiere a los requerimientos no funcionales o atributos de calidad, definen las características del sistema como: la fiabilidad, la respuesta en el tiempo, la capacidad de almacenamiento, seguridad, etc. Estos atributos adquieren importancia en el momento de modelar la arquitectura del sistema, siendo parte integrante del documento de especificación de requerimientos.

Existen técnicas en las diferentes actividades del proceso de ingeniería de requisitos que se pueden utilizar para el desarrollo del sistema.

Se identifican las técnicas específicas de la biblioteca técnica de ingeniería de requisitos propuesto en la investigación realizada por Jiang et al. [2]. Mientras tanto, los factores de selección se basan en el factor enumerado por Kheirkhah y Dareman [1]. La Tabla V presenta el tipo de requerimiento cubierto a través de la técnica utilizada en cada una de las actividades de la ingeniería de requisitos [15].

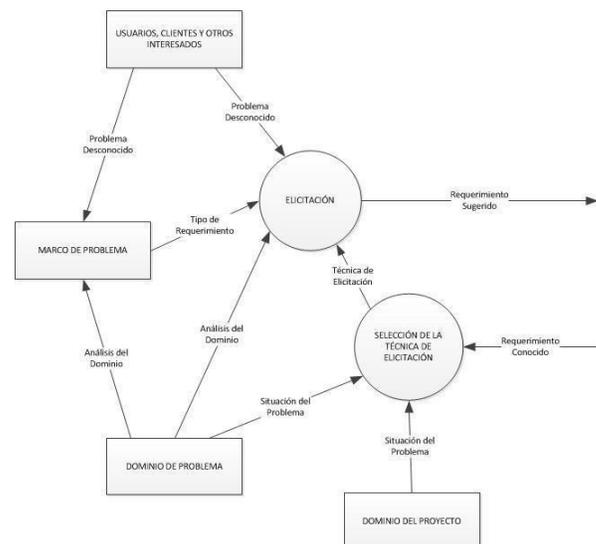


Figura 2: Modelo de elicitación de requerimientos del SSEE.

TABLA V
 PROCESO DE INGENIERÍA DE REQUISITOS PARA LA EDUCCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Proceso	Técnica	Descripción de la Técnica	Requerimiento cubierto
Elicitación de Requerimientos	Reunión	Reunión de usuarios e interesados para discutir requerimientos	Funcional
	Cuestionario	Lista escrita de preguntas para ser respondidas por usuarios para proporcionar información básica sobre el producto de software	Funcional
	Lluvia de Ideas	Ideas brillantes repentinas	No Funcional
	Entrevistas	Reunión formal con diferentes grupos de interés por separado con el fin de obtener diferentes opiniones	Funcional y No Funcional
Modelamiento de Requerimientos	Diagrama Entidad-Relación	Descripción de la Base de Datos de una forma abstracta	Funcional
Análisis de Requerimientos	Manejo de Conflictos	Resolución de conflictos en el requerimiento de los interesados	Funcional
	Puntos de Vista	Identificación de puntos de vista de las partes interesadas	Funcional y No Funcional
Evaluación de Requerimientos	Inspección Formal	Identificación de requerimientos correctos y consistentes	Funcional y No Funcional
	Prueba de Requerimientos	Se evalúa una serie de casos destinados a averiguar la capacidad del producto	Funcional y No Funcional
Administración de Requerimientos	Gestión de Requerimientos	Proceso de identificación de la ambigüedad, inconsistencia y lo incompleto del sistema	Funcional y No Funcional

TABLA VI
 DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES INFERIDOS MEDIANTE MARCOS DE PROBLEMAS POR EL SSEE.

ID	Entrada/Pregunta	Descripción	Posibles Respuestas	Marco de Problema Inferido	Tipo de Requerimiento Inferido	Detalle de Especificación del Requerimiento
ER1	¿Existe Información requerida por los solicitantes de información (Usuario, Hardware, Software)?	Permite determinar si el sistema genera algún tipo de consulta solicitada por los usuarios	Si No	Marco de Información	Requerimiento de Consulta	Reporte detallado de consultas de la Base de Datos. La BDD donde se almacena la información debe estar indexada por campos claves para que la búsqueda tenga una respuesta óptima. Se debe colocar una clave principal dentro de cada tabla creada en la Base de Datos para mejorar el performance y la utilidad de las consultas.
ER2	¿Existe información entregada por el mundo real a través de formularios, pre impreso u otros?	Permite determinar si el sistema entrega información a través de formularios, impresos entre otros.	Si No			Reporte detallado de consultas, en varios formatos de salida (pdf, doc, xls, etc.), filtros de búsqueda de información deben tener varios criterios como rangos de fechas, claves principales o palabras claves.
ER3	¿Existen informaciones de cálculo que generen nuevos tipos de datos?	Permite determinar si el usuario realiza ciertos cálculos en un conjunto de datos de entrada que produzcan transformaciones a un conjunto de datos de salida.	Si No	Marco de Transformación	Requerimiento de Mapeo	Revisar los datos de entrada con los cuales se realizan cálculos generando nuevos tipos de datos en las salidas.
ER4	¿Existe operaciones de transformación que genere nuevos formatos de archivos?	Permite determinar si el sistema genera nuevos tipos de archivos.	Si No			Generar nuevos formatos de archivos de acuerdo con las necesidades de los clientes.
ER5	¿Existen dispositivos (Reloj Biométrico, cajero automático, dispensador de moneda o similares)?	Permite determinar si el sistema controla un dispositivo haciendo que cumpla una serie de reglas de comportamiento.	Si No	Marco de Control	Requerimiento de reglas de comportamiento	Utilizar los drives de Instalación que viene por defecto dentro del equipo que vamos a controlar dentro de nuestro software, procurar que la información que ingrese desde el dispositivo externo lleguen en archivos planos para que su manipulación sea transparente hacia nuestro software contar con documentación sobre la maquinaria que vamos a controlar para conocer su interfaz de comunicación y el manejo de su funcionalidad

Las siglas ER significan especificación de requerimientos.

La Tabla VI describe el proceso de educación de requerimientos realizado por el sistema a través de marcos de problemas. Para ello se formula preguntas específicas sobre subproblemas identificados para los usuarios, que permiten inferir marcos de problemas conocidos para luego poder

tipificarlos en requerimientos funcionales.

Para el caso de los requerimientos no funcionales este se basa en una serie de preguntas puntuales sobre restricciones de diseño las mismas que se detallan en la Tabla VII.

TABLA VII
ENTRADAS PARA LA EDUCACIÓN DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES: RESTRICCIONES DE DISEÑO

ID	Entrada/Pregunta	Descripción	Opciones
ER7	La política de Adquisición de Software para toda la empresa es	Permite seleccionar el tipo de Lenguaje con el que la empresa cuenta o sugiere	<ul style="list-style-type: none"> • Software Libre • Ambos
ER8	El sistema necesita tener varios lenguajes de programación	Permite determinar si el sistema funcionará con múltiples lenguajes de programación	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
ER9	Alcance de acceso de su sistema	Permite determinar el acceso de comunicación del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza solo dentro de la empresa • Utiliza desde Internet con computador de escritorio • Utiliza desde Internet utilizando dispositivos como tablets, celulares etc.
ER10	El Sistema necesita tener bases de datos	Permite que el sistema almacene la información permanentemente	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
ER11	El sistema necesita compartir información con otros sistemas	Permite determinar si existe interconexión con sistemas externos	<ul style="list-style-type: none"> • Si • No
ER11.1	Como gestiona la Información de entrada y salida	Si existe interconexión con sistemas externos, permite gestionar la información de entrada salida	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios Web • Archivos planos • Tramas • Clonando estructuras de Base De Datos • Consultas
ER12	En cantidad de horas al día, que tiempo deberá estar la aplicación disponible	Permite determinar la disponibilidad del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • 1-8 horas • 8-más horas
ER13	En una escala de 1 a 4 siendo 1 nada sensible y 4 muy sensible en que escala colocaría la información que manejará el sistema	Permite determinar el nivel de seguridad del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3 • 4
ER14	Coloque un estimado en GB de la información que manejará el sistema en un año de funcionamiento	Permite determinar la capacidad de los servidores para almacenar información.	<ul style="list-style-type: none"> • 1-5 GB • 5-10 GB • 10-más GB

Las siglas ER significan especificación de requerimientos.

El sistema experto se encuentra embebido en un sistema de gestión. Este sistema permite comprender y entender la conceptualización del dominio del problema, detallándose entidades, atributos y relaciones del sistema. Una vez instanciado el sistema experto genera el documento de especificación de requerimientos de software. El sistema de gestión administra dos tipos de usuarios: los que gestionan los proyectos y los administradores que a más de gestionar proyectos dan mantenimiento al sistema.

El sistema experto se desarrolló en la herramienta Clips (C Language Integrated Production System) por cuanto presenta características adaptables al trabajo de acuerdo a las siguientes consideraciones: permite la representación del conocimiento humano a través de reglas heurísticas, dispone de un intérprete que permite escribir comandos de manera interactiva, presenta la información sobre el estado actual de la memoria de trabajo y las reglas que se van activando en cada momento, el motor de inferencias es un algoritmo de encadenamiento hacia delante, en el que a partir de los hechos se obtiene los resultados, implementa un algoritmo denominado Rete, que mantiene en memoria condiciones y acciones que hace más eficiente la comprobación de qué reglas pueden ser activadas en cada momento, es una herramienta de libre distribución que puede interactuar con otras herramientas de desarrollo.

IV. EVALUACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

La evaluación del sistema consiste en comprobar que la aplicación funcione correctamente y responda a las necesidades del usuario. Es una de las partes fundamentales en la construcción de un sistema experto, en este caso, para asistir al ingeniero en conocimiento en la especificación de requerimientos de software. En este proceso el experto debe asegurar que los requerimientos sean ejecutables para el desarrollo del producto software deseado. Hay que mencionar que un experto involucra directamente a usuarios y/o personas interesadas para asegurar que los requerimientos establecidos por ellos sean validados y verificados mediante la visualización de los artefactos de requerimientos. Por ejemplo podemos requerir que la parte interesada despeje interrogantes y ambigüedades en el proceso de verificación. Para ello la evaluación se apoya en algunas técnicas como son: la inspección formal, lista de verificación de requerimientos, pruebas de requerimientos y pruebas del prototipo.

La Metodología Ideal, fundamenta la construcción del Sistema Experto y evalúa en cada una de las fases de desarrollo: adquisición, conceptualización, formalización e implementación de conocimientos.

A. Evaluación de la adquisición del conocimiento.

La fase de adquisición de conocimiento permite educir los conocimientos del experto acerca del dominio de la aplicación. Para obtener dichos conocimientos se realiza sesiones de trabajo entre el experto del dominio y el ingeniero del conocimiento a través de: entrevistas, preguntas, intercambio de ideas y/o análisis de textos. En esta evaluación, se utilizó dos técnicas de validación y verificación de Sistemas Expertos: las inspecciones formales y pruebas de requerimientos, desarrollado la retroalimentación de conceptos, definiciones, casos de estudio, validando y verificando los requisitos con la finalidad de lograr el objetivo del sistema experto, lo que da como resultado un documento comprensible, consistente, completo y no redundante, de acuerdo con los lineamientos del experto y del ingeniero en conocimientos.

B. Evaluación de la conceptualización del conocimiento.

Para esta evaluación se aplica cinco tipos de comprobaciones:

- De los conocimientos estratégicos para lo cual se evaluó el modelo de descomposición funcional mediante inspecciones formales a través de revisiones parciales por parte del experto.
- De los conocimientos tácticos, se revisa en detalle las seudoreglas, mediante inspecciones formales a través de revisiones parciales aceptadas por el experto.
- De los conocimientos fácticos, se revisaron glosario de términos, diccionario de conceptos, tabla de concepto-atributo-valor y definición de atributos mediante revisiones parciales avaladas por el experto e ingeniero del conocimiento.
- Del modelo dinámico y estático, fueron revisados y aceptados por el experto.
- De la fase de conceptualización, para realizar la evaluación de esta fase se seleccionó un caso de prueba, misma que se referencia en la evaluación de la implementación de conocimientos.

C. Evaluación de la formalización del conocimiento.

En esta evaluación se desarrolla la formalización de conocimientos con respecto a la conceptualización, seleccionando el mismo caso de prueba anterior. Esta evaluación se realiza teniendo en cuenta dos criterios, según [17].

Marcos: Revisando la coincidencia con el modelo conceptual así como también se analizó que no exista redundancias, falta e inconsistencias de datos e información.

Reglas: Se revisa y analiza que no existan reglas duplicadas, reglas idénticas, reglas embebidas, condiciones si innecesarias, callejones sin salida, reglas ausentes, reglas inalcanzables inconsistentes, incompatibles y reglas circulares.

D. Evaluación de la implementación del conocimiento.

Para realizar esta evaluación se han comparado los resultados obtenidos por el sistema con respecto a los documentos generados por el ingeniero de conocimiento. Se evalúa cuatro casos de prueba en donde se puede encontrar

resultados particulares de requerimientos funcionales y no funcionales. Los casos de prueba se describen en la Tabla VIII. En este artículo solo se realiza la evaluación para el primer caso de estudio: Sistema de Facturación Electrónico.

TABLA VIII
CASOS DE PRUEBA PARA EVALUAR EL SISTEMA EXPERTO

Caso	Proyecto	Descripción
1	Facturación Electrónica (SFE)	Sistema de Información que permite cubrir actividades de gestión de Facturación Electrónica.
2	Sistema de Información de Gestión Académica (SIGEAC)	Sistema de Información que permite cubrir actividades de gestión de Facultades e Institutos de una Institución Educativa.
3	Oci-Tienda para RedSpain	Oci-Tienda es una tienda online para la venta a distancia de diversos productos. Se solicita realizar un sistema de información que permita cubrir actividades de gestión de empresas, gestión de productos o servicios mediante las funciones de compra, venta, contrato y consulta de productos, a demás deberá permitir el pago a través de tarjetas de crédito.
4	Sistema de Información de PCGeek	Sistema de Información que permite cubrir actividades de gestión del almacenaje, compras y construcción de PCs en la empresa PCGeek.
5	Sistema Experto para asistir al IC en la especificación de requerimientos.(SE AICER)	Sistema de Información que permite cubrir actividades de gestión de proyectos y la deducción de la especificación de requerimientos funcionales y no funcionales.

Para evaluar el sistema se utiliza las Tablas IX y X en donde se analiza los tipos de requerimientos funcionales y en las Tablas XI y XII se analiza los requerimientos no funcionales encontrados y/o deducidos por el sistema experto para el primer caso de prueba.

La Tabla IX muestra las preguntas que realiza el sistema experto a los usuarios para educir el/los marcos de problemas y así poder tipificar los requerimientos funcionales, mediante las inferencias a las reglas, las cuales se presentan en la Tabla X.

De acuerdo a las inferencias realizadas por el sistema, basadas en las Tablas IX y X, se determina que el dominio de la aplicación se ajusta a dos marcos de problemas: de información y de transformación, lo que permite tipificar los requerimientos de consulta y mapeo. Tomando en sistema en cuenta los siguientes detalles para la especificación de requerimientos:

- Reporte detallado de consultas de la Base de Datos, donde se almacena la información debe estar indexada por campos claves para que la búsqueda tenga una respuesta óptima. Se coloca una clave principal dentro de cada tabla creada en la Base de Datos para mejorar el performance y la utilidad de las consultas.
- Reporte detallado de consultas, en varios formatos de salida (pdf, doc, xls, etc.), filtros de búsqueda de información deben tener varios criterios como rangos de fechas, claves principales o palabras claves.
- Revisión de los datos de entrada con los cuales se realizan

cálculos generando nuevos tipos de datos en las salidas.

- Generación de nuevos formatos de archivos de acuerdo con las necesidades de los clientes.

TABLA IX
ENTRADAS PARA LA EDUCCIÓN DE REQUERIMIENTOS
FUNCIONALES

ID	Entrada/Pregunta	Descripción	Opciones
ER1	¿Existe Información requerida por los solicitantes de información (Usuario, Hardware, Software)	Permite determinar si el sistema genera algún tipo de consulta solicitada por los usuarios	Si
ER2	¿Existe información entregada por el mundo real a través de formularios, pre impreso u otros?	Permite determinar si el sistema entrega información a través de formularios, impresos entre otros.	Si
ER3	¿Existen informaciones de cálculo que generen nuevos tipos de datos?	Permite determinar si el usuario realiza ciertos cálculos en un conjunto de datos de entrada que produzcan transformaciones a un conjunto de datos de salida.	Si
ER4	¿Existe operaciones de transformación que genere nuevos formatos de archivos?	Permite determinar si el sistema genera nuevos tipos de archivos.	Si
ER5	¿Existen dispositivos (Reloj Biométrico, cajero automático, dispensador de moneda o similares?)	Permite determinar si el sistema controla un dispositivo haciendo que cumpla una serie de reglas de comportamiento.	No
ER6	¿Los usuarios requieren herramientas para crear y editar artefactos intangibles tales como textos o gráficos?	Permite determinar si el sistema requiere de una herramienta para crear y editar artefactos intangibles tales como texto, gráficos o estructuras similares para que puedan ser posteriormente copiadas, impresas, analizadas o usadas de otra manera	No

De los resultados obtenidos se determina que el sistema experto infiere y deduce satisfactoriamente los requerimientos funcionales mismos que fueron abalizados por el ingeniero en conocimiento y el experto.

De acuerdo a las inferencias realizadas por el sistema, basadas en las Tablas XI y XII, el sistema experto infiere y deduce satisfactoriamente los requerimientos no funcionales de acuerdo a los resultados obtenidos y abalizados por el ingeniero en conocimiento y el experto, obteniendo los siguientes requerimientos no funcionales:

- Capacidad Media: Su Software necesita un servidor robusto de 500GB de almacenamiento y 2 procesadores sin la necesidad de virtualización y sistemas de respaldo.
- Sensibilidad Media: Manejar autenticación de usuarios, roles, perfiles, expiración de claves y reglas mínimas de clave. Se debe aplicar métodos para el control de auditoría. Además la comunicación se hará encriptando el canal de envío para mantener la seguridad de la

información.

- Disponibilidad Alta: Habilitar Servidores Réplica, para evitar que la caída del Sistema afecte la disponibilidad
- Desarrollaremos un servicio Web para la comunicación y recibir los datos de acuerdo a los parámetros de entrada del servicio Web que se va a consumir. Requisitos: Dirección para el consumo del servicio Web, el archivo WSDL para el consumo y parámetros de entrada y salida. Enviar requisitos como dirección del servicio Web, Archivos WDSL.
- PHP con Herramientas Web y MySql
- Archivos de Globalización

TABLA X
REGLAS DE INFERENCIA PARA LA EDUCCIÓN DE
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES A TRAVÉS DE MARCOS DE
PROBLEMAS

<pre> Regla #21 (defrule Req-func-Consultas (declare (salience -1)) (Es SolicitantesInformacion ?ent1) (Es InformacionEntregada ?ent2) ?ret1 <- (Es SolicitantesInformacion ?ent1) ?ret2 <- (Es InformacionEntregada ?ent2) => (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a") (if (eq ?ent1 Si) then (if (eq ?ent2 Si) then (assert (Es UnRequerimiento Consulta)) (printout outdata "Requerimiento de Consulta" crlf) (printout outdata "Marco de Problema de Información " crlf) (retract ?ret1) (retract ?ret2)))) (close outdata)) :Regla #23 (defrule Req-func-Mapeo (declare (salience -1)) (Es OperacionesTransformacion ?ent1) (Es OperacionesdeCalculo ?ent2) ?ret1 <- (Es OperacionesTransformacion ?ent1) ?ret2 <- (Es OperacionesdeCalculo ?ent2) => (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a") (if (eq ?ent1 Si) then (if (eq ?ent2 Si) then (assert (Es UnRequerimiento Mapeo)) (printout outdata "Requerimiento de Mapeo" crlf) (printout outdata "Marco de Problema de Transformación " crlf) (retract ?ret1) (retract ?ret2)))) (close outdata)) :Regla #25 (defrule Req-func-MarcoProblema (declare (salience -10)) (Es UnRequerimiento ?ent1) ?ret1 <- (Es UnRequerimiento ?ent1) => (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a") (if (eq ?ent1 Consulta) then (assert (Es UnMarcoProblema Informacion)) (printout outdata "reporte detallado de consultas, en varios formatos de salida (pdf, doc, xls, etc.), filtros de búsqueda de información deben tener varios criterios como rangos de fechas, claves principales o palabras claves .La Base de Datos donde se almacena la información debe estar indexada por campos claves para que la búsqueda tenga una respuesta óptima. Colocar una clave principal dentro de cada tabla creada en la Base de Datos para mejora el </pre>

```

performance y la utilidad de las consultas." crlf))
(if (eq ?ent1 Mapeo) then
  (assert (Es UnMarcoProblema Transformacion))
  (printout outdata "Revisar los datos de entrada con los cuales se realizan
  cálculos generando nuevos tipos de datos en las salidas o nuevos formatos de
  archivos de acuerdo con las necesidades de los clientes" crlf))
(if (eq ?ent1 OperacionesDominios) then
  (assert (EsUn MarcoProblema WorkPiece))
  (printout outdata "Utilizar librerías nativas del lenguaje de programación,
  procesar las imágenes y documentos en el servidor de aplicaciones y no
  almacenarlas directamente en la Base de Datos. No realizar el procesamiento
  de imágenes dentro de la capa de usuario sino en la capa de negocios para que
  no se afecte a la performance de la aplicación. Los documentos generados
  pueden ser impresos en varios formatos para facilidad del cliente final." crlf))
(retract ?ret1)
(close outdata)
)
    
```

TABLA IX
PREGUNTAS PARA LA EDUCCIÓN DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

ID	Entrada/Pregunta	Descripción	Opciones
ER7	La política de Adquisición de Software para toda la empresa es?	Permite seleccionar el tipo de lenguaje con el que la empresa cuenta o sugiere	Software Libre
ER8	El sistema necesita tener varios lenguajes de programación?	Permite determinar si el sistema funcionará con múltiples lenguajes de programación	Si
ER9	Alcance de acceso de su sistema?	Permite determinar el acceso de comunicación del sistema.	Utiliza desde Internet con computadoras de escritorio
ER10	El Sistema necesita tener bases de datos?	Permite que el sistema almacene la información permanentemente	Si
ER11	El sistema necesita compartir información con otros sistemas?	Permite determinar si existe interconexión con sistemas externos	Si
ER11.1	Como gestiona la Información de entrada y salida?	Si existe interconexión con sistemas externos, permite gestionar la información de entrada salida	Servicios Web
ER12	En cantidad de horas al día, que tiempo deberá estar la aplicación disponible?	Permite determinar la disponibilidad del sistema	Mayor a 8
ER13	En una escala de 1 a 4 siendo 1 nada sensible y 4 muy sensible en que escala colocaría la información que manejará el sistema?	Permite determinar el nivel de seguridad del sistema	3
ER14	Coloque un estimado en GB de la información que manejará el sistema en un año de funcionamiento?	Permite determinar la capacidad de los servidores para almacenar información.	De 5- 10

TABLA XI
REGLAS DE INFERENCIA PARA LA EDUCCIÓN DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

```

:Delimitación y restricciones: Herramientas de Desarrollo
:Regla #2
(defrule Req-no-func-Lenguaje-BDD-Internet
  (Es Herramienta ?ent1)
  (Es Computadoras ?ent2)
  (Es BaseDatos ?ent3)
  (Es Internet ?ent4)
=>
  (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
  (if (eq ?ent1 SoftwareLibre) then
    (if (eq ?ent2 Escritorio) then
      (if (eq ?ent3 Si) then
        (if (eq ?ent4 Si) then
          (printout outdata "PHP con Herramientas Web y MySql" crlf))))))
  (close outdata)
)
:Regla #12
(defrule Req-no-func-Multiples-Lenguajes
  (Es MultiplesLenguajes ?ent1)
=>
  (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
  (if (eq ?ent1 Si) then
    (printout outdata "Archivos de Globalización" crlf))
  (close outdata)
)
:Delimitación y restricciones: Conexión con Sistemas Externos, Servicios Web
:Regla #13
(defrule Req-no-func-Conexion-Externa-Servicio-Web
  (Es ConexionSistemaExterno ?ent1)
  (Es ServiciosWeb ?ent2)
=>
  (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
  (if (eq ?ent1 Si) then
    (if (eq ?ent2 Si) then
      (printout outdata "Enviar requisitos como dirección del servicio Web,
      Archivos WDSL" crlf)))
  (close outdata)
)
:Regla #18
(defrule Req-no-func-Seguridad
  (Es Sensibilidad ?ent1)
=>
  (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
  (if (eq ?ent1 4) then
    (printout outdata "Sensibilidad Alta: Manejar autenticación de usuarios,
    roles, perfiles, expiración de claves y reglas mínimas de clave, métodos para
    el control de auditoría y encriptación del canal de envío y BDD" crlf))
    (if (eq ?ent1 3) then
      (printout outdata "Sensibilidad Media: Manejar autenticación de
      usuarios, roles, perfiles, expiración de claves y reglas mínimas de clave,
      métodos para el control de auditoría y la comunicación se hara encriptando el
      canal de envio" crlf))
      (if (eq ?ent1 2) then
        (printout outdata "Sensibilidad Media: Manejar autenticación de usuarios
        sin autorias, ni encriptación en la comunicación" crlf))
        (if (eq ?ent1 1) then
          (printout outdata "Sensibilidad Baja: Sin autenticación de usuarios, ni
          auditorías de acceso y manipulación de datos" crlf))
          (close outdata)
        )
      )
)
:Regla #19
(defrule Req-no-func-Disponibilidad
  (Es Disponibilidad ?ent1)
=>
  (open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
  (if (> ?ent1 8) then
    (printout outdata "Disponibilidad Alta: Habilitar Servidores Replica, para
    evitar que la caída del Sistema afecte la disponibilidad" crlf))
    (if (< ?ent1 8) then
    
```

```

(printout outdata "Disponibilidad Media: Utilizar un servidor robusto
para el alojamiento de la aplicación y programar puntos de restauración y
respaldo" crlf)
(close outdata)
)

;Regla #20
(defrule Req-no-func-Capacidad
(Es Capacidad ?ent1)
=>
(open "outReqnoFunc.txt" outdata "a")
(if (or (> ?ent1 1) (< ?ent1 5)) then
(printout outdata "Capacidad Baja: Su Software necesita un servidor
moderadamente robusto con 100GB de almacenamiento y 1 procesador
sin la necesidad de virtualización y sistemas de respaldo" crlf))
(if (or (> ?ent1 5) (< ?ent1 10)) then
(printout outdata "Capacidad Media: Su Software necesita un servidor
robusto con 500GB de almacenamiento y 2 procesadores sin la
necesidad de virtualización y sistemas de respaldo" crlf))
(if (> ?ent1 10) then
(printout outdata "Capacidad Alta: Su Software necesita un servidor
robusto con 2TB de almacenamiento y 4 procesadores con virtualización y
sistemas de respaldo" crlf))
(close outdata)
)

```

Desarrollada la evaluación de requerimientos funcionales y no funcionales se concluye que el sistema experto para asistir al ingeniero en software en la elaboración de documentos de requerimientos es funcional de acuerdo al criterio y aval del experto del dominio. Obtenidos los requerimientos del proyecto, sean estos funcionales o no funcionales, el sistema genera automáticamente un documento de especificación de requerimientos de acuerdo al estándar 830 de la IEEE, el mismo que servirá como un artefacto inicial para el desarrollo de ciclo de vida del proyecto.

Con respecto a los otros casos de estudio la evaluación sirvió para validar y verificar las diferentes posibilidades de tipificación de requerimientos ya sea mediante marcos de problemas (requerimientos funcionales) o atributos de calidad (requerimientos no funcionales). Lo que permitió verificar el alcance del sistema experto. Las evaluaciones fueron también abalizadas por el experto del dominio.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una especificación es una herramienta fundamental para garantizar la calidad del proceso de desarrollo y del producto final entregado. La fiabilidad de los sistemas expertos han sido un tema muy debatido, y la falta de consenso sobre el tema puede ser la razón por la cual los sistemas expertos han permanecido en gran medida un producto de la investigación y no un producto comercial.

Uno de los principales problemas en la construcción de un producto de software es entender y analizar las necesidades del usuario. Para especificar los requerimientos de un sistema es necesario hacer una aproximación al análisis del problema, en el artículo se planteó realizar el análisis mediante la aplicación de marcos de problemas, sugeridos por Michael Jackson que es una técnica que permite mantener la integridad de los datos, a través del análisis de dominios y la tipificación de requerimientos.

En este trabajo se desarrolló un sistema experto que de

soporte al ingeniero de conocimiento para la especificación de requerimientos basados en el estándar IEEE 830 y marcos de problemas, utilizando la metodología ideal para la construcción del sistema. La evaluación del sistema es un soporte para la generación de un documento legible y útil para el análisis y diseño de proyectos de software que puede ser utilizado como un referente de negociación.

El sistema experto permite inferir requerimientos funcionales utilizando la técnica interior-exterior propuesta por Michael Jackson [10], en la que los requerimientos son identificados por los expertos para deducir un tipo de marco de problema, permitiendo al sistema dar recomendaciones sobre requerimientos funcionales, detallándolos de forma explícita, lo que asegura la confiabilidad de los requerimientos. En los que respecta a los requerimientos no funcionales fueron inferidos utilizando características propias de todos los sistemas software.

Antes de que los sistemas expertos puedan llegar a ser ampliamente comercializado estos productos de software deben ser confiables y deben utilizar metodologías adecuadas para su desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] E. Kheirkhah, and A. Deraman, "Important factors in selecting Requirements Engineering Techniques", Proceedings of International Symposium on Information Technology (ITSIM 2008), 2008, pp.1-5.
- [2] L. Jiang, A. Eberlein, B. H. Far, and M. Mousavi, "A Methodology for the selection of Requirement Engineering Techniques", Software and Systems Modeling, vol.7, Iss.3, 2008, pp. 303-328.
- [3] L. A. Macaulay, "Requirements Engineering. Applied Computing, Springer", 1996.
- [4] B. Nuseibeh, and S. Easterbrook, "Requirements engineering: a roadmap", in Finkelstein, A. (ed.) the Future of Software Engineering, ACM Press, and New York, 2000.
- [5] H. Meth, M. Brhel, and A. Maedche, "The state of the art in automated requirements elicitation," Information and Software Technology, vol. 55, pp. 1695-1709, 2013.
- [6] P. Colombo, F. Khendek, and L. Lavazza, "Bridging the gap between requirements and design: An approach based on Problem Frames and SysML," Journal of Systems and Software, vol. 85, pp. 717-745, 2012.
- [7] C. M. A. Álvarez, L. M. J. Hurtado, and C. M. Z. Jaramillo, "Estructuración del plan de gestión de la tecnología informática para el Departamento de Bibliotecas de la Universidad de Antioquia," Ed., 2004.
- [8] M. F. Rosique Contreras, M. Jiménez Buendía, and P. Sánchez Palma, "Evaluación de herramientas de gestión de requisitos," 2010.
- [9] J. K. Ang, S. B. Leong, C. F. Lee, and U. K. Yusof, "Requirement engineering techniques in developing expert systems," in Computers & Informatics (ISCI), 2011 IEEE Symposium on, 2011, pp. 640-645.
- [10] America, P., Thiel, S., Ferber, S., & Mergel, M. (2001). Introduction to domain analysis. Eureka S, 2023.
- [11] P. Clements, L. Northrop. "Software Product Lines: Practices and Patterns", Addison-Wesley. 2001. 0-201-70332-7.
- [12] D. Díez Cebollero, "ComBLA: la aplicación del análisis de dominios al desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador," 2009.
- [13] J. Pazos, "Análisis de Viabilidad en Sistemas Basados en Conocimiento", Máster en Ingeniería de software, Universidad Politécnica de Madrid, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 1997.
- [14] J. K. Ang, S. B. Leong, C. F. Lee, & U. K. Yusof. "Requirement engineering techniques in developing expert systems". InComputers & Informatics (ISCI), March 2011 IEEE Symposium on pp. 640-645 IEEE.
- [15] , A. M. Hickey, & A. M. Davis. "Requirements elicitation and elicitation technique selection: model for two knowledge-intensive software development processes". In System Sciences, January 2003. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on pp. 10-pp IEEE.
- [13] M. Jackson. "Problem frames and software engineering". Information and Software Technology. 2005. 47(14), 903-912.

- [14] A. Gómez, N. Juristo, C. Montes, J. Pazos. "Ingeniería del Conocimiento, Editorial: Centro de Estudios Ramón Areces. 1997.
- [15] A. Corral, J. L. Carrillo. Tesis de Maestría: "Creación de un Sistema Experto para asistir al Ingeniero en Software en la elaboración de Documentos de Requerimientos" ,2015, Unpublished.



Alexandra Corral D. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduada de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática, Estudios de Posgrado en Diplomado en Gestión del Desarrollo de Software en la Escuela Politécnica del Ejército, Diplomado en Gerencia de Marketing en la Universidad Autónoma de los Andes, Especialista en Gerencia de Proyectos, Egresada de Maestría de Ingeniería de Software y actualmente está postulándose en el Doctorado en Ciencias de la Informática en la Universidad Nacional de la Plata en Argentina. Docente Tiempo Parcial del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga.



José Luis Carrillo M. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador en Sistemas de Computación e Informática, Estudio de Posgrado : Diplomado en Gestión del Desarrollo de Software, Magíster en Informática Aplicada en la Escuela Politécnica del Chimborazo y Magíster en Investigación e Innovación en Tecnologías de Información y Comunicación en la Universidad Autónoma de Madrid y actualmente es postulante a Doctorado en Informática y Telecomunicaciones. Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga.

Diseño e Implementación de una Celda de Manufactura Robotizada, para la Réplica de Piezas 3D, mediante fresado en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-EL

Fausto Acuña, Marco Singaña, Nora Acosta y Edwin Caizalitin

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga- Ecuador

fvacunia@espe.edu.ec, masingania@espe.edu.ec, acostanora@gmail.com, edwin_zgz@yahoo.es

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen – La manufactura ha evolucionado en forma vertiginosa en los últimos años, la utilización de la tecnología en la búsqueda permanente de operaciones de manufactura más rentables y competitivas ha llevado al hombre a desarrollar dispositivos cada vez más sofisticados y capaces de realizar las tareas con la misma calidad o mejor que los humanos, es así que en los actuales momentos se habla de celdas de manufactura robotizada como una técnica de manufactura utilizadas para la producción en grandes series y de aplicaciones diversas como: soldadura, pintura, corte, maquinado, ensamble, entre otras.

En este artículo se describe el “Diseño y la implementación de una Celda de Manufactura Robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado, para el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-EL”, que consiste en maquinar partes y piezas industriales mediante un manipulador robotizado de 6 grados de libertad, con la asistencia de la tecnología CAD/CAM. Para ello el modelo CAD que se puede obtener ya sea mediante un scanner 3D o mediante modelando en software CAD de la pieza a reproducir, es analizado su geometría para posterior programación en lenguaje “G” o códigos ISO/EIA de la ruta de corte mediante software CAM, una vez programado es necesario simular el proceso de maquinado y convertir los códigos “G” en lenguaje de programación comprensible al manipulador robotizado, superado los posibles inconvenientes de éstas etapas y si todo está bien, el controlador del manipulador se encargará de generará la ruta de mecanizado que seguirá el manipulador robotizado.

Para la manufactura robotizada, se utilizó herramientas informáticas tales como: NumiSoft que junto con el escáner digitaliza piezas en 3D; mediante la aplicación SolidWorks se adquiere los datos escaneados y se los convierte en superficies, Mastercam, obtiene las trayectorias para el mecanizado y el complemento CAM Rob de KUKA Sim Pro, que genera el lenguaje del robot a partir de los códigos G, éste se exporta al controlador del robot, permitiendo así que el brazo robótico junto al cabezal fresador realice las trayectorias de fresado y se obtenga de esta manera las réplicas de piezas en 3D.

Palabras clave-- Celdas de manufactura robotizada, producción en grandes series, réplica de piezas en 3D, tecnología CAD/CAM.

Abstract-- Manufacturing has evolved rapidly in recent years, the use of technology in the search ongoing of operations manufacturing more profitable and competitive has led man to

develop increasingly sophisticated devices and able to perform the tasks with the same quality or better than humans, thus at the present time are talking of robotic manufacturing cell as a manufacturing technique used for mass production and various applications such as: welding, painting, cutting, machining, assembly, inter.

In this article described the "Design and implementation of a Cell Manufacturing Robotic, for replication of 3D parts, by milling, for the Robotics Industrial Laboratory of the University of the Armed Forces ESPE-EL", consisting of machined parts industrial with a robotic manipulator of six degrees of freedom, with the assistance of CAD/CAM technology. For this the CAD model can be obtained either by a 3D scanner or by modeling in software CAD of the piece to reproduce, its geometry is analyzed for further programming in language "G" or codes ISO/EIA of the cutting path with CAM software, once programmed is necessary simulate the machining process and convert the codes "G" in language understandable programming at robotic manipulator, overcome the potential drawbacks of these stages and if all is well, the controller of manipulator will handle generate the machining path followed by the manipulator robot.

For robotic manufacturing, we have used tools informatics such as: NumiSoft which together with the scanner scans 3D parts; by implementing SolidWorks scanned data is acquired and this is converted on surfaces, Mastercam, gets paths for machining and the complement of Rob CAM of KUKA Sim Pro, generation of robot language with codes G, it is exported to the robot controller, thereby allowing the robotic arm next to head milling perform paths milling and we obtained the replicas of parts in 3D.

Keywords-- Cells of robotic manufacturing, mass production, replica of parts in 3D, technology CAD / CAM.

I. INTRODUCCION

A través del tiempo la manufactura ha sido practicada por artesanos y aprendices, se ha venido practicando durante miles de años, empezando a tallar piedra, madera, metales, entre otros. Con la llegada de la segunda revolución industrial la manufactura se benefició con la tecnología de las computadoras y diversos dispositivos electrónicos, haciendo posible el desempeño de tareas con una mayor eficiencia, mayor control y administración, teniendo un bajo costo.

En países industrializados, debido a la precisión y versatilidad de los robots industriales se utilizan para operaciones de manufactura. Los robots de fresado son equipos tecnológicos de última generación, que permiten realizar trabajos muy precisos y eficaces [1], [2]

Existe en España, un proyecto similar utilizado para realizar prótesis, en ITOSA (Instituto Técnico Ortopédico) ubicado en Barcelona, que ha logrado automatizar la fabricación de prótesis gracias al proyecto “llaves en mano” que ha realizado el Centro Tecnológico ASCAMM. [3]

En Gijón (Asturias) de España, la fundación PRODINTEC ha realizado ya varios servicios de mecanizado para distintas empresas. El procedimiento para éstas resulta sencillo, ya que solo deben aportar con el diseño para realizar el mecanizado mediante robot. A partir del CAD se obtiene una trayectoria CAM en el espacio, capaz de generar esa pieza con una máquina de 3 o 5 ejes. Esta trayectoria será seguida por un robot de siete ejes (seis del robot más uno externo). Incrementando los grados de libertad y el alcance de posiciones distintas. [4]

En empresas como FABLAB VLC de España el sistema está compuesto de dos robots industriales KUKA sobre un eje lineal y una mesa giratoria, esto aplica un concepto sencillo e innovador, que se caracteriza por su fácil manejo gracias al cambio rápido y flexible de las herramientas. Las trayectorias de movimiento y mecanizado están programadas mediante un sistema CAM. [5]

Tomando en cuenta que los robots industriales ofrecen una gran facilidad en cuanto al mecanizado. Solamente el 2% de robots industriales en el mundo están destinados a estos procesos, debido a que algunas máquinas ya son diseñadas para estos fines [6]

En el caso de América latina países como México, Argentina y Chile acoplan robots industriales en sus procesos de fabricación. En Argentina la empresa PRODISMO cuenta con una celda de mecanizado de Moldes. [7], [8]

Para el caso del Ecuador, los robots industriales están siendo incluidos recientemente en los procesos de fabricación, como son paletizado y soldadura.

En esta investigación, se muestra el primer proyecto de esta naturaleza, realizado en nuestro país, en este proceso se utiliza un escáner 3D (OPTINUM NOOME0) de luz estructurada y triangulación para la obtención de modelos digitales en 3D y para el mecanizado se cuenta con un robot industrial KUKA KR16, al cual se le ha acoplado un cabezal fresador (JÄGER Chopper 1500-H) para operaciones de mecanizado mediante fresado.

II. DISEÑO DEL PROYECTO

Para el diseño de una celda de manufactura robotizada, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dimensionar del área de trabajo.
- Definir el tipo de material para el fresado.

- Seleccionar las herramientas y los sistemas de sujeción
- Diseñar la mesa de trabajo.
- Diseñar el Layout de la celda.

A. Área de trabajo

El área de trabajo para el robot que ejecutará las operaciones de fresado, se determina mediante los movimientos del robot respecto a sus ejes cartesianos y analizando también el alcance máximo que tiene cada eje, el dimensionamiento del área de trabajo se realizó como se muestra en la Fig. 1.

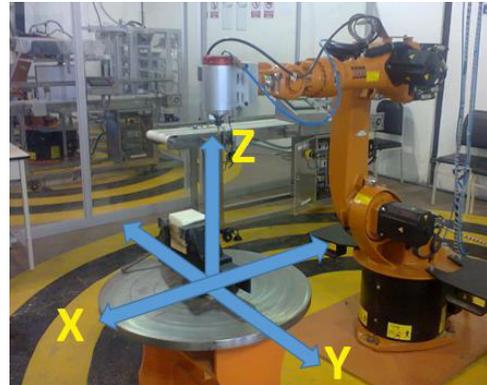


Fig. 1: Recorrido del Robot.

Al analizar las mediciones realizadas para determinar el área de trabajo, en el caso del movimiento en el eje Z, lo más adecuado es la posición en la que el robot se encuentra en reposo (HOME) que es la distancia desde la base hacia el punto central de la herramienta (TCP) sobre el eje Z y será de 500mm. El área de recorrido será respecto a una base cuyo punto central se encuentra a 620mm del piso, para determinar los desplazamientos máximos en los ejes X e Y se midió los recorridos con el cabezal girado 90° en cada extremo, obteniéndose un valor de 740mm. Como se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2: Medición de alcance del Robot.

B. Parámetros de corte

Se determinó el material más adecuado para el mecanizado a partir de las características del robot y el cabezal fresador que son los siguientes. [9]

$$\text{Potencia} = 1.5 \text{ KW}$$

$$\text{Velocidad de giro} = 30000 \text{ rpm.}$$

Debido a las características del robot se limita el trabajo a materiales blandos, como: aluminio, duralón, grilón, poliuretano, plásticos, etc., ya que debido a sus excelentes propiedades químicas y térmicas, al poco peso que poseen, a los niveles de ruido reducidos y al no ser necesarios lubricantes, son las opciones más acertadas para mecanizar en una celda de manufactura.

Para el fresado robotizado se debe considerar los siguientes factores: la fuerza de corte (F_c), la potencia de corte (P_c) y la potencia de mecanizado (P_m), donde la fuerza se puede calcular a partir de la masa disponible que se obtiene: al restar de la capacidad de carga del robot KUKA KR16 (16 Kg) [10] la masa del cabezal fresador más la masa de las placas de aluminio utilizadas para sujetar al robot, mediante las ecuaciones (1) y (2).

$$m_{\text{cabezal}} = 6 \text{ Kg} \quad \rho_{\text{aluminio}} = 2698.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Dimensiones placa de aluminio} = 140 \times 170 \times 19.5 \text{ mm}$$

$$V_{\text{aluminio}} = l^3 \tag{1}$$

$$V_{\text{Placa de aluminio}} = 464100 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{base de aluminio}} = 2\text{placas} \times 464100 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{base de aluminio}} = 928200 \text{ mm}^3$$

$$\rho_{\text{aluminio}} = \frac{m_{\text{aluminio}}}{V_{\text{aluminio}}} \tag{2}$$

$$m_{\text{base de aluminio}} = \rho_{\text{aluminio}} \times V_{\text{aluminio}} = 2.50 \text{ Kg}$$

Se obtiene la masa total que soporta el extremo del robot, al sumar la masa obtenida de la base de aluminio y la masa del cabezal fresador que es de 6Kg mediante la ecuación (3).

$$m_{\text{total}} = m_{\text{base aluminio}} + m_{\text{cabezal}} \tag{3}$$

$$m_{\text{total}} = 8.5 \text{ Kg.}$$

El robot soporta una carga de 16 kilogramos en su extremo, a través de este dato se resta el valor de masa total calculado de los 16 kilogramos, para determinar la masa sobrante que permitirá calcular la fuerza existente a través de la ecuación (4).

$$m_{\text{disponible}} = 16 \text{ Kg.} - m_{\text{total}} = 7.50 \text{ Kg.}$$

$$F = m_{\text{disponible}} \times g \tag{4}$$

$$F = 73.58 \text{ N}$$

El proyecto está diseñado para el mecanizado de materiales blandos por lo cual se realizan pruebas con aluminio. A través de los datos técnicos del aluminio se determina la máxima profundidad permisible para el mecanizado así como el área de corte.

Para determinar el área de corte se utiliza la fórmula de la presión específica de corte (5), en donde este valor viene dado en la siguiente Tabla I. [11]

TABLA I
PRESIÓN ESPECÍFICA DE CORTE DEL ALUMINIO.

Aplicación por grupo de material			Fresado	
			Ks N/mm ²	z Factor de corrección
Aluminio Magnesio	7.1	Al, Mg no aleado	250	0,22
	7.2	Al aleado con Si<0,5%	450	0,18
	7.3	Al aleado con Si<0,5% < 10%	450	0,18

Para el cálculo se asume que la fuerza (F) calculada anteriormente es la misma que la fuerza de corte (F_c). De esta manera:

$$K_s = \frac{F_c}{A_c} \Rightarrow A_c = \frac{F_c}{K_s} \tag{5}$$

$$A_c = 0.1635 \text{ mm}^2$$

Con el valor del área de corte y el avance que se obtiene en la Tabla II [12]. A continuación se determina la profundidad para el mecanizado mediante la ecuación (6).

TABLA II
VELOCIDAD DE CORTE Y AVANCE DEL ALUMINIO.

Material	Φ de la herramienta < 12 mm	
	Velocidad de corte (m/min)	Avance (s) (mm/rev)
Aluminio	70	0,06-0,13
	80	0,08-0,18
	120	0,10-0,25

$$a = \frac{A_c}{s} \tag{6}$$

$$a = 0.654 \text{ mm}$$

Para calcular la potencia de corte con la ecuación (7) se utiliza el valor de la fuerza de corte obtenida anteriormente y la velocidad de corte de la tabla anterior.

$$P_c = F_c \times V_c \tag{7}$$

$$P_c = 147.16 \text{ W}$$

Con el valor obtenido de la potencia de corte y el valor del rendimiento de un manipulador que es del 85% [13] se determina la potencia de mecanizado a través de la ecuación (8)

$$\eta = \frac{P_c}{P_m} \Rightarrow P_m = \frac{P_c}{\eta} \quad (8)$$

$$P_m = 173.13 \text{ W}$$

C. Selección del sistema de sujeción

El siguiente paso en el diseño de la celda es seleccionar un sistema apropiado que permita sujetar las piezas a mecanizar, como puede ser una mesa de trabajo adecuada para asegurar los materiales que se van a mecanizar y obtener óptimos resultados. Para realizar este diseño se tomó en cuenta aspectos como: la forma de sujeción del material, el alcance del robot (área de trabajo), la forma de los materiales que se van a colocar sobre la mesa.

También, para el diseño de la superficie de la mesa de trabajo se tomó como referencia modelos existentes en centros de mecanizado, máquinas herramientas de fresado, donde se utilizan formas de sujeción adecuadas y comerciales, como se indica en la Fig. 3.



Fig. 3. Ejemplos de mesas de sujeción para materiales.

Para fijar los materiales se emplean accesorios de sujeción roscados tipo M12, son estándar y muy comerciales, constan de: tuercas T, bridas escalonadas, calzas, birlos, etc., de esta manera se garantiza una sujeción adecuada utilizada en centros de mecanizado a nivel industrial, como muestran en a Fig. 4.



Fig. 4: Juego de bridas para la sujeción.

D. Dimensiones de la mesa de trabajo

La forma de la superficie es redonda, debido a que este tipo de superficies permite referenciar una posición fácilmente y además ayuda cuando el robot tenga movimientos de torsión complejos que puedan producir un choque en una mesa rectangular. Se construyó en acero

estructural ASTM A36, debido a que éste tipo de acero es uno de los materiales más básicos, utilizados en la construcción de estructuras para la industria. La mesa de trabajo tiene la forma que se indica en la Figura 5.



Fig. 5: Diseño de la Mesa de trabajo.

E. Diseño del layout de la celda

Otro paso importante en el diseño es crear un ambiente virtual, ubicando todos los componentes de la celda en una sola área, para ello se utiliza el software KUKA SIM PRO, que es propio del sistema robotizado KUKA. El cabezal fresador adaptado al robot industrial se puede observar en la Fig.6.

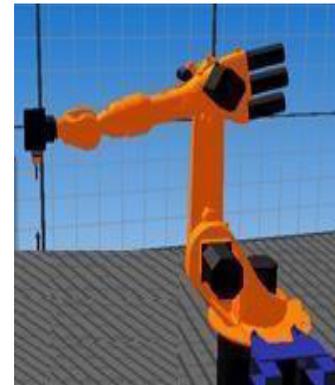


Fig. 6: Robot industrial KUKA KR16 con cabezal fresador adaptado en el KUKA Sim Pro.

A partir de este Layout inicial se siguen colocando los elementos necesarios para tener una celda de características similares a la física. En este caso se debe buscar los elementos que más se asemejen a los reales con el fin de obtener todo lo necesario para una correcta simulación del proceso que se va a realizar. La celda de manufactura diseñada con los componentes que la conforman, se implementó como se indica en la Fig. 7.

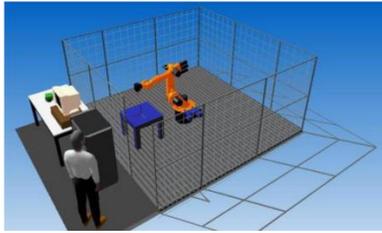


Fig. 7: Layout celda de manufactura robotizada.

El área de la celda donde se encuentra el brazo robótico es de 27m², sus dimensiones son: largo 4.97m, ancho 5.43m. Como se muestra en la Fig.8.

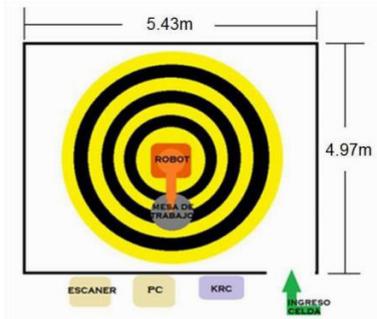


Fig. 8: Plano celda de manufactura.

III. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA CELDA DE MANUFACTURA ROBOTIZADA

A. Ubicación de los componentes

La celda de manufactura robotizada quedó implementada como muestra la Fig.9.

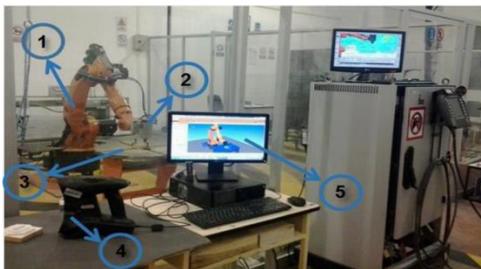


Fig. 9: Celda de manufactura robotizada. Brazo robótico industrial KUKA KR16 (1). Cabezal fresador Jäger (2). Mesa de trabajo (3). Escáner 3D (4). PC (5).

Dentro de la celda de manufactura y en el centro, se encuentra posicionado el brazo robótico y como herramienta posee el cabezal fresador, donde el eje del husillo se encuentra perpendicular a la base, la mesa de trabajo se posiciona dentro del área donde trabajará el robot, a una distancia previamente analizada que permite que el robot realice el mecanizado sin complicaciones alcanzando toda la superficie de la mesa, permitiendo de tal manera realizar un óptimo trabajo.

Adicionalmente y en un lugar apartado del área de trabajo del robot, se añadió un espacio para el escaneo, que consiste en una PC para procesar los modelos digitales y un

escáner 3D Optinum, adicionalmente se instaló los programas CAD, CAM, KUKA Sim Pro y el KUKA CAMRob PC para la programación del proceso, los elementos se muestran en la Fig. 10.

La celda está rodeada de vallas de acrílico, que aparte de dividir a la celda de otras, evitan que la viruta se expanda fuera de ella y brindan seguridad a los operarios.

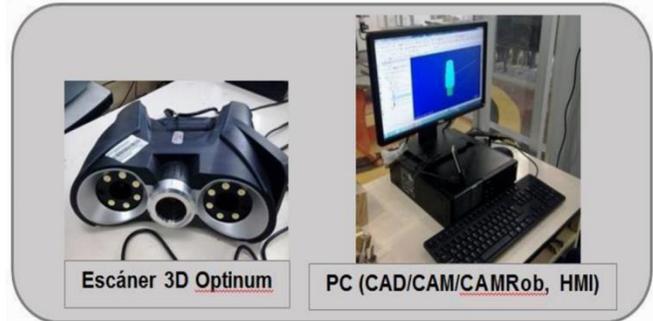
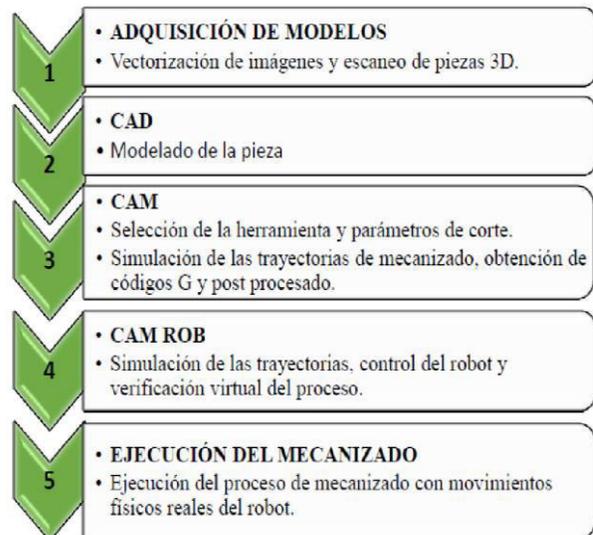


Fig. 10: Dispositivos pertenecientes a la celda de manufactura.

B. Proceso para la obtención de réplicas

El proceso completo para la obtención de réplicas abarca cinco fases principales.



Se debe indicar que, el proceso de las fases de: adquisición de modelos, CAD y CAM, son diferentes para cada réplica a realizar, depende de la digitalización, el modelado y mecanizado que se realice para cada modelo. En cambio, las fases del CAM Rob y la ejecución del mecanizado, se realizan de la misma manera para todas las réplicas que se desea mecanizar.

C. Pruebas y resultados

Se maquinaron circunferencias y cuadrados de iguales dimensiones sobre grilón para determinar la precisión de mecanizado, de la misma manera se realizó en aluminio.

Posteriormente se escaneó una pieza realizada en una máquina de precisión, con el fin de determinar el error en la obtención de objetos 3D, luego, se mecanizó el modelo adquirido para establecer las fallas del proceso de réplicas.

- Mecanizado en GRILON

Para determinar la precisión en el mecanizado se realizó varias piezas, se maquinó cinco circunferencias y cinco cuadrados como se indica en la Fig. 11.

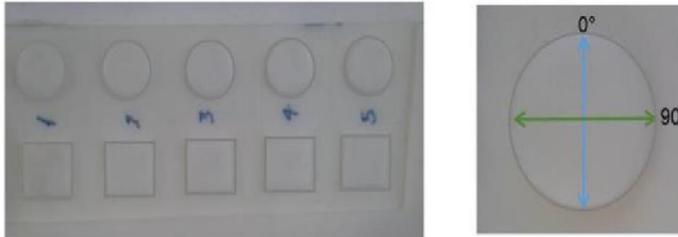


Fig. 11: Pruebas realizadas para determinar la precisión.

Los datos de las mediciones realizadas a las circunferencias, se indican en la Tabla III y se representan gráficamente en la Fig. 12.

TABLA III
MEDICIONES DEL DIÁMETRO DE LAS CIRCUNFERENCIAS.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Circunferencia 1 ($\phi 0^\circ$)	40,000	40,010	40,000	40,010	39,990	40,000
2 ($\phi 90^\circ$)	40,000	39,960	39,960	39,980	39,960	39,970
PROMEDIO	40,000	39,985	39,980	39,995	39,975	39,985

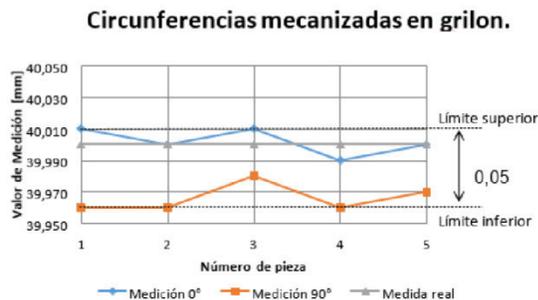


Fig. 12: Gráfico de mediciones de las circunferencias.

Se obtuvo el error existente, los cuales se aprecian en la Tabla IV.

TABLA IV
ERROR EN LAS MEDICIONES DE LAS CIRCUNFERENCIAS.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5
1 Circunferencia ($\phi 0^\circ$)	0,010	0,000	0,010	-0,010	0,000
2 ($\phi 90^\circ$)	-0,040	-0,040	-0,020	-0,040	-0,030
PROMEDIO	-0,015	-0,020	-0,005	-0,025	-0,015

Según los datos de la Tabla IV se observa que: el error del límite superior es de 0,01 y del límite inferior es de -0,04. Entonces, se determina que la precisión del mecanizado varía en 0,05mm para las trayectorias curvas.

Se tomó mediciones de los lados de los cuadrados mecanizados, de tal manera como se observa en la Fig. 13.

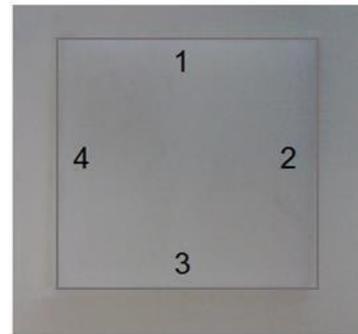


Fig. 13: Cuadrado mecanizado.

La Tabla V muestra los datos obtenidos

TABLA V
MEDICIONES DE LOS LADOS DE LOS CUADRADOS MECANIZADOS.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MEDIDA REAL	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Cuadrado (Lado 1)	40,000	39,980	39,981	39,980	39,980	39,981
2 (Lado 2)	40,000	40,015	40,013	40,013	40,015	40,015
3 (Lado 3)	40,000	39,980	39,980	39,982	39,982	39,980
4 (Lado 4)	40,000	40,020	40,019	40,020	40,018	40,020
PROMEDIO	40,000	39,999	39,998	39,999	39,999	39,999

La Fig. 14 muestra gráficamente los datos obtenidos

Medición cuadrados mecanizados en grilon.

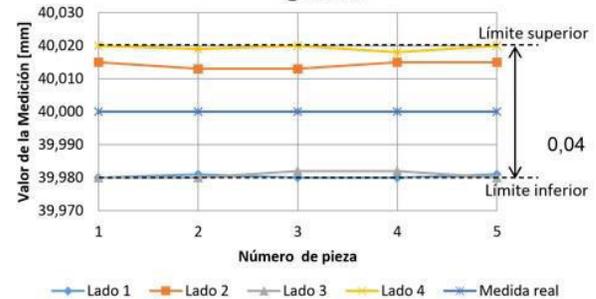


Fig. 14: Gráfico de mediciones de los cuadrados.

El error obtenido de cada una de las mediciones se muestra en la Tabla VI.

TABLA VI
ERROR EN LAS MEDICIONES DE LOS LADOS DE LOS CUADRADOS.

NÚMERO DE MEDICIÓN	ERROR PIEZA 1	ERROR PIEZA 2	ERROR PIEZA 3	ERROR PIEZA 4	ERROR PIEZA 5
Cuadrado 1 (Lado 1)	-0,020	-0,019	-0,020	-0,020	-0,019
2 (Lado 2)	0,015	0,013	0,013	0,015	0,015
3 (Lado 3)	-0,020	-0,020	-0,018	-0,018	-0,020
4 (Lado 4)	0,020	0,019	0,020	0,018	0,020

Según los datos de la Tabla VI se observa que: el error del límite superior es de 0,02 y del límite inferior es de -0,02. Entonces, la precisión de las trayectorias rectas varía en 0,04mm.

• Escaneo

El modelo que se aprecia en la Fig. 15. fue escaneado, para luego realizar mediciones, compararlas con la original y así determinar el error de escaneo.



Fig. 15: Pieza en aluminio.

Se realizó mediciones a cada una de las formas geométricas del modelo obtenido mediante escaneo que se muestra en la Fig. 16. Los valores obtenidos se observan en la Tabla VII.

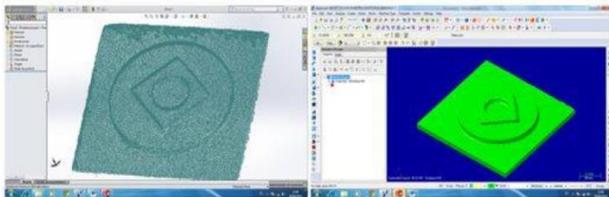


Fig. 16: Pieza escaneada y editada

Los valores obtenidos de la Tabla VII, se muestran gráficamente en las siguientes figuras: Lados del cuadrado (Fig. 17.), diámetro de la circunferencia grande (Fig. 18.), diámetro de la circunferencia pequeña (Fig. 19.), lados del rombo (Fig. 20.).

TABLA VII
MEDICIÓN DEL MODELO ESCANEADO.

NÚMERO DE MEDICIÓN	MODELO	PIEZA ESCANEADA	ERROR PE - M
Cuadrado 1 (lado 1)	90,000	89,822	0,178
2 (lado 2)	90,000	91,266	1,266
3 (lado 3)	90,000	89,662	0,338
4 (lado 4)	90,000	90,490	0,490
PROMEDIO	90,000	90,310	0,310
Circunferencia grande 1 (φ 0°)	65,000	64,500	0,500
2 (φ 90°)	65,000	64,090	0,910
PROMEDIO	65,000	64,295	0,705
Circunferencia pequeña 1 (φ 0°)	20,000	19,833	0,167
2 (φ 90°)	20,000	20,010	0,010
PROMEDIO	20,000	19,922	0,078
Rombo 1 (lado 1)	30,000	29,980	0,020
2 (lado 2)	30,000	29,546	0,454
3 (lado 3)	30,000	29,705	0,295
4 (lado 4)	30,000	29,820	0,180
PROMEDIO	30,000	29,763	0,237

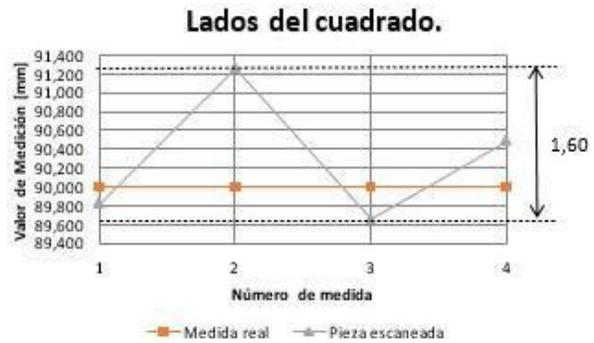


Fig. 17: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

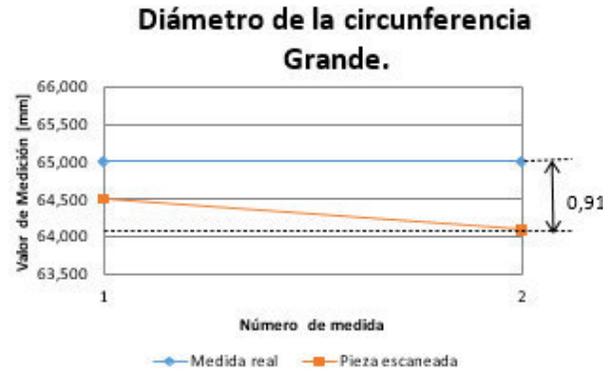


Fig. 18: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia grande.



Fig. 19: Gráfico de mediciones, diámetro circunferencia pequeña.



Fig. 20: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Con los datos obtenidos de la Tabla VII se determina el error relativo de la medición, expresado mediante la ecuación 9:

$$E_r = \frac{\Delta_x}{x} \quad (9)$$

Para el error relativo porcentual, se multiplica por 100:

$$E_r = \frac{\Delta_x}{x} (100)$$

Calculado el error porcentual de las mediciones para cada figura del modelo se obtiene: 0,34% (cuadrado), 1,08% (circunferencia grande), 0,39% (circunferencia pequeña) y 0,8% (rombo); obteniendo un mejor resultado en piezas pequeñas que en piezas grandes.

Entonces, se concluye que: el escaneo tiene una variación de $\pm 0.705\text{mm}$ en relación a las medidas de la pieza original, con un error del 1,08%.

• Escaneo y mecanizado

El modelo que se aprecia en la Fig. 21. se escaneó y se mecanizó en aluminio. Se realizó mediciones al modelo fresado para determinar el error existente en el proceso de réplicas.



Fig. 21: Pieza mecanizada en aluminio.

Los valores obtenidos se observan en la Tabla VII

TABLA VIII
MEDICIÓN DE LA RÉPLICA MECANIZADA EN ALUMINIO.

NUMERO DE MEDICION	MODELO	PIEZA ESCANEADA	PIEZA MECANIZADA	ERROR PE - M	ERROR PM - PE	ERROR PM - M
Cuadrado 1 (lado 2)	90,000	89,822	89,870	0,178	0,048	0,130
2 (lado 2)	90,000	91,266	91,310	1,266	0,044	1,310
3 (lado 3)	90,000	89,662	89,700	0,338	0,038	0,300
4 (lado 4)	90,000	90,490	90,530	0,490	0,040	0,530
PROMEDIO	90,000	90,310	90,353	0,310	0,042	0,352
Circunferencia grande 1 ($\phi 0^\circ$)	65,000	64,500	64,540	0,500	0,040	0,460
2 ($\phi 90^\circ$)	65,000	64,090	64,140	0,910	0,050	0,860
PROMEDIO	65,000	64,295	64,340	0,705	0,045	0,660
Circunferencia pequeña 1 ($\phi 0^\circ$)	20,000	19,833	19,830	0,167	0,003	0,170
2 ($\phi 90^\circ$)	20,000	20,010	20,140	0,010	0,130	0,140
PROMEDIO	20,000	19,922	19,985	0,078	0,063	0,015
Rombo 1 (lado 1)	30,000	29,980	29,932	0,020	0,048	0,068
2 (lado 2)	30,000	29,546	29,600	0,454	0,054	0,400
3 (lado 3)	30,000	29,705	29,740	0,295	0,035	0,260
4 (lado 4)	30,000	29,820	29,868	0,180	0,048	0,132
PROMEDIO	30,000	29,763	29,785	0,237	0,022	0,215

Los valores obtenidos en la Tabla VIII, se representan gráficamente en las figuras a continuación: Cuadrado (Fig. 22.), circunferencia (Fig. 23.), circunferencia pequeña (Fig. 24) y rombo (Fig. 25).



Fig. 22: Gráfico de mediciones, lados del cuadrado.

Diámetro de la circunferencia grande.

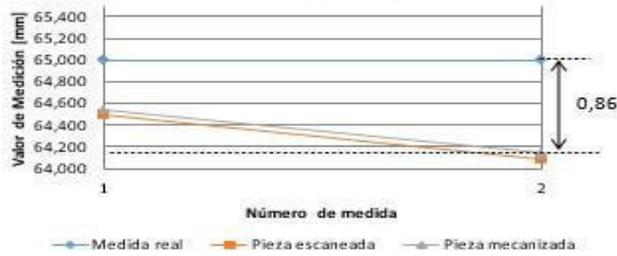


Fig. 23: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia.

Diámetro de la circunferencia Pequeña.



Fig. 24: Gráfico de mediciones, diámetro de la circunferencia pequeña.

Lados del rombo.

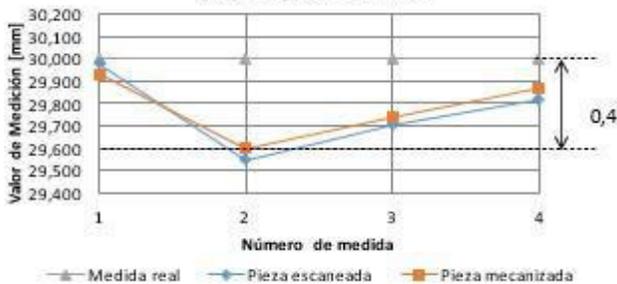


Fig. 25: Gráfico de mediciones, lados del rombo.

Se obtiene el error relativo porcentual de la réplica mecanizada, se realizó el mismo procedimiento que para el escaneo, se consigue: 0,39% de error en el cuadrado, 1,02% en la circunferencia grande, 0,075% en la circunferencia pequeña y 0,72% en el rombo.

En el mecanizado existe una variación de $\pm 0,66$ mm en relación a las medidas originales, de esta manera se pueden realizar réplicas, pero con un margen de error del 1,02% ya que es el porcentaje más crítico obtenido en base a las mediciones realizadas.

En el proceso de réplicas, el mayor porcentaje de fallas se da en el escaneo, debido al ruido (iluminación del ambiente) presente al momento de las tomas, mientras que el mecanizado respecto al modelo escaneado tiene una variación de $\pm 0,063$ mm.

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una celda de manufactura robotizada, para la réplica de piezas 3D, mediante fresado.

Mediante pruebas realizadas se concluye que: se obtiene réplicas pero con un error del 1,02% respecto a la pieza original, donde la mayor parte de fallas se da en el escaneo, por tal razón, no se recomienda este proyecto para replicar piezas de precisión.

Se mecanizó distintos tipos de piezas en varios materiales, determinado que se puede mecanizar aluminio con una precisión que varía en ± 0.05 mm.

A través del escaneo de piezas se consiguió modelos similares a los originales con una variación de ± 0.705 mm. Optimizando el tiempo de diseño en un programa CAD. Esta aplicación es útil para realizar piezas y elementos complejos, permitiendo así la eficiencia en los procesos.

La principal ventaja del mecanizado con brazo robótico industrial, es el de realizar diferentes procesos de mecanizado dentro de una misma celda, sobre diferentes mesas de trabajo, a través de la configuración de las bases correspondientes.

Mediante las pruebas realizadas se determina que el material más duro a mecanizar es el aluminio con una profundidad de 0.6 mm. Sin embargo, para conservar el estado de la máquina se debe mecanizar sobre materiales con características similares o menores a las de los plásticos.

V. RECOMENDACIONES

Para réplicas de piezas de precisión, se recomienda utilizar otro tipo de escáner 3D como puede ser el escáner laser, para obtener detalles más exactos de las piezas escaneadas.

En la recepción de datos escaneados, debe considerarse la iluminación del área de trabajo, es preferible que la pieza esté fija, es el escáner que debe moverse a su alrededor, también es aconsejable que la pieza a ser escaneada sea de color claro, de preferencia blanca y sobre una base oscura, caso contrario, existirá demasiado ruido y se tornará difícil su modelado posterior. Con éstas indicaciones se obtendrá un óptimo procesamiento de imagen.

Para mantener el buen estado del cabezal fresador, se recomienda no mecanizar materiales con características superiores a las de los plásticos.

Poseer conocimientos sobre el manejo de robots industriales, sistemas CAD-CAM y tomar en cuenta las normas de seguridad industrial para trabajar con celdas de manufactura.

REFERENCIAS

- [1] Inspecciones Técnicas, Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.inspeccionestecnicas.es/servicios/robots-de-fresado.html>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [2] X. Conesa, measurecontrol.com, 2 Junio 2007. [En línea]. Available: <http://www.measurecontrol.com/robots-de-precision/>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [3] F. Salinas, ASCAMM TECH, 12 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.ascamm.com/files/ascammtech/ascammtech13/webcontent_ok/cast_persones.html. [Último acceso: 14 Octubre 2014].

- [4] F. J. Berenguer, I. Sastre, R. G. González, D. Cereijo, F. García y I. Felgueroso, *Interempresas*, 14 Octubre 2010. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/44095-Celdarobotizada-multiproposito-para-prototipado-aplicacion-nuevas-tecnicasfabricacion.html>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [5] I. d. D. y. Fabricación, *Fab Lab Valencia*, Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://fablab.upv.es/equipamient/celula-robotizada/>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [6] E. G. H. Martínez, *El auge del robot industrial manipulador, MANUFACTURA, Información estratégica para la industria*, 2014.
- [7] M. G. M. Garza, *El impacto de la robótica en la industria mexicana*, p. 1, 2009.
- [8] COSTANTINI S.A., Julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.costantini-sa.com/costantini-sa-casos-de-exitodetalle.php?id=1c383cd30b7c298ab50293adfecb7b18>. [Último acceso: Octubre 2014].
- [9] Jager, *View All Alfred Jaeger HF Motor Spindles*, 23 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.alfredjaeger.de/en/chopper/Chopper-1500H-S5A.html?pdf=1>. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [10] KUKA ROBOTER, [kuka-robotics.com](http://www.kuka-robotics.com), 11 Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-48189feb-527612db8dc4_PFO033_KR_6-2_KR_16-2_es.pdf. [Último acceso: 14 Octubre 2014].
- [11] L. N. Arrizabalaga, *Máquinas, herramientas, PARANINFO*, 1997.
- [12] PROFABRICACION MARIANA, blogspot.com, Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://profabricacionmariana.blogspot.com/2011/10/velocidad-de-cortedel-aluminio.html>.
- [13] N. P. N. NARVAEZ, *modelado cinematico y dinamico de un, LIMA*, 2011.



Nora Patricia Acosta Apolo, nació el 06/12/1983 en Quito Provincia de Pichincha, Ecuador. Es Ingeniera en Mecatrónica, graduada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Áreas de Interés: Mecatrónica, Robótica Industrial, Sistemas CAD/CAM/CAE, Instrumentación.



Edwin Caizalitin Quinaluisa, nació el 21/05/1990 en Latacunga Provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es Ingeniero en Mecatrónica graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Áreas de Interés: Mecatrónica, Robótica Industrial, Sistemas CAD/CAM/CAE, Automatización de Procesos, Instrumentación Industrial.



Fausto Vinicio Acuña Coello, nació el 27/09/1966 en Latacunga Provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico, graduado en la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga. Estudios de Posgrado en Gestión de Energías en la UTC, Diplomado en Inspección de Soldadura en la ESPOL, Especialista en Gerencia de Proyectos en la UNIANDES. Docente Tiempo

Completo del Departamento de Energía y Mecánica de la ESPE Extensión Latacunga.



Marco Adolfo Singaña Amaguaña, nació el 15/04/1968 en Latacunga Provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es Ingeniero en Electrónica y Control, graduado en la Escuela Politécnica Nacional, EPN. Estudios de Posgrado en Redes y Telecomunicaciones, Diplomado Superior en Redes Digitales Industriales, actualmente está cursando la maestría en Diseño, Producción y Automatización Industrial, en la EPN. Docente Tiempo Completo del Departamento de Energía y Mecánica de la ESPE Extensión Latacunga.

Tips for Reading Extensively

Alfredo Albán Bautista

*Instituto de Lenguas
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga
Latacunga - Ecuador*

homero54@live.com

Recibido: Octubre, 2014. Aceptado: Diciembre, 2014.

Resumen-- La lectura extensa tiene el potencial de ayudar a los estudiantes del idioma inglés para que se conviertan en mejores lectores y mejorar entre otros aspectos sus habilidades del idioma. Sin embargo, la mayoría de los alumnos no están acostumbrados a la autonomía concedida por la lectura extensa. Además, pueden ser animados para la lucha través de textos cortos, aburridos, y extremadamente difíciles, los cuales, para muchos estudiantes, conlleva lamentablemente al uso constante de un diccionario. En resumen, los estudiantes del idioma no pueden comprender el valor del aprendizaje del idioma a través de la lectura fácil y un material interesante.

En la lectura extensa, los estudiantes del idioma inglés leen grandes cantidades de material fácil en inglés. Leen por información y placer, con el objetivo principal de lograr una comprensión general e integral del material de lectura. Los estudiantes seleccionan su propio material de lectura y son conducidos a dejar de leer si el material no es interesante o es demasiado difícil; con el tiempo; los estudiantes también son animados a ampliar su zona de confort de lectura por la gama de materiales que pueden leer fácilmente y con confianza.

Palabras Claves-- Lectura extensa, habilidades del inglés, lectura cuidadosa, zona de confort de la lectura.

Abstract-- Extensive reading has the potential to help English language learners become better readers and make improvements in other aspects of their English skills. However, most students are not accustomed to the autonomy accorded by extensive reading. In addition, they may be used to struggling through short, boring, and extremely difficult texts, which, for many learners, entails painfully careful reading and constant use of a dictionary. In short, language learners may not understand the language learning value of reading easy, interesting material.

In extensive reading, English language learners read large quantities of easy material in English. They read for information and enjoyment, with the primary goal of achieving a general, overall understanding of the reading material. Students select their own reading material and are encouraged to stop reading if the material is not interesting or is too hard; over time; students are also encouraged to expand their *reading comfort zone* the range of materials they can read easily and with confidence.

Keywords-- Extensive reading, English skills, , careful reading, comfort zone.

To capture these aspects of extensive reading, it is suggested that the motto of extensive reading be "*reading gain without reading pain*".

There are several reasons why it is beneficial to encourage language learners to read extensively. Studies show that when students read extensively, they not only improve their reading fluency, but they also build new vocabulary knowledge and expand their understanding of words they knew before. Additionally, extensive reading can help students write better, as well as improve their listening and speaking abilities. And perhaps the best result is that students develop positive attitudes toward reading in English and increased motivation to study it. Teachers have an important role to play in helping their students get the most out of extensive reading, teachers need to introduce their students to extensive reading and provide essential guidance as they read extensively. In this article, we offer ten tips that teachers can give to students when they engage in extensive reading.

The title for each tip is addressed directly to the learner, whereas the rationale and instructional advice are written to you, the teacher. We discuss the rationale for each tip and suggest ways to these tips your students. We recommend that you present them before students begin to read extensively and then revisit them periodically throughout the semester or school year [5].

II. THEORETICAL BACKGROUND

Tip 1: Read, read, and read some more

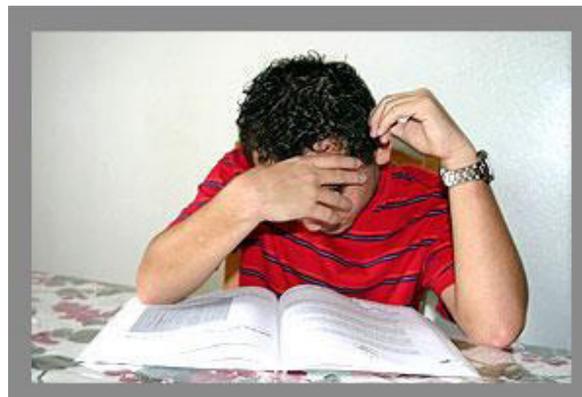


Fig.1 Shows when reading is the best way how to become a good reader.

This is perhaps the most important piece of advice that you can give your students. You might want to introduce this tip by emphasizing to your students that we learn to read by reading; this is true for both a first or second language. The more students read the better readers they become.

When you encourage your students to read, read, and read, you might want to point out that reading extensively can:

- Help them read faster and understand more.
- Help them to read in meaningful phrases, rather than word-by-word.
- Increase their confidence in their reading.
- Increase vocabulary knowledge.
- Consolidate grammatical knowledge.
- Help improve writing proficiency and oral fluency.

Tip 2: Read easy books.

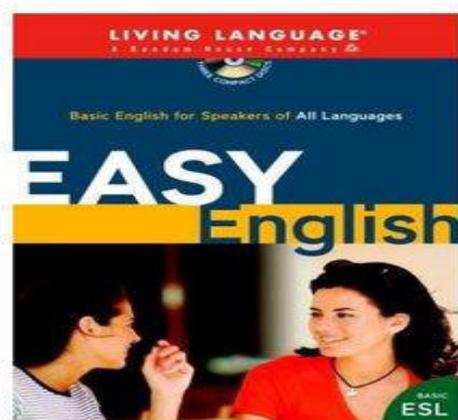


Fig.2 illustrates that reading easy books helps learners to acquire knowledge in a better way.

Generally, it is hard to read books that have many unknown or difficult words. Frequently encountering challenging vocabulary can be frustrating, if not discouraging. The same can be said for the level of grammatical and organizational difficulty of books. So it is very important for students to choose books that they can read quickly and easily. This will increase their confidence and help them to become more comfortable with the process of reading in the foreign language [6].

Unfortunately, many students (and perhaps some teachers) are conditioned to believe that they must read books that are difficult, that the only way to learn to read is by reading material that is beyond their capabilities. This is the wrong approach. When learners read a lot of easy books, it allows them to become more fluent, effective readers. In addition, they are able to learn new words and phrases, over time, while enjoying what they are reading. To help wean students from the *macho maxim*, ask them to reflect on their experiences of learning to read in their first language what types of materials did they read? Most likely standardized testing material was not in their selection of bedtime stories.

You can help your students select material at the appropriate level-books well within their reading comfort zone. Ask them to scan two or three pages of a book, looking for words they do not recognize. If there are more

than four or five difficult or unknown words on a page, the book is probably too difficult for extensive reading. Even after your students choose a book that appears to be appropriate, they may find that they are re-reading a few grammatically difficult sentences to try to figure out the meaning. If this is the case, the book is probably too difficult, so they should find another.

Extensive reading materials can be any material in English that is easy enough for your students to read with overall comprehension. Depending on the abilities of your students and the resources available to you, such materials may include children's books, comic books, on line texts. Additionally, a useful source of *language learner literature*, reading material written for an audience of language learners, is graded readers. Graded readers are simply books, fiction and nonfiction, in which the content is controlled to match the language ability of learners. All the major publishers have graded readers.

Tip 3: Read interesting books

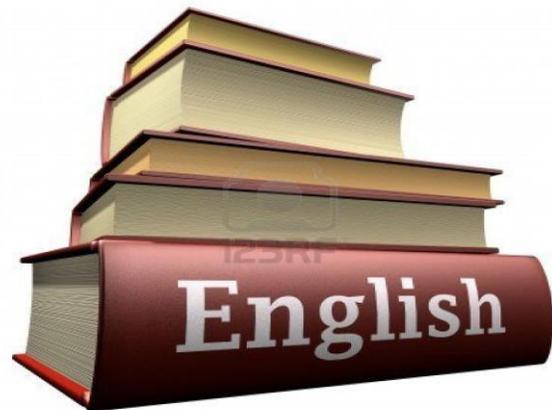


Fig.3 means that reading is interesting when there are goods books

Because of students need to read many books, it is important that they are interested in and enjoy what they are reading. If the learners are excited about their books, they won't want to put them down. Additionally, they will be more likely to attend to die content (meaning) of the text, rather than merely focusing on grammatical aspects. If your students do not find their books interesting or exciting, advise them to stop and find other books they may enjoy more.

At the same time, you might also want to point out that they should not give up on a book prematurely. Some books *start slowly*.

Tip 4: Reread books you found particularly interesting

Reading books a second or third time is useful for several reasons. Having already read a book once, students will be able to read it more fluently the second time. This helps build vocabulary knowledge as well as confidence, and this, in turn, leads to increases in reading rate. Also, reading gains aside, it is fun to reread a favorite book!

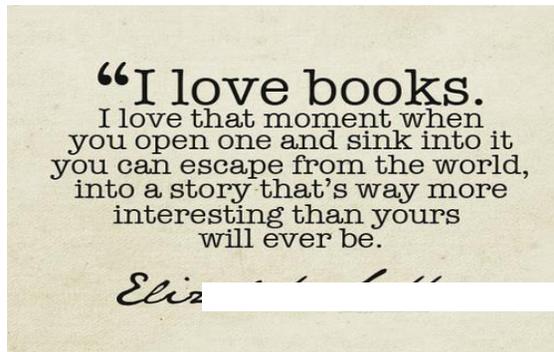


Fig.4 demonstrates that a good book may be read many times, so it helps to build vocabulary knowledge.

Tip 5: Read for general understanding

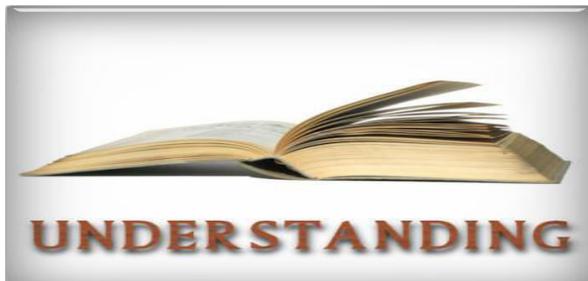


Fig.5 helps to explain that reading the most relevant ideas helps to get a better comprehension.

When students read extensively, it is not necessary to read for 100 percent comprehension.

On the contrary, they should simply read for general, overall understanding. This means that they should be able to follow the general storyline and grasp the main ideas of the text. In extensive reading, the aim is to read a great many books, so it is in the learners' best interest not to struggle over every detail and worry about the exact meaning of every word or phrase.

To reinforce this idea, you could ask your students to think about reading in their native language (or, if they do not read much in their native languages, ask the students to think about watching television or movies). Most likely, they do not fret over every detail in their native language, so they should not expect to understand every word when they read extensively in English.



Fig.6 suggests that to set difficult words in context to avoid ambiguity in meaning is a good resource.

Another way to encourage reading for general understanding is to remind students that they are reading for pleasure, and for benefits such as increasing fluency and vocabulary knowledge. You might want to stress that there is no penalty for not understanding every detail because they will not be tested.

Tip 6: Ignore unknown or difficult words. Skip them and continue reading

Although extensive reading material should be easy for students, they will inevitably encounter unknown or difficult words on occasion. Students do not need to understand every word. Often, they can ignore words they do not know and still maintain a general understanding of the passage. Sometimes they can guess the meaning of words from the context.

You can be of particular importance here by helping learners get used to living with a bit of ambiguity when they read. One way to do this is to have students skim a page or two of their books, circling any words they do not understand. Next, have your students read those same pages, encouraging them to focus on the general meaning and ignore any circled words. After they have finished, find out how successful they were by asking general questions about their texts, such as: Who are the characters? Where are they? What are they doing? Most likely, students will grasp the overall meaning, despite encountering a few unfamiliar words. If a student is unsuccessful, then it is likely the book is too difficult.

Tip 7: Avoid using dictionaries

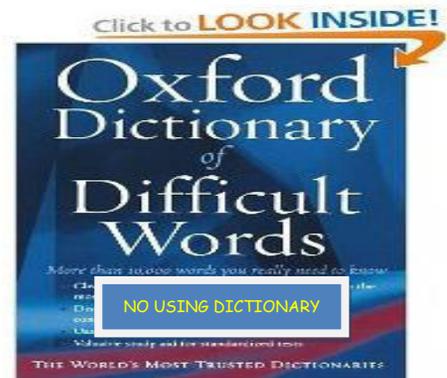


Fig 7. advises that using the dictionary as little as possible might help readers to get a semantic meaning in context.

Although students often resort to using their dictionaries whenever they encounter new words, convince them to break the dictionary habit. Stopping two or three times per page to look up words in the dictionary is laborious and time-consuming, and it can distract students from reading for general understanding. It can be difficult for students to ignore unknown or difficult words when they have their dictionaries right beside them. Some students, when they engage in extensive reading, make a point of putting their dictionaries across the room, out of the way. Thus they will be less inclined to reach for their dictionaries when they

come across unknown words. But sometimes it is not possible, or advisable, to avoid the use of dictionaries. There are times when not knowing the meaning of a word prevents overall understanding or the unknown word reoccurs frequently in the text. In such situations, tell your students to use a dictionary [2].

Tip 8: Expand your reading comfort zone

To assist students with expanding their reading comfort zones, it is important that you are familiar with the level of texts they are reading and the extent to which they are able to achieve general understanding.

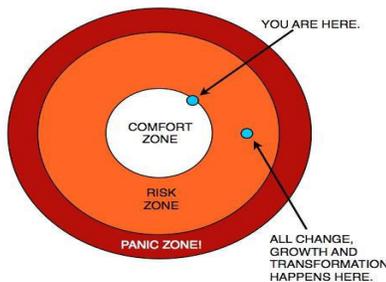


Fig.8 ensures that reading provides a wide background to learners and they feel comfortable.

You can monitor your students' classroom. One idea, suggested by Iwano [6], is that teachers briefly interview their students individually while the rest of the class is reading for other useful activities to monitor your students' extensive reading.

Additionally, it is a good idea to be familiar with the range of extensive reading materials available to your students. Being familiar with extensive reading materials and having an awareness of each student's level and reading interests will allow you to better help students while they expand their reading comfort zones; you can offer useful recommendations when students choose new books [7].

We should add a note of caution, however. Students can easily be confused about the balance between reading easy, enjoyable books and challenging themselves with books at a slightly higher level to expand their reading comfort zones. Because everyone has a desire to improve as quickly as possible, some learners might challenge themselves too much, too soon. Thus, it is important to pay attention to what your students are reading and to make sure that they are not struggling with texts that are too difficult. It makes sense to help build learners' confidence and fluency with easier books, bearing in mind that books that were at one time too difficult will later become easier to read.

Tip 9: Set reading goals and keep a reading log

Setting personal goals can often be a strong motivational factor. This is especially true for reading.

Advise your students to consider their schedules and to set aside times to read.

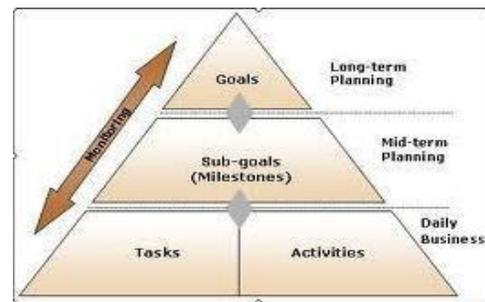


Fig. 9 points out that reading involves a series of achievements.

You might want to help your students set a reasonable target number of books per week or month, as their schedules allow; encourage them to meet those goals. An extensive reading target can be expressed in pages, chapters, or even time—two hours a week, for example. Extensive reading targets are flexible and can be adjusted to fit the reading abilities and schedules of your students.

One way to set and monitor reading goals is to encourage, or require, your students to keep a log of their extensive reading. This will allow them to see their progress. Concrete, visible evidence can be very motivating.

These can be modified according to the needs of your students and the extent to which you integrate extensive reading activities into your curriculum. Some teachers have found it useful to monitor extensive reading according to the weeks of a school semester; others require students to provide a very brief summary of each book entered into the log in order to monitor general comprehension.

Tip 10: Enjoy! Enjoy! Enjoy!

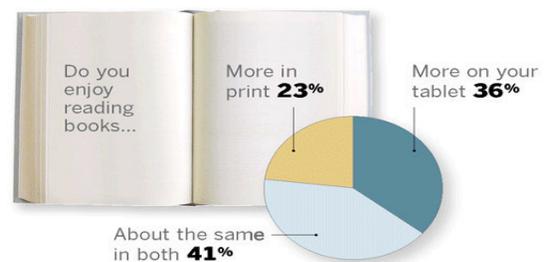


Fig. 10 denotes that reading must be enjoyable while readers go on.

The more your students enjoy what they are reading, the more they will read. If they do not enjoy reading, their desire to stick with it will probably dwindle, and they may give up on reading. And they need to keep reading in order to improve their reading fluency and increase their vocabulary knowledge. Recall the motto of extensive reading: *reading gain without reading pain*.

As teachers, our goal is to spark our students' interest in reading and find encouraging ways to make sure they keep on reading. If you find that some of your students are starting to lose their enthusiasm, it might help to read aloud to them

from a book that is easy, but captivating. Your enthusiasm when you read aloud can help them to get back into the frame of mind where they want to pick up a book at every opportunity [1].

III. CONCLUSION

Most teachers, above all else, must help their students do well in their courses and pass the required examinations. However, at the same time, teachers can increase their students' competency in English and help them become fluent readers in English by engaging them in extensive reading. It is important to realize that the increased fluency, confidence, and motivation that so often result from reading extensively will help students in their academic endeavors, such as improving exam performances.

As Colin Davis said: *"Any ESL, EFL, or LI classroom will be poorer for the lack of an extensive reading programme of some kind, and will be unable to promote its pupils' language development in all aspects as effectively as if such a programme were present"*.

We hope that these ten tips will help your students get the most out of reading extensively. When you provide insightful and careful orientation and guidance to extensive reading, you are not only helping your students improve many aspects of their overall reading and language ability; you also might be opening a door to the variety of worlds that reading can present.

We close with a tip for you, the teacher: Be a role model as a reader. Day and Bamford claim that *"effective extensive reading teachers are themselves readers, teaching by example the attitudes and behaviors of a reader."* *If you are a first language reader of English, then consider reading extensively in your students' first language. If English is a foreign language to you, then read English with your students. As Nut - tall observed, "Reading is caught, not taught"*.

REFERENCES

- [1] Bamford, J. and R. R. Day, eds. 2004. *Extensive reading activities for teaching language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Davis, C. 1995. Extensive reading: An expensive extravagance? *ELT Journal*.
- [3] Day, R. R. and J. Bamford. 1998. *Extensive reading in the second language classroom*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [4] Day, R. R. and J. Bamford. 2002. Top ten principles for teaching extensive reading. *Reading in a Foreign Language*.
- [5] Hill, D. R. 2001. Graded readers. *ELT Journal*.
- [6] Iwano, M. T. 2004. Individual interviews. In *Extensive reading activities for teaching language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Nuttall, C. 1996. *Teaching reading skills in a foreign language*. Second edition Oxford: Heinemann.



Alfredo Homero Albán B. was born in Salcedo Cotopaxi province. He got a degree as Bachelor of Sciences in Education at the Central University in Quito Ecuador, he is majored in English and French Languages, his postgraduate studies are: Certified in Teaching English as a Second Language, Escuela Politécnica del Ejército ESPE, Magister in University Teaching at Universidad Nacional de Loja. Full time teacher in the Languages Institute at ESPE Latacunga.

Fabricación de Ayudas Técnicas para Discapacitados Empleando Materiales Compuestos con Refuerzos de Fibra de Yute (*Corchorus Capsularis*)

Beltrán Reyna Roberto F.¹, Pino Tarragó Julio C.¹, Hernández Ochoa Daniel R.², Otero Diéguez Antonio³, Terán Herrera Héctor C.¹

¹Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Latacunga- Ecuador

²Mechanical and Industrial Engineering Department, College of Engineering, Qatar University, Doha, Qatar

³Departamento de Matemática, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba
rbeltrnr@espe.edu.ec, jcpino1@espe.edu.ec, drhochoa@qu.edu.qa, oteroecuador@gmail.com, hcteran@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen-- En la actualidad el desarrollo de los bio-composites en diferentes aplicaciones se ha incrementado considerablemente, estos están constituidos por fibras naturales como refuerzo y por polímero por matriz. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de sustituir los protectores laterales plásticos de las sillas de ruedas, por similares de compuesto de fibra natural de yute utilizando como matriz poliéster insaturado, teniendo diversas ventajas tales como: ser ecológicos, ligeros, biodegradables y de bajo costo. Concluyendo que esta sustitución es viable empleando el método de inyección de resina "Vacum Infusion".

Palabras claves-- Bio-composites, elementos finitos, sillas de ruedas, Vacum Infusion.

Abstract-- At present, the development of bio-composites in different applications has increased considerably, these consist of natural fibers as reinforcement and polymer matrix. The aim of this study is to evaluate the possibility of replacing the plastic side shields wheelchairs for similar composite natural fiber jute using as unsaturated polyester matrix having various advantages such as being environmentally friendly, lightweight, biodegradable and low cost. Concluding that this substitution is feasible using the resin injection method "Vacum Infusion".

Keywords-- Bio-composites, finite elements, wheelchairs, Vacum Infusion.

I. INTRODUCCIÓN

En la producción de ayudas técnicas para discapacitados se emplean cada vez más piezas de material termo plástico, obtenidas por procesos de inyección en moldes con un alto costo de fabricación que se amortizan cuando existen grandes volúmenes de producción, sin embargo en empresas con volúmenes de producción pequeños y en países poco industrializados resulta imposible asumir los costos de máquinas de inyección de plástico y la fabricación de moldes. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de

sustituir los protectores laterales plásticos de las sillas de ruedas por similares de compuesto de fibra natural de yute, utilizando como matriz al poliéster insaturado, empleando el método de fabricación de inyección de resina "Vacum Infusion". El método consiste en hacer ingresar la resina líquida catalizada, efectuando vacío en el molde cerrado que contiene el refuerzo. La misma cura dentro del molde, cuando ya posee integridad estructural es desmoldada y se somete a un proceso de postcurado en una estufa. Se elige esta técnica debido a la facilidad de implementación en empresas pequeñas y el buen acabado del producto final.

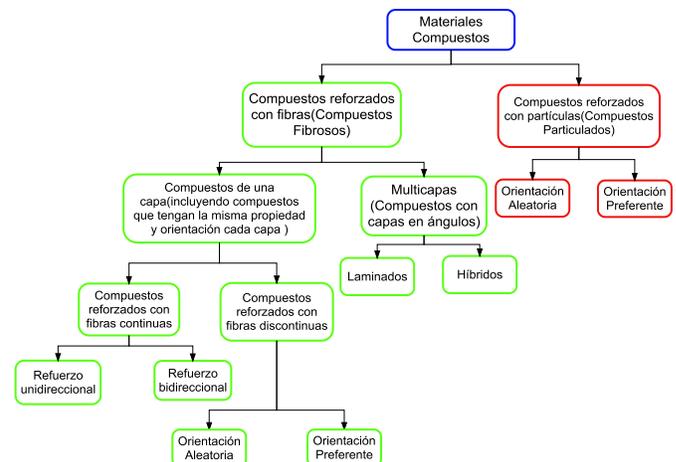


Fig. 1. Clasificación de los materiales compuestos. Fuente: Los autores

II. CARACTERIZACIÓN DEL COMPUESTO YUTE - POLIÉSTER

La clasificación de los materiales compuestos es de vital importancia durante el desarrollo del presente estudio, la figura 1 representa el esquema de esta tipificación. La

dimensión de los refuerzos de partículas es aproximadamente igual en todas las direcciones. La forma de las partículas de refuerzo puede ser esférica, cúbica, plana o de cualquier geometría regular o irregular. La disposición de estas partículas puede ser al azar o con una orientación preferente.

El material compuesto de fibra natural de yute en matriz de poliéster insaturado ha sido estudiado por varios autores que indican que puede llegar a ser una alternativa de uso similar a los compuestos de fibra de vidrio en matriz de poliéster insaturado [1], [2], [3], [4] y [5]. La estructura del refuerzo tejido elaborado con fibra natural de yute se muestra en la figura 2, mientras que las tablas I y II se resumen la composición y propiedades del tejido antes señalado.



Fig. 2. Tejido empleado como refuerzo elaborado con la fibra natural de yute. Fuente: Los autores

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LA FIBRA NATURAL DE YUTE

Componentes de la Fibra de Yute	(%)
Celulosa	64.4
Hemi-celulosa	12.0
Pectina	0.2
Lignina	11.8
Sustancias solubles en agua	1.1
Cera	0.5
Agua	10.0

TABLA II
PROPIEDADES DE LA FIBRA NATURAL DE YUTE

Fibra	Módulo de Young's (GPa)	Resistencia en Tracción (MPa)	Densidad específica	Espesor (mm)
Yute	38	393	1.3	0.45

TABLA III
PROPIEDADES DEL COMPUESTO YUTE - POLIÉSTER A FLEXIÓN.

Compuesto	Modulo a Flexión	Resistencia a Flexión (MPa)
Yute - Poliéster	6.61	103.2

III. ANALISIS DEL DISEÑO

La pieza de la silla de ruedas para discapacitados seleccionada por su destino de servicio pasivo y baja exigencia de resistencia mecánica es el protector lateral que evita que las salpicaduras de barro y agua caigan sobre la persona con discapacidad durante su desplazamiento en este tipo de ayuda técnica. La conformación geométrica del protector lateral es sencilla en forma de chapa y es de fácil montaje quedando fija con 4 tornillos al marco del apoyabrazos como se muestra en la figura 3.

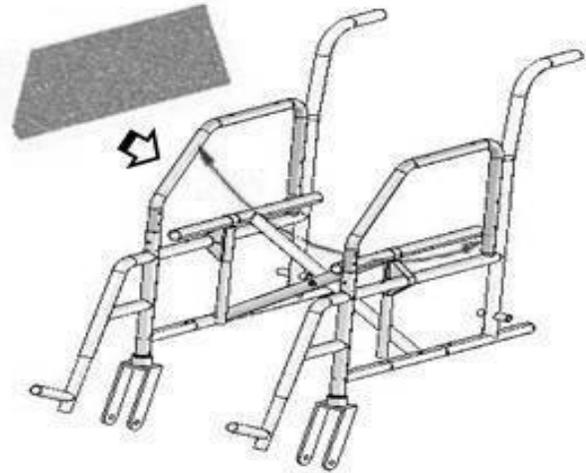


Fig. 3. Colocación del protector lateral de la silla de rueda para discapacitado. Fuente: Los autores

La configuración plana constituye una ventaja para la fabricación por el método de inyección de resina “Vacum Infusion”, como se muestra en la figura 4 a y b.



Fig. 4. a) Molde del protector lateral. b) Fabricación por inyección de resina. Fuente: Los autores

El protector lateral puede ser pintado o pulido como se muestra en Figura 5 a y b.

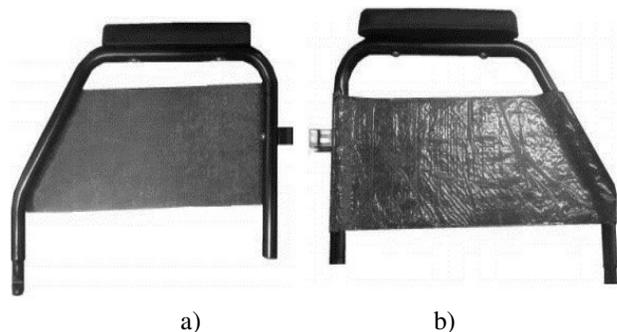


Fig. 5. Colocación del protector lateral en el apoyabrazos a) Vista interior b) Vista exterior. Fuente: Los autores

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Para la realización del presente estudio se utilizaron software de Ingeniería y Diseño Asistido por Computadora (CAD - CAE) empleando el Método de los Elementos Finitos, para el material compuestos modelado se usaron elementos finitos tipo “SHELL”, para realizar el análisis se emplearon 2 capas de yute en matriz de poliéster cuyas propiedades se muestran en la Tabla IV.

TABLA IV
PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO YUTE – POLIÉSTER

Compuesto	Modulo a Flexión (GPa)	Resistencia a Flexión (MPa)
Módulo de elasticidad en X	38000	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Y	38000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.394	N/D
Densidad de masa	1.235	kg/m ³
Límite de tracción en X	20.8	N/mm ²
Límite de tracción en Y	20.8	N/mm ²
Límite de compresión en X	20.8	N/mm ²
Límite de compresión en Y	20.8	N/mm ²
Módulo cortante en XY	318.9	N/mm ²
Límite cortante en XY	30	N/mm ²
Límite elástico	380	N/mm ²

Sobre el modelo actúan las cargas equivalentes 104.86 N, estas fuerzas son producto de la acción que ejercen los laterales de la silla de rueda sobre los tubos del marco de los apoya brazos y estos a su vez sobre el protector lateral de la silla, debido a las desviaciones en forma de hamaca que ocurren en las crucetas de la silla de rueda al desplazarse por diferentes terrenos y estos desplazamientos se ven reflejados sobre los protectores laterales de la silla de ruedas tal como se muestra en la figura 6. Las condiciones de contornos que se tuvieron en cuenta para modelar los elementos, son la fijación de las tapas laterales al marco tubular de los apoya brazos de la silla por medio de cuatro tornillos, por lo que se le eliminan ciertos grados de libertad a la pieza para de esta manera hacer una aproximación mucho más cercana a las condiciones reales de trabajo de la pieza en cuestión.

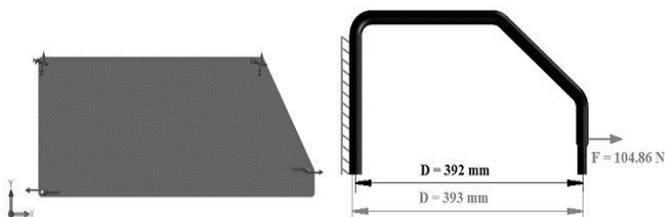


Fig. 6. Restricciones y cargas que actúan sobre el marco del apoya brazos de la silla de ruedas para discapacitados. Fuente: Los autores

En la tabla V se muestra la convergencia del mallado teniendo en cuenta, tamaño del elemento (mm), tolerancia (mm) así como el valor de las tensiones (MPa) a tracción y compresión. Es de vital importancia que el mallado del modelo converja, pues esto demuestra que el modelo es estable y por tanto los resultados que se obtengan son fiables.

TABLA V
COMPROBACIÓN DE LA CONVERGENCIA DEL MALLADO

Tamaño del elemento (mm)	Tolerancia (mm)	Tensiones a tracción (MPa)
5.70	0.285	8.9414
5.45	0.2725	9.8813
5.20	0.26	9.8665
4.95	0.2475	9.9009
4.70	0.23537	9.6606
4.60	0.23	9.8456
4.50	0.225	9.5314
3.95	0.1975	9.2756

El análisis de tensiones y desplazamientos en el eje X constituye el aspecto fundamental del estudio tal como se puede apreciar en las figuras 7 y 8, se muestra la representación gráfica de las tensiones para el eje, donde se puede apreciar que las tensiones son muy bajas por lo que se puede afirmar que las tapas laterales de la silla de ruedas fabricada de bio-composites cumplirá satisfactoriamente con su destino de servicio y por ende con las cargas a las que estará sometida durante su explotación, cuyos valores máximos y mínimos se ilustran en la Tabla VI.

TABLA VI
VALORES MÁXIMO Y MÍNIMOS DE TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE X

Eje	Tensiones Max. (N/mm ²)	Tensiones Min. (N/mm ²)	Desplazamientos Max. (mm)	Desplazamientos Min. (mm)
X	9.66	-4.0	0.285	0.00

El factor de seguridad es usado para proveer un margen de diseño sobre la capacidad teórica de diseño para tener en cuenta incertidumbres durante el proceso de diseño. La incertidumbre puede estar presente en cualquier parte de los componentes del diseño incluyendo los cálculos, la resistencia del material, calidad de diseño.



Fig. 7. Representación gráfica de las tensiones en el eje X.

Fuente: Los autores



Fig. 8. Representación gráfica de los desplazamientos en el eje X.
Fuente: Los autores

El valor del factor de seguridad está relacionado con la falta de seguridad en el proceso de diseño. Los resultados del factor de seguridad en el modelo analizado por el método de los elementos finitos (MEF), se representa en la figura 9 teniendo en cuenta el criterio Tsai-Wu, donde se puede observar que la pieza puede soportar las solicitaciones de cargas a las que estará sometida, obteniéndose valores por encima de 1, ya que los modelo con valores que están por debajo o muy cercanos a 1 la tendencia al fallo es de altas probabilidades.



Fig. 9. Representación gráfica del factor de seguridad según criterio Tsai-Wu.

V. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que es posible la sustitución de los protectores laterales plásticos de las sillas de ruedas para discapacitados, por similares de compuesto de fibra natural de yute utilizando como matriz al poliéster insaturado, debido a que la pieza soporta las tensiones a las que está sometida teniendo estas un valor de 9.66 N/mm² como valor máximo, mientras que el valor de los desplazamientos máximo es de 0.285 mm, en cuanto al factor de seguridad de diseño se encuentra superior a 1, lo que demuestra la fiabilidad de los elementos durante el cumplimiento de su destino de servicio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al proyecto AECI PCI (A/025141/09 - A/030771/10) "Concepción y Fabricación de Ayudas Técnicas para Discapacitados Físicos Con Materiales Compuestos de Bajo Costo" y al grupo de investigación Análisis y Materiales Avanzados para el Diseño Estructural de la Universidad de Girona, por el apoyo para la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

[1] ROE, P. J., ANSELL, M. P. (1985) Jute-reinforced polyester composites, Journal of Materials Science No. 20, pp. 4015 - 4020.
[2] RODRÍGUEZ, E. PETRUCCI, R. PUGLIA, D. KENNY, J. M. VÁZQUEZ, A. (2005). Characterization of Composites Based on

Natural and Glass Fibers Obtained by Vacuum Infusion. Journal of Composite Materials Vol. 39, No. 3, pp. 265-282, American Society for Composites

[3] DOAN, THI THU LOAN (2006) Investigation on jute fibers and their composites based on polypropylene and epoxy matrices, Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur, pp. 1-138.
[4] CAVALCANTI, W. S. LIMA, A. G. B. CARVALHO, L. H. (2010) Water Sorption in Unsaturated Polyester Composites Reinforced With Jute and Jute/Glass Fiber Fabrics: Modeling, Simulation and Experimentation, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol. 20, No. 1, pp. 78-83.
[5] SEVER, K. SARIKANAT, M. SEKI, Y. ERKAN, G. ERDOGAN, U. H. (2010). The Mechanical Properties of γ -Methacryloxypropyltrimethoxy silane - treated Jute/Polyester Composites, Journal of Composite Materials Vol. 44, No. 15, pp. 1913-1924, American Society for Composites.
[6] MIAHA, M. J., KHANB, M. A., KHAN, R. A. (2011) Fabrication and Characterization of Jute Fiber Reinforced Low Density Polyethylene Based Composites: Effects of Chemical Treatment, Journal of Scientific Research Publications. Vol. 3, No. 2, pp. 249-259
[7] RODRÍGUEZ, E. VÁZQUEZ, A. (2003). Propiedades Mecánicas de Materiales Compuestos con Fibras Naturales Obtenidos Mediante la Técnica de Vacuum Infusion. Jornadas SAM/ CONAMET/ Simposio Materiales Vol. 11-11, N, pp. 950-953.



Beltrán Roberto. Nació en Manzanillo provincia de Granma en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 2009 y cuenta con un masterado en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD-CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba.

Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga Ecuador.



Pino Julio. Nació en Holguín provincia de Holguín en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 1993 y cuenta con un masterado en Maquinaria Agrícola en la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" en la ciudad de Latacunga – Ecuador.



Hernández Daniel. Nació en Holguín provincia de Holguín en Cuba. Es graduado de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín – Cuba en Ingeniería Mecánica en el año 1996, y cuenta con diplomado en CAD/CAM, Doctor en Ciencias Técnicas. Docente de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" desde 1996. Actualmente es miembro del departamento de Ciencia de la Energía y Centro de Estudio CAD-CAM de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" en la ciudad de Holguín - Cuba Ecuador. Investigador y profesor de Materiales Compuestos Avanzados en la Qatar University, Qatar.



Otero Antonio. Nació en Contramaestre provincia de Santiago de Cuba. Es graduado de la Universidad Estadual de Odessa, Mechnikov, Ucrania, en el año 1986. Doctor en Matemática de la Universidad de Oriente- Cuba. Revisor Zentralblatt Math, Revista de la Sociedad Europea de Matemática 2000. Profesor invitado del 2011-2013: Universidad del Estado de la Amazona, República Federativa do Brasil.

Trabaja en el área de Ecuaciones Diferenciales, Matemática aplicada a la Mecánica.



Terán Héctor. Nació en New York, Estados Unidos. Es graduado Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador en el año 2008, de Ingeniero Electromecánico, y cuenta con diplomado en Redes Industriales. Máster en Gestión de Energías y en Seguridad Industrial y Riesgos del trabajo. Actualmente es docente del departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica de la Universidad de las

Fuerzas Armadas “ESPE” en la ciudad de Latacunga Ecuador.

Términos de Referencia para Contratar Servicios de Consultoría para la Implementación de un Centro de Datos e Infraestructura de Red en una Universidad

Gonzalo Patricio Espinel Mena

Departamento de Eléctrica y Electrónica,
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

gpspinel@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen— El objetivo de este artículo es proporcionar una visión general de los términos de referencia necesarios para contratar una empresa consultora para que realice el estudio técnico y el diseño de la implementación de un Centro de Datos e Infraestructura de Red. Estos términos de referencia permitirán garantizar y disponer de una plataforma de red moderna capaz de abastecer los requerimientos institucionales.

Palabras claves— Términos de referencia, consultoría informática, centro de datos, infraestructura de red, servicios de red.

Abstract— The aim of this article is to provide an overview of the terms of reference needed to hire a consulting firm to conduct a technical study and design of the implementation of a Data Center and Network Infrastructure. These terms of reference will permit to guarantee and have a modern network platform capable of supplying the institutional requirements.

Keywords— Terms of reference, IT consulting, data center, network infrastructure, network services.

I. INTRODUCCIÓN

La convergencia entre equipamiento, servicios, seguridades y administración conlleva a que los diseños de redes sean complejos y especiales por las características propias que tiene toda institución de Educación Superior, donde se cuenta con varios tipos de usuarios quienes requieren diferentes servicios, los mismos que se soportan sobre la infraestructura de red implementada.

Las empresas requieren contar con tecnología de punta acorde a las exigencias institucionales, contando con una infraestructura de red unificada e integrada, que cumpla con los normas y estándares establecidos por el área de tecnología de la institución; adicionalmente para la conservación de este equipamiento sobre el cual funcionarán todos los servicios y aplicaciones que brinda la institución es necesario contar con un Centro de Datos especializado.

El equipamiento que conforma la infraestructura de red debe encontrarse protegido y operando en las condiciones limáticas óptimas, dentro del Centro de Datos, el mismo que

garantiza confiabilidad operativa, disminución en las tasas de seguros, cumplimiento de normas internacionales exigidas por compañías auditoras, larga vida útil de los equipos, menores costos de mantenimiento, y seguridad completa.

La contratación de los servicios de una empresa de consultoría para la implementación del Centro de Datos e Infraestructura de Red, permitirá dimensionar la capacidad tecnológica del equipamiento requerido, a fin de determinar que la infraestructura tecnológica se encuentre acorde con las necesidades reales y con proyección al crecimiento institucional.

Experiencia tecnológica, Caso de éxito “Desarrollo de un centro de datos con recuperación ante desastres en una de las universidades privadas más prestigiosas de Argentina”: La Universidad Argentina de la Empresa UADE, es una institución académica superior que cuenta con un entorno tecnológico que permite a los visitantes potenciar su experiencia de forma única en Argentina. En este ecosistema, la preservación de los datos es la máxima prioridad. Es claro que cualquier contratiempo o incidente, el impacto inmediato será sobre la información académica de los alumnos. Hasta 2009, la institución contaba con dos centros de cómputos, uno ubicado en el cuarto piso de su edificio, y el otro, más pequeño, en la residencia universitaria, como contingencia. En este escenario, el equipo de Sistemas de UADE comenzó a detectar los límites de esta estructura, ante la creciente demanda. Primero evaluaron la posibilidad de arreglar lo que tenían; pero como no alcanzaba para lo que necesitaban licitaron la construcción de un centro de datos nuevo. Tomando en consideración que la tecnología es el sistema nervioso de la universidad decidieron invertir en un centro de datos que pudiera brindarles total confiabilidad. A fines de 2009 se realizó una licitación en la que se convocaron a los principales proveedores de la industria. El proceso constó de dos pliegos: uno técnico y otro económico, con el objetivo de que el equipo interno pudiera decidir bajo variables independientes. HP fue quien presentó el proyecto más integrador y acorde en la relación solución IT / presupuestos de implementación. En este punto, la asistencia técnica de

preventa y el diseño de solución profesional (Site Survey) desarrollado por sus ingenieros fue clave para optar por ellos y para garantizar el éxito del proyecto, recuerda Patricia Hall, Jefa de Sistemas de UADE [1].

II. MARCO TEÓRICO

A. Componentes y características de infraestructura para centro de datos

La moderna tecnología revoluciona nuestra era con equipos electrónicos de elevada capacidad y menor tamaño, minimizando las exigencias de espacio para su instalación y requiriendo puntuales exigencias eléctricas, ambientales y de seguridad para su óptimo funcionamiento y rendimiento. Sin embargo, esta tecnología no ha modificado el original concepto de la necesidad de crear el área especial para garantizar la seguridad y correcta operación de equipos que por sus características y tipo de información que manejan, requieren una área restringida. Llamada centro de datos, este recinto tiene su importancia ya que es el lugar en el cual se instala alta tecnología, la misma que significa una importante inversión realizada por la institución para el desarrollo y manejo de su operación.

Se entiende por infraestructura completa aquella que provee los elementos necesarios para manejar apropiadamente las diversas variables térmicas, eléctricas y de seguridad requeridas. Usualmente, la infraestructura completa se instala en un recinto completamente sellado, con su puerta de seguridad antifuego, con el piso falso, el aire acondicionado de precisión, las protecciones eléctricas primarias, el sistema de regulación y no-interrupción de energía (UPS), el sistema automático de control y extinción de incendios con gas ecológico, el control de acceso, circuito cerrado de TV, cableado de potencia con sus protecciones, gabinetes y componentes distributivos del sistema de cableado estructurado y finalmente con el sistema de monitoreo local y remoto de alarmas.

Cada componente de esta infraestructura tiene su razón de ser y el montaje de la misma garantiza confiabilidad operativa, disminución en las tasas de seguros, cumplimiento de normas internacionales exigidas por compañías auditoras, larga vida útil de los equipos, menores costos de mantenimiento, y seguridad completa al limitar y controlar el manejo solamente por personal autorizado y conocimiento inmediato de cualquier novedad presente dentro del recinto.

Las tendencias tecnológicas más importantes para los siguientes años, particularmente si implican reducción de costos, mayor eficiencia y mayor efectividad para las empresas. Además, las compañías necesitan adoptar soluciones hoy que les permitan prepararse para cualquier escenario posible y para prosperar en una economía cada vez más cambiante e impredecible. Así, HP Networking predice 5 tendencias para los siguientes 5 años: convergencia del centro de datos, virtualización del escritorio, redes inalámbricas más eficientes, redes inteligentes y proveedores de "nubes" internas para sus usuarios. En conclusión el centro de datos

convergente es la base para el futuro de las redes empresariales [2].

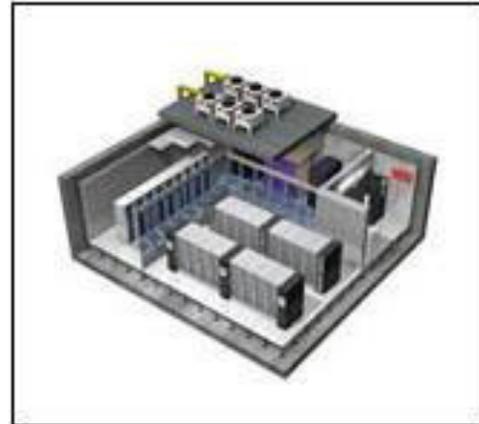


Figura 1: Data Center [3]

B. Infraestructura de red

La infraestructura de una red de datos, es la parte más importante de toda operación de un administrador de red, dado que si la estructura del medio de transporte es débil y no se la conoce, por lo tanto la red de datos no puede tener un nivel alto de confiabilidad, por lo que para tener o mejorar una infraestructura de red confiable es necesario la implementación de un sistema de cableado estructurado. En la actualidad, en el mundo de los sistemas de cableado estructurado existen diferentes tipos de servicios (voz, datos, video, monitoreo, control de dispositivos, etc.) que pueden correr sobre un mismo tipo de cableado.

Un sistema de cableado correctamente diseñado e instalado provee al usuario final una infraestructura de cableado con un desempeño predecible así como flexibilidad para acomodar crecimiento y cambio sobre un periodo extendido en el tiempo. Un cableado estructurado es muy útil para las empresas, permite ahorrar costos significativos a diferencia del cableado propietario, con el cual se tendrían que hacer grandes inversiones a mediano plazo. El cableado estructurado está diseñado específicamente para tener soluciones que puedan ser multiusuario y multiproveedor, ya que evita que el usuario dependa de una sola marca o línea de productos.

El cableado estructurado no sólo es importante dentro de las empresas o instituciones, es crítico. Las infraestructuras de este tipo de cableado son hoy el pilar básico sobre el que se cimienta la funcionalidad y rentabilidad de todo sistema de red en su conjunto. Un sistema de cableado estructurado permite integrar todas las necesidades de conectividad de una organización. Además, se instala una sola vez y puede adaptarse a cualquier aplicación (telefonía, video, y redes locales de datos) y migrar de manera transparente a nuevas topologías de red y tecnologías emergentes. Por lo tanto se puede decir que sus principales ventajas son las siguientes:

- Mejor costo-beneficio
- Ahorro para las empresas

- Soporta cualquier tipo de aplicación
- Actualizaciones mínimas
- Costos accesibles por mantenimiento
- Fácil administración

Hay muchas organizaciones en el mundo responsables de los estándares internacionales de cableado estructurado, como: ANSI American National Standard Institute, TIA Telecommunications Industry Association, EIA Electronic Industries Association, entre otras. Su propósito es formular un conjunto de reglas comunes para todos en la industria, en el caso del cableado estructurado se dispone de tres tipos principales de estándares: ANSI/TIA/EIA 568-A estándar de cableado, ANSI/TIA/EIA 569 estándar de espacios y rutas, y ANSI/TIA/EIA 606 estándar de administración del cableado [4].

La norma ANSI/TIA/EIA 568-A especifica el estándar de cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales. Describe cada una de las partes estructurales que componen este tipo de sistema de cableado. Las partes son las siguientes:

1. Entrada al edificio, es el lugar donde se recibe todos los servicios externos: telefonía, red digital de servicios integrados, video, datos etc.
2. Cuarto de equipos, es un espacio centralizado para el equipamiento de telecomunicaciones: centrales telefónicas, equipos de cómputo, conmutadores de imagen, etc., que da servicio a los usuarios en el edificio.
3. Cableado vertical, comprende la interconexión entre dos closet de telecomunicaciones, cuarto de equipos y entrada de servicios, también incluye cableado entre edificios.
4. Cuarto de telecomunicaciones, es el espacio dedicado para la instalación de los racks de comunicaciones.
5. Cableado horizontal, se define desde el área de trabajo hasta el closet de telecomunicaciones.
6. Área de trabajo WA, comprende desde la placa de pared hasta el equipo del usuario.

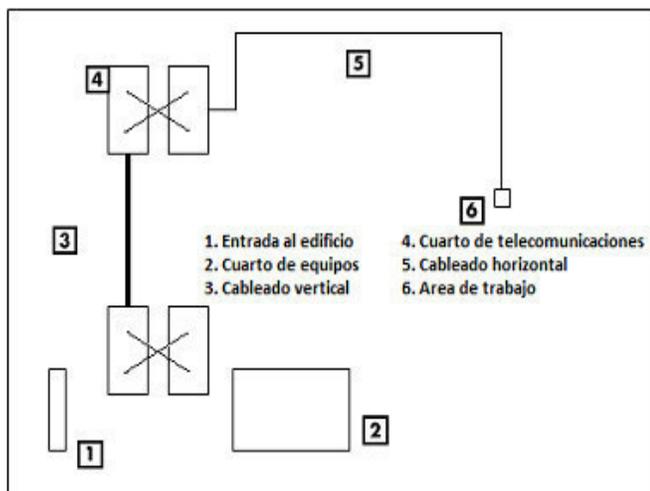


Figura 2: Subsistemas de cableado estructurado

C. Infraestructura de redes para la educación

En la actualidad las universidades en todo el mundo están implementando soluciones de infraestructura de redes poderosas a fin de generar mejores oportunidades de aprendizaje, elevar los estándares de aprendizaje, reducir costos y mejorar la seguridad. Al maximizar el rendimiento de sus redes y no sólo el de las PC individuales, las instituciones están invirtiendo en sus infraestructuras de redes de arriba abajo, implementando conexiones más rápidas y con la más alta capacidad para voz, video y datos simultáneos.

Actualmente las aplicaciones desarrolladas en las aulas requieren mayor ancho de banda, tales como complementos de aprendizaje en línea, transmisión de video en tiempo real para las computadoras de escritorio, videoconferencia para excursiones virtuales y aplicaciones de gestión de instalaciones tales como supervisión, seguridad y control de temperatura. Algunas instituciones han ido aún más lejos, implementando capacidades de última generación tales como acceso inalámbrico en todo el campus, voz sobre IP y transmisión a velocidades que están alrededor de los gigabits por segundo para las computadoras de escritorio [5].



Figura 3: Infraestructura de red para la educación [5]

D. Consultoría TIC

Las empresas que ofrecen servicios de consultoría informática brindan la orientación adecuada a sus contratantes y presentan las diversas opciones con que cuenta el mercado. Ambos, consultor y contratante, participan de la elección de las mejores opciones de software, hardware, redes y de comunicaciones que permitan el crecimiento de la empresa y su evolución tecnológica. Las necesidades del contratante, así como su presupuesto y recursos humanos, influirán de manera decisiva sobre las distintas opciones del mercado. Y la capacidad y talento del consultor informático asignado serán concluyentes sobre las decisiones que se tomen.

El consultor informático forma parte activa en la instalación, pruebas y puesta en marcha del entorno informático de la empresa. Presta los servicios de ingeniería de sistemas, de software, o soporte y mantenimiento informático, con un equipo especializado en base a los requisitos del proyecto, brinda las mejores opciones de

acuerdo a los servicios que ofrezca y exigencias de la empresa [6].

III. PROCEDIMIENTO

A. Alcance y profundidad de la consultoría

Es importante realizar un dimensionamiento mínimo de los siguientes servicios que se requieren implementar dentro de una empresa:

- Componentes de la infraestructura para centro de datos
- Infraestructura de servicios para centro de datos
- Infraestructura de red cableada e inalámbrica
- Plataforma de acceso seguro a la red y movilidad
- Plataforma de seguridad
- Plataforma para el manejo eficiente y optimización de ancho de banda
- Plataforma de telefonía IP y video conferencia

1) Componentes de la infraestructura para centro de datos

Es preciso que la empresa consultora ejecute un diagnóstico para considerar el dimensionamiento de todos los componentes de una infraestructura completa que se instalará en el centro de datos de la institución, tomando en consideración los elementos necesarios para manejar apropiadamente las diversas variables térmicas, eléctricas y de seguridad requeridas; los principales elementos a considerar en los términos de referencia son:

- Puerta de seguridad antifuego
- Piso falso
- Aire acondicionado de precisión
- Protecciones eléctricas primarias (tableros de distribución eléctrica)
- Sistema de regulación y no-interrupción de energía (UPS)
- Sistema automático de control y extinción de incendios con gas ecológico
- Control de acceso
- Circuito cerrado de TV
- Cableado de potencia con sus protecciones
- Gabinetes y componentes distributivos del sistema de cableado estructurado
- Cableado estructurado
- Sistema de monitoreo local y remoto de alarmas
- Entre otros

2) Infraestructura de servicios para centro de datos

La empresa consultora debe ejecutar un diagnóstico para considerar el dimensionamiento de los componentes de red requeridos en el centro de datos, de acuerdo a los servicios de red que se deseen implementar en la institución, los principales servicios de red demandados en una entidad educativa son:

- Servicio de directorio
- Servicio de DNS
- Servicio de DHCP

- Servicio de RADIUS para redes inalámbricas (de ser necesario)
- Servicio de políticas de dominio
- Servicio de proxy a nivel de LAN
- Servicio de almacenamiento de información
- Servicio de respaldos de información
- Servicio WEB
- Servicio de internet
- Entre otros

3) Infraestructura de red cableada e inalámbrica

Se requiere que la empresa consultora realice un diseño de la infraestructura red cableada e inalámbrica que se implementará. Infraestructura que brindará movilidad a todos los usuarios dentro de la institución y soportará el tráfico generado por los mismos.

Para el diseño del backbone de comunicaciones, es necesario que la empresa consultora considere los siguientes puntos:

- El Diseño se basará en un modelo de capas y una arquitectura orientada a servicios que permitan definir las funcionalidades de cada uno de los elementos de red.
- Definir los esquemas de redundancia que se implementarán en el backbone de comunicaciones.
- Elaborar los diagramas del diseño de la red jerárquica y segura.
- Realizar el diseño de calidad de servicio (QoS) en toda la red, manteniendo el criterio de implementar calidad de servicio de extremo a extremo.
- Dimensionar los dispositivos de capa core que serán utilizados en base a la capacidad de crecimiento que tenga la red y los niveles de conmutación que deban procesar estos dispositivos.
- Dimensionar los dispositivos de capa distribución que permitirán el acceso desde cada uno de los puntos remotos de la red hacia la capa de core.
- Dimensionar los dispositivos que se utilizarán como equipos de acceso en cada uno de los puntos remotos, tomando en consideración los servicios a ser implementados sobre la red empresarial.

En el caso de la red inalámbrica será necesario que la empresa consultora:

- Ejecute un Site Survey para poder seleccionar la ubicación y cantidad de puntos de acceso inalámbricos (access points) que se requieran para cubrir todo el campus.
- Realice un análisis en base a los resultados arrojados por el Site Survey para determinar la factibilidad de la utilización de un sistema que gestione la red inalámbrica.
- Dimensione la red inalámbrica en base a la capacidad de crecimiento y los niveles de conmutación que deban procesar los acces points.

4) *Plataforma de acceso seguro a la red y movilidad*

Para poder tener una red segura, la institución requiere que su red implemente servicios basados en identidad. Es necesario que la empresa consultora realice un análisis de los requisitos que debe cumplir la red y recomiende una solución adecuada que permita:

- Que la red pueda contar con servicios de identidad: identificar, autorizar y generar registros de las diferentes conexiones que se produzcan en la red.
- Que la red soporte servicios de movilidad a lo largo de todo el campus, manteniendo el mismo nivel de seguridad, confiabilidad y desempeño que la red cableada.

5) *Plataforma de seguridad*

Debido a las diversas amenazas de seguridad que existen en la actualidad, la institución necesita que su red cuente con una protección adecuada ante vulnerabilidades. Es imprescindible que se implemente los siguientes servicios:

- Seguridad enfocada para comunicaciones unificadas (voz y video)
- Enlaces de VPN SSL e IPsec
- Prevención de intrusos (detección y eliminación)
- Prevención de amenazas conocidas y desconocidas que están manifestando en la red, incluyendo: gusanos, negación de servicio (DoS), y ataques a las aplicaciones
- Seguridad en contenidos
- Protección y defensa contra spyware y amenazas web, controles de uso de la web como: filtrado URL, filtrado basado en reputación, filtrado de malware y controles avanzados de visibilidad de los recursos

Es obligatorio que la empresa consultora realice un análisis de las principales vulnerabilidades que pueden afectar el correcto desempeño de la red, por lo que se considera necesario recomendar la implementación de servicios adicionales que aseguren la protección de la red. La empresa consultora debe realizar:

- Análisis de seguridades en la infraestructura de la red LAN
- Esquemas de seguridad recomendados a implementar en el campus (firewall perimetrales y redundantes) (firewall internos de requerirse)
- Dimensionamiento de equipos recomendados para hacer frente a las amenazas
- Esquemas de implementación de dichos equipos

6) *Plataforma para el manejo eficiente y optimización de ancho de banda*

La empresa consultora realizará el análisis del ancho de banda del servicio de Internet y de las aplicaciones que se ejecutan en tiempo real, tales como: voz sobre IP (VoIP) y video conferencia. Además contemplará los diferentes

segmentos de red para distribución y priorización del tráfico de red.

La empresa consultora efectuará el dimensionamiento de los equipos necesarios para dicha implementación, dará recomendaciones de configuración de dichos equipos y realizará un esquema de la implementación del sistema de gestión.

7) *Plataforma de telefonía IP y video conferencia*

Los sistemas de comunicaciones unificadas prestan grandes ventajas como simplificar los procesos de negocios y reducir costos. Por lo que es imprescindible que la empresa consultora provea una solución de comunicaciones unificadas que sea capaz de prestar servicio de telefonía IP a todo el personal en el campus y que permita además la implementación de videoconferencia entre ciertos usuarios en orden de prioridad. La consultora deberá realizar al menos las siguientes actividades:

- Análisis de necesidades de los usuarios de telefonía, para poder dar recomendaciones de los servicios telefónicos que deberán ser implementados en el campus.
- Dimensionamiento de los equipos más adecuados a ser usados en la red de la institución, dentro de estos equipos: servidor de telefonía, gateways, teléfonos, entre otros.
- Diseño del esquema de telefonía IP propuesto y diagramas del mismo.
- Análisis para la implementación de video conferencia en el campus.

B. *CRITERIOS ADICIONALES*

1) *Información y facilidades que dispone la institución y que se pondrá a disposición del consultor*

La institución proporcionará a la empresa consultora la información disponible y los respectivos accesos para la realización del diseño solicitado. Los trabajos serán previamente planificados con el personal técnico del área tecnológica de la institución.

El proveedor deberá considerar para el análisis y diseño de las soluciones los lineamientos y estándares establecidos por el área técnica de la empresa contratante.

2) *Plazo de ejecución*

La consultora deberá entregar la totalidad del trabajo, materia del contrato de servicios de consultoría a través de un informe final, en el plazo de al menos un mes (30) días calendario, contados a partir del pago del anticipo. Este valor fue tomado como referencia de la contratación para la Consultoría "Estudio análisis y diseño de una arquitectura de red robusta que soporte servicios tecnológicos avanzados telecomunicaciones, interconectividad y procesamiento de datos que permita brindar apoyo tecnológico a todas las áreas del CIPCA de la UEA" [7] y de la experiencia del personal

técnico de la Unidad de Tecnologías de Información y Comunicación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

3) *Documentación a entregar*

Se detallan los documentos mínimos que la empresa consultora entregará a la institución:

- Memorias técnicas de los diseños físicos y lógicos propuestos (en magnético e impresos)
- Memoria descriptiva de los proyectos
- Especificaciones técnicas de los equipos y componentes
- Presupuesto referencial detallado, que incluya el análisis de precios unitarios

4) *Asesoría técnica especializada*

La empresa consultora deberá solventar todas las inquietudes que la Institución posea referentes a la propuesta de solución planteada; mediante visitas en sitio, soporte 5x8 vía telefónica, correo electrónico y/o mensajería instantánea; todas referentes a la consultoría realizada.

5) *Misceláneos*

La empresa consultora deberá solventar todas las inquietudes que la institución posea referentes a la propuesta de solución planteada; mediante visitas en sitio, soporte 5x8 vía telefónica, correo electrónico y/o mensajería instantánea; todas referentes a la consultoría realizada.

El oferente garantizará que los servicios prestados durante la consultoría permitan realizar una propuesta en la cual se incluyan equipos y componentes que sean de tecnología actual y cumplan normas y estándares de calidad vigentes a la fecha de presentación de la solución.

Todas las especificaciones técnicas que el oferente proponga, deberán estar debidamente referenciadas a los manuales o documentación técnica del fabricante, la referencia deberá contener número de página y párrafo donde se justifica la especificación solicitada. Toda la documentación que sustente las especificaciones técnicas debe ser pública.

La solución propuesta debe integrarse a la infraestructura actual que posee la institución.

El oferente deberá coordinar con el área tecnológica de la institución, el cronograma de actividades para la elaboración de la solución propuesta.

Los trabajos que requieran apoyo del personal de la institución, se realizarán en el horario que la institución considere apropiado y en coordinación con el área tecnológica de la entidad contratante.

La consultoría deberá incluir los lineamientos, sugerencias, diseños, especificaciones técnicas de equipos y componentes; a fin de poner en marcha e implementar la solución propuesta.

La empresa consultora deberá realizar una visita a las instalaciones de la institución con la finalidad de definir el alcance de la propuesta.

6) *Garantía técnica*

El oferente garantizará que los servicios prestados durante la consultoría permitan realizar una propuesta en la cual se incluyan equipos y componentes que sean de tecnología actual y cumplan normas y estándares de calidad vigentes a la fecha de presentación de la solución. El oferente deberá cumplir con los siguientes puntos:

- Presentar al menos tres certificados de haber realizado y/o participado en proyectos de estudios, diseño e implementaciones de infraestructura de red durante los últimos 3 años en empresas públicas o privadas ya sea a nivel nacional o internacional.
- Presentar un plan de trabajo que demuestre que ha entendido el alcance de los servicios y su metodología para lograr los resultados requeridos.
- La consultora estará en la libertad de incluir valores agregados que contribuyan a mejorar su propuesta.
- Los oferentes dispondrán de todas las herramientas e instrumentos necesarios para realizar el trabajo.
- La empresa proveedora deberá permitir que la comisión técnica nombrada para el estudio de las ofertas pueda realizar visitas a sus instalaciones.
- Deberá presentar un equipo de trabajo conformado por personal técnico certificado para la realización de la consultoría.

7) *Criterios de selección de propuestas*

Es importante especificar los criterios de selección necesarios para calificar las propuestas presentadas por los proveedores de servicios de consultoría. Los criterios de evaluación de la oferta técnica mostrados en la Tabla I, fueron tomados como referencia de la contratación para la Consultoría “Estudio análisis y diseño de una arquitectura de red robusta que soporte servicios tecnológicos avanzados telecomunicaciones, interconectividad y procesamiento de datos que permita brindar apoyo tecnológico a todas las áreas del CIPCA de la UEA”. Calificación mínima: 70 % [7].

TABLA I
CRITERIOS GENERALES DE CALIFICACIÓN

Nº	Concepto	Formulario INCOP	Puntaje
1	Experiencia General del Consultor	3	60
2	Experiencia personal técnico	5 y 6	20
3	Plan de trabajo	8	20
Total			100%

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Los términos de referencia establecidos en el presente artículo permitirán contratar los servicios de consultoría de una empresa, la misma que realizará un estudio técnico y

presentará el diseño para la implementación del centro de datos e infraestructura de red en una universidad, a fin de que la institución contratante disponga de una plataforma tecnológica moderna capaz de abastecer los servicios de red requeridos; abarcando como mínimo los siguientes parámetros:

- Dimensionamiento de la infraestructura física del centro de datos
- Dimensionamiento de la infraestructura de red
- Dimensionamiento de plataforma de acceso seguro a la red y movilidad basado en identidad
- Dimensionamiento de plataforma de seguridad perimetral
- Dimensionamiento de la plataforma de almacenamiento
- Dimensionamiento de plataforma para el manejo eficiente de ancho de banda a la Internet
- Dimensionamiento de la plataforma de video conferencia
- Análisis de la infraestructura de servidores y sugerencias de optimización
- Análisis de los servicios a ser migrados e instalados
- Dimensionamiento de la plataforma de telefonía IP
- Dimensionamiento de la red inalámbrica

V. CONCLUSIONES

Garantizar la contratación adecuada de una empresa que brinde los servicios de consultoría para la implementación del centro de datos e infraestructura de red en una universidad.

Dimensionar y disponer de una plataforma tecnológica actual que soporte los servicios de red requeridos por los usuarios de la institución, priorizando y optimizando recursos.

Disponer de documentación técnica actualizada que sirva de soporte para el análisis de la implementación de nuevos servicios de red, tomando en consideración la infraestructura tecnológica existente.

Permitir que las empresas proveedoras realicen un estudio técnico donde se referencie las soluciones integrales, el análisis de las mejores tecnologías de hardware y software, combinadas con la excelencia de sus profesionales.

Escoger la empresa consultora que obtenga el mayor puntaje de acuerdo a los criterios de selección establecidos en los términos de referencia, garantizando la implementación de una infraestructura tecnológica escalable que permita la implementación de los servicios de red que se requieran.

Disponer de una empresa que proporcione asistencia técnica especializada en sitio o remota cuando se presenten contratiempos o se generen nuevos requerimientos tecnológicos, a fin de asegurar la toma adecuada de decisiones.

REFERENCIAS

- [1]. Hewlett-Packard. Caso de éxito: Desarrollo de un centro de cómputos con recuperación ante desastres en una de las universidades privadas más prestigiosas de Argentina UADE, la información crítica en el centro. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA4-2798SPL>
- [2]. Hp Networking. Infraestructura de red: cinco tendencias para los siguientes cinco años. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://pro-networking-h17007.external.hp.com/mx/es/whatsnew/message1.aspx>
- [3]. SURGE Ingeniería Cía. Ltda. Página principal. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.surge.com.ec/>
- [4]. Wikilibros. Mejores prácticas para redes de datos: Infraestructura. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: http://es.wikibooks.org/wiki/Mejores_pr%C3%A1cticas_para_redes_de_datos/Infraestructura.
- [5]. CommScope. Soluciones de Infraestructura de Redes para la Educación. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: www.commscope.com/docs/education_brochure_es.pdf
- [6]. Fenac. Especial consultoría informática y tecnológica. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.fenac.es/wp-content/uploads/2013/06/EC-Informatica-y-Tecnologica-Junio-2013.pdf>
- [7]. Universidad Estatal Amazónica. Contratación Directa Consultoría. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=tIxnPJ_4JuQWurYvbkudwD4KC1Xdy2Xfojm6UWlnW0,
- [8]. monografias.com, Mabel Gonzales Urmachea. Redes. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.monografias.com/trabajos14/redes/redes.shtml>
- [9]. ePanorama.net. Telecommunication and Data Communication Wiring Page. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: http://www.epanorama.net/links/wire_telecom.html
- [10]. MEGAsupply. Servicios Especializados de Consultoría e Instalación. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.megasupply.com.ec/index.php/servicios>
- [11]. Schneider Electric. Soluciones para centros de datos grandes. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.apc.com/solutions/ec/1s/environments/large-data-centers/>
- [12]. Protecompu. Consultoría Data Center. Recuperado el 22 de enero de 2005 del sitio Web: <http://www.protecompu.com/index.php/servicios/consultoria>
- [13]. SURGE Ingeniería Cía. Ltda. Productos Data Center. Recuperado el 22 de enero de 2015 del sitio Web: <http://www.surge.com.ec/index.php/productos>
- [14]. Pablo Oswaldo Dávila C., Manual de Práctica Procesal de la Contratación Pública Ecuatoriana, primera edición 2013.



Espinel Patricio. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la Escuela Politécnica Nacional de Quito-Ecuador, y un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Email: gpespinel@espe.edu.ec.

Automatización del Proceso de Retro-Lavado de los Filtros de la Planta de Tratamiento de Agua e Implementación de un Sistema HMI para los Procesos de Filtrado y Retro-Lavado para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”

Washington Freire, Franklin Silva y Deivid Gaona

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga - Ecuador

wrfreire@espe.edu.ec, fmsilva@espe.edu.ec, deiv_jav@hotmail.com

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014

Resumen-- El presente artículo expone la automatización del proceso de retro-lavados de los filtros de la planta de tratamiento de agua e implementación de un sistema HMI para los procesos de filtrado y retro-lavado para la planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”. El cual tiene la finalidad de mejorar el proceso de filtrado y cambiar el sistema controlado por relés, por un control con un PLC Siemens S71200. Para reducir costos por mantenimiento y operación.

Palabras clave-- Relés de control, actuadores, Interfaz PROFIBUS, potabilización, filtración.

Abstract-- This paper presents the automation process backwashing filters of the water treatment plant and implementation of an HMI system to the processes of filtering and backwashing for the treatment plant of drinking water of the Decentralized Autonomous Municipal Government of "Lago Agrio". Which aims to improve the filtering process and change the system controlled by relays, to be controlled by a control with a Siemens PLC S71200? To reduce costs for maintenance and operation

Keywords-- Control relays, Actuators, PROFIBUS Interface, purification, filtration.

en la provincia de Sucumbíos especialmente en el cantón de “Lago Agrio”, la planta de tratamiento de agua potable no avanza a cubrir la demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades de los habitantes.

El proceso de potabilización de agua, actualmente no cuenta con un proceso eficaz, fiable y confiable de los procesos de filtrado y retro-lavado, ya que poseen un sistema manual e irregular que tiene fallas en algunos de sus procesos, en particular en el bloque de los procesos de filtrado y retro-lavado de los filtros, ambos procesos son los encargados de eliminar las impurezas, escombros y partículas dañinas que son nocivas para la salud humana.

El sistema de filtrado funciona de forma simultánea y son procesos de vital importancia que existen en el tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”.

Los objetivos del presente trabajo, son: Automatizar el proceso para disminuir los tiempos del proceso en sí, disminuir los tiempos utilizados en mantenimiento y paradas por fallas, además de modernizar los equipos y que estos sean fáciles de reemplazar en caso de falla o deterioro normal.

I. INTRODUCCIÓN

Se conoce que en la planta de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”, específicamente en el proceso de retro-lavados de filtros, pese a que se cuenta con un sistema manual del proceso, con el avance de los años no se han actualizado tuberías, la instrumentación, ni la tecnología involucrada en el proceso. Además con el crecimiento de la población

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Filtración

Es el proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido [1].

Las aplicaciones de la filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humano, tanto en la vida doméstica como de la industria general,

donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

B. Sistemas de filtración mecánica

Pasan el agua a través de diferentes materiales con el fin de retener las partículas en suspensión del agua.

Necesitan un mantenimiento constante de limpieza (al menos una vez por semana) para evitar que se depositen detritus de materia que al descomponerse provocarían compuestos tóxicos (nitritos). Material que se utiliza es lana o "Perlón", es ligero y atóxico, se puede utilizar también esponjas sintéticas.

C. Descripción del filtro de la planta

El filtro es un tanque rectangular, construido de concreto, cuya profundidad es de 4,30 m.

Cada filtro se divide en dos celdas de filtración que comparten el mismo lecho filtrante.

Éste consta de una cámara inferior, un fondo falso tipo wheeler [2], grava y el lecho filtrante que en este caso es arena, como se muestra en la Figura 1.

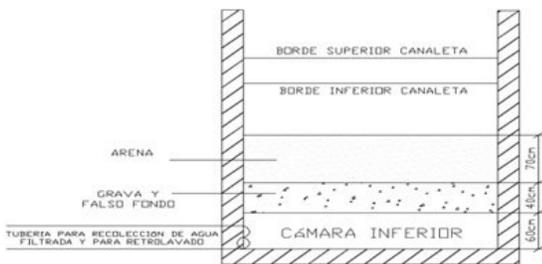


Fig. 1. Distribución de capas en el medio filtrante

D. Funcionamiento de filtración

Para el funcionamiento del filtro se requiere de tuberías que conduzcan los siguientes flujos: de ingreso del agua, de salida del agua filtrada, de retro-lavado del filtro, y de drenaje principal. Ranald V. [3]

Para el accionamiento de la apertura y cierre de las válvulas se disponen de actuadores eléctricos que permiten controlar el estado abierto o cerrado (ON /OFF) de las válvulas (tipo mariposa) ubicadas en cada una de las tuberías, permitiendo así el ingreso o no de los flujos requeridos para el funcionamiento del filtro, figura 2.

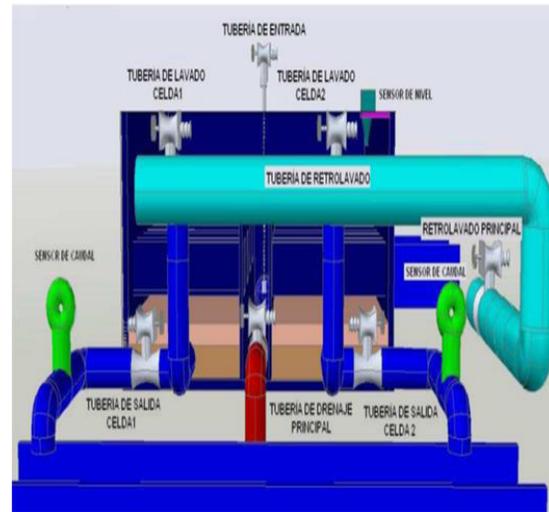


Fig. 2. Tuberías en un filtro

E. Flujo de ingreso de agua.

El agua, que se recoge de los tanques de sedimentación por medio de las flautas recolectoras, es distribuida uniformemente a cada filtro por medio de tuberías dispuestas en forma de vasos comunicantes a través de la tubería de ingreso o de entrada de agua, de tal manera que cuando ingresa el mismo líquido en los filtros interconectados entre sí. Figura 3, la altura de equilibrio alcanzada es la misma para todos los filtros. Estos poseen unas paredes que dividen ambas celdas del ingreso de agua, permitiendo así que el medio filtrante no quede expuesto constantemente al chorro del agua de ingreso.

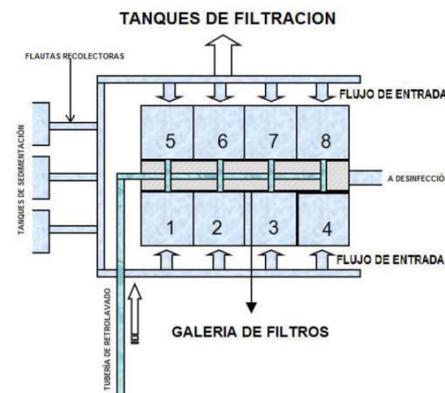


Fig. 3. Flujo de entrada

1) Flujo de salida del agua filtrada

El agua filtrada es recolectada en la cámara inferior del filtro. El flujo de salida pasa a través de una tubería de recolección del agua filtrada o tubería de salida. Como se puede apreciar en la Figura 2 existe una tubería de recolección por cada celda. El agua filtrada pasa posteriormente a ser desinfectada.

2) Flujo de retro-lavado del filtro

Este flujo viene a través de una tubería desde el tanque de almacenamiento de agua para retro lavado de filtros y se

divide en dos tuberías, una por celda, Figura 2. Éste flujo es indispensable cuando se requiere retro-lavar un filtro.

3) *Flujo de drenaje principal*

Éste es el flujo que viaja a través de la tubería de drenaje principal. Existe una tubería por filtro, Figura 2. Este flujo también es importante en la operación del retro-lavado, ya que toda el agua colmatada deberá descargarse a través de la misma.

F. *Proceso de filtración*

El proceso de filtración es simple, una vez que el filtro esté limpio, la válvula de ingreso de agua del filtro debe permanecer abierta para que el agua colmatada de los sedimentadores ingrese al mismo.

El agua que se va filtrando es recolectada en la cámara inferior, Figura 1.

Las válvulas de salida de los filtros deben estar abiertas para que el flujo ingrese a los vertederos en donde se registra el caudal de salida y luego pase al proceso de desinfección.

Las demás válvulas deben permanecer cerradas.

G. *Proceso de retro-lavados de filtros*

El retro-lavado de los filtros es una operación de mucha importancia y debe realizarse con cuidado, ya que de esto dependerá en gran parte la calidad del agua filtrada y también la vida útil del filtro. La colmatación del filtro se puede verificar mediante la visualización del tiempo de servicio del filtro o carrera del mismo, éste suele ser de 20 o 30 horas; también se puede determinar cuando el caudal a la salida del filtro es menor a 20 lts/s; o también cuando uno de los filtros se colmata.

Debido a la estructura civil y colocación de las tuberías de ingreso de agua al filtro desde los tanques de sedimentación, si uno de estos está colmatado, el nivel en los sedimentadores aumenta.

Otro factor importante para medir la colmatación de filtros es la turbiedad del agua tanto al ingreso como a la salida de los mismos.

H. *Secuencia de pasos del proceso de lavado o de retro-lavado de los filtros.*

- La válvula de retro-lavado principal debe abrirse para que ingrese el agua desde el tanque de almacenamiento para lavado de los filtros.
- Se debe cerrar la válvula de entrada para evitar que el agua sedimentada siga ingresando.
- Se debe permitir la operación de filtrado hasta que la altura del agua en el filtro disminuya a una adecuada para evitar que al inicio del lavado escape arena.

Se abre la válvula de drenaje principal.

Se procede a lavar una de las dos celdas, por ejemplo la celda uno. Se abre entonces la válvula de lavado correspondiente a la celda por un tiempo determinado, permitiendo que el agua de descarga del retro-lavado se vaya por el drenaje principal, luego se cierra la válvula de la celda uno. Después se lava de igual forma la celda dos, abriendo la válvula de lavado de la celda por un tiempo y luego se la vuelve a cerrar.

Se cierra la válvula de drenaje principal.

A continuación se sigue el siguiente procedimiento:

- Se cierra la válvula de retro-lavado principal.
- Se abre la válvula de ingreso de agua o de entrada.

Una vez que se haya registrado el valor óptimo de nivel de agua se procede a abrir las válvulas de salida del agua filtrada en ambas celdas.

III. DISEÑO Y SELECCIÓN

A. *El UPS*

El UPS se implementó debido a la necesidad que con el antiguo sistema, cuando existía cortes de energía, los procesos se quedaban en cualquier etapa y ya vuelta la energía iniciaban en etapas erróneas y a veces encendían a los motores de las bombas de retro-lavado, las cuales son 6 de 30 HP, esta impresionante carga y con corriente de arranque, sobrecargaba al generador y lo apagaba. Un dolor de cabeza para el operador, pero con este nuevo proceso se lo elimina.

La empresa opta por adquirir un UPS de 60AH, que para una corriente de carga del PLC de 400 mA es más que suficiente para el respaldo de energía hasta que el generador entre en funcionamiento.

B. *EL PLC*

Para la selección de un controlador lógico programable hay que tomar en cuenta muchos aspectos, para los cuales, en este proyecto se tomó en cuenta los siguientes:

- Agentes nocivos en el ambiente de trabajo
- Complejidad del sistema
- El número de entradas y salidas requeridas.
- Tipo de señales requeridas para el sistema (sensores, transductores, actuadores, etc.)
- Necesidad de diferentes tipos de comunicación (Ethernet, MPI, PPI, Profibus, etc.)
- Costo.

El sistema eléctrico es de gran capacidad ya que cubre un proceso de filtrado sumamente amplio con un número de 62 entradas de control y de 82 salidas. El PLC a ser seleccionado no solo cumplirá este propósito de cubrir esta demanda, sino de apoyarse con un diseño eléctrico compacto, de fácil entendimiento y confiable. Para la selección del PLC, se ha tomado ya en cuenta todos los

elementos que involucran en proceso, se deja designado la entrada y salida en el controlador y la función específica que cumple en dicho proceso. [3]

Selección del PLC: Se selecciona el PLC Siemens S7-1200 por mayor confiabilidad y por tener la comunicación Ethernet ya incluida, abaratando así el costo de los equipos para la implementación de dicha automatización.

C. Relés de control

El número de salidas necesarias para la implementación del proceso de filtrado es de 86. Esto equivale a adquirir 11 módulos de salidas digitales lo cual no sólo incrementa el costo del proyecto en una magnitud excesiva, sino que, el PLC S71200 sólo es capaz de poseer 8 módulos entre entradas y salidas por lo cual, no nos serviría este equipo y se necesitaría uno de mayor capacidad como el S7300. Se realiza un análisis del proceso y de la necesidad e importancia de las salidas necesarias para los equipos. El análisis del tablero de visualización sólo del filtro uno, es el siguiente:

Como se puede ver en la Tabla I, en el número de señal 1 y 2, una no puede actuar al mismo tiempo que la otra ya que, la válvula puede estar o sólo abierta o sólo cerrada, así que, las dos señales pueden ser reemplazadas por un relé NA/NC con el terminal común, implementando dos circuitos, para el NC estará conectado a la lámpara ROJA y el NA estará conectado a la lámpara VERDE. Esto quiere decir que, cuando la válvula esté inactiva, el PLC no enviará señal al relé, activando la luz de señalización roja por el normalmente cerrado del relé. Pero si se activa la válvula, el PLC enviará la señal de activación al relé, cambiando la señal del normalmente abierto a cerrado, activando la luz de señalización verde de este circuito, la roja se apaga. Así que por lo previsto se implementará 16 relés de control, para activar 32 señales que van al tablero de visualización, con esto es posible reducir el número de módulos del PLC, a seis, los cuales son posibles de implementar. El sistema eléctrico a implementar se vuelve más complicado, pero se abarata costos ya que los 16 relés llegan a ser más conveniente que los costos de los módulos de salidas e incluso evita la posibilidad de cambiar a un S7300, mucho más costoso para un proceso no tan complejo.

TABLA I
SEÑALES DEL FILTRO 1 EN EL TABLERO DE VISUALIZACIÓN

No. de señales	Actividad
1	Enciende la señalización verde de que está activo la válvula de agua cruda en el filtro 1
2	Enciende la señalización roja de que está inactiva la válvula de agua cruda en el filtro 1
3	Enciende la señalización verde de que está activo la válvula de agua potable en el filtro 1
4	Enciende la señalización roja de que está inactiva la válvula de agua potable en el filtro 1

5	Enciende la señalización verde de que está activo la válvula de soplado en el filtro 1
6	Enciende la señalización roja de que está inactiva la válvula de soplado en el filtro 1
7	Enciende la señalización verde de que está activo la válvula de retro lavado en el filtro 1
8	Enciende la señalización roja de que está inactiva la válvula de retro lavado en el filtro 1
9	Enciende la señalización que indica que inicio el proceso
10	Enciende la señalización de alarma de alto nivel

Así que queda establecido la necesidad de implementar en el proceso 16 relés, los cuales en los manuales de Siemens, se encuentran un modelo en especial, el relé de control 24 VDC, el cual resulta barato, y de dimensiones pequeñas lo que nos ayudaría a ahorrar espacio en el tablero de control. Además de los 16 relés de control, se adicionarán 2 más, ya que estos activarán a las bombas de retro lavado y soplado que necesitan 600 mA cada una. Como modo de protección serán direccionadas estas señales a los relés que tienen mayor capacidad que las salidas del PLC.

Número final de relés de control: 18 unidades

D. Fuente de Alimentación

Es necesario requerir de una fuente DC de 24 V ya que, las electroválvulas del sistema de filtrado son de 24 VDC. Además que se tiene planificado implementar 18 relés de control que serán de 24VDC. Para lo cual se procede a realizar el cálculo de cargas para seleccionar la capacidad de la fuente necesaria a seleccionar.

Corriente absorbida por los relés de control sería:

$$I_{c1} = 60 \text{ mA} \cdot 18 = 1.08 \text{ A}$$

Solenoides de electroválvulas activos:

A pesar de ser 48 solenoides de las electroválvulas, sólo permanecen activas al mismo tiempo 6, así que el valor de corriente de las electroválvulas es:

$$I_{c2} = 6 \times 120 \text{ mA} = 720 \text{ mA}$$

En la tabla II los valores quedan especificados de la siguiente forma:

TABLA II
CARGAS CONECTADAS A LA FUENTE LOGO

Descripción	Carga
KTP600	400 mA
Switch Ethernet	220 mA
Relés de control	1.08 A
Electroválvulas	0.72 A
Total	2.42 A

La suma total de todas las cargas que irán conectadas a la fuente de 24 VDC es de 2.42 A. Éste es el valor máximo de cargas en DC que se necesita. En stock de la marca SIEMENS, tenemos una fuente LOGO de 2.5 A, la cual será seleccionada para el diseño e implementación de este equipo.

E. Protección principal

El disyuntor bipolar de 10 A, se escoge del siguiente calculo eléctrico:

$$I_T = I_{\text{controlador}} + I_{\text{Relés}} + I_{\text{Fuente}} + I_{\text{Contactores}}$$

La corriente de los módulos, es tomada del mismo PLC S71214 así que se excluye, además que, la corriente del Switch y del KTP600 es tomada de la fuente logo, así que también no se toma en cuenta. La corriente total absorbida por los controladores es de: 400 mA

Corriente absorbida por el relé de nivel según el manual de siemens es:

$$I_{c3} = 80 \text{ mA} * 12 = 0.96 \text{ A}$$

La carga de seis bobinas de contactores que activan a seis motores de 60 HP para las tres bombas de retro-lavado, una bomba de agua cruda, una de agua potable y un compresor tienen una carga AC de:

$$I_{c4} = 500 \text{ mA} * 6 = 3 \text{ A}$$

La carga de la fuente logo máxima según el manual de las características de la FUENTE LOGO SIEMENS es de:

$$I_{c5} = 1.22 \text{ A}$$

TABLA III
CARGAS CONECTADAS A LA RED DE ALIMENTACIÓN

Descripción	Carga
CPU S71214	400 mA
Relés de nivel	0.96 A
Fuente Logo	1.22 A
Contactores bombas	3 A
Total	5.58 A

Reemplazando en la Ecuación 2.8 se tiene el resultado final de:

$$I_T = 0.4 \text{ A} + 0.96 \text{ A} + 1.22 \text{ A} + 3 \text{ A} = 5.58 \text{ A}$$

Se escoge la protección principal con un disyuntor de 10 A bipolar, por las cargas existentes en el sistema AC.

F. Protección de cargas DC

Se escoge un fusible de 5 A de activación rápida, para proteger las cargas en el circuito DC después de la salida de la fuente LOGO. Se estipula este valor debido a que, la carga en DC es de 2.4 A, y se encuentra en el mercado esta protección después de 2 A.

G. Protección del PLC

Se escoge un fusible de 1 A de activación rápida para proteger al PLC S71200, según el manual, la carga existente es de 400 mA, por lo que se encuentra en el mercado un fusible de 1 A.

H. Protección del UPS

El UPS dispone de una batería de 60 AH, cuando se descarga casi en su totalidad mide una corriente de 6 A para cargarse en medio minuto, después baja a 1 A al estar cargada totalmente.

De acuerdo a esto, se coloca una protección de disyuntor de 10 A, por posibles cortocircuitos.

IV. IMPLEMENTACIÓN

A. Estructura del programa

El proceso de filtrado de agua potable está compuesto en etapas, las cuales, son las mismas para cada uno de los seis filtros existentes.

Las etapas del proceso de filtración son:

- Llenado del filtro.
- Señal de inicio del proceso de filtro por el nivel de agua.
- Cierre de dosificación de agua cruda
- Cierre de dosificación de agua potable
- Apertura de aire a presión
- Apertura del retro lavado con agua potable
- Apertura de la dosificación del agua potable
- Apertura de la dosificación del agua cruda

Además que posee un sistema de alarmas del proceso de filtrado:

- Alto nivel de llenado de filtro
- Sobrecarga en motores de retro lavado
- Sobrecarga en el compresor
- Falla de válvulas de cada ciclo

B. Introducción a la programación del proceso de filtrado

TABLA IV
INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO

No.	Etapas	Descripción
-----	--------	-------------

-	Fin de llenado o fin de tiempo de llenado	El agua cruda alimenta al filtro hasta que llega al nivel de llenado. De no llegar al nivel de llenado, existe otra activación del proceso por medio de un temporizador de llenado el cual está configurado por horas, y activa el inicio del proceso.
0	Inicio del proceso	Da la señal el sensor de nivel, aparecen las condiciones iniciales como: Prioridad de filtro, Modo manual o automático, Válvulas en condiciones iniciales, De estar todo correcto inicia el ciclo
I	Cierre de la válvula de agua cruda	Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua cruda, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa, caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso
II	Cierre de la válvula de agua potable	Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua potable, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa, caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso.
III	Apertura del soplado	Después del tiempo de la etapa IV, se abre la válvula de soplado, confirmado con el sensor de posición que está completamente abierto, se envía una orden para encender el motor del compresor. Cada 3 minutos la válvula de soplado se cierra 2 segundos y después se abre, esto se realiza, para enviar pulsos fuertes de aire a presión y mejore el soplado en el filtro. Culminado el tiempo de soplado se cierra la válvula de soplado y cuando llega la confirmación del sensor de posición que está totalmente cerrada la válvula, hay un tiempo de espera para la siguiente etapa.
IV	Ciclo de retro lavado	Después del tiempo de espera del soplado, se apertura la válvula de retro lavado. Confirmada la orden de que la válvula está abierta en su totalidad, se enciende secuencialmente en un periodo de tiempo, los tres motores de las bombas de lavado. Culminado el tiempo de lavado, se cierra la válvula de retro lavado y después de confirmar que está cerrada, se activa un tiempo de espera para el siguiente proceso.
V	Apertura de agua potable	Después del tiempo de la etapa VI, se abre la válvula de agua potable y registrado que la válvula está abierta se espera dos opciones: Culminación del tiempo, Bajo nivel en el filtro De cumplirse uno de los dos se termina el proceso y se espera un tiempo determinado.
VI	Apertura de agua cruda	Después del tiempo de la etapa VII, se abre la válvula de agua cruda, se verifica las condiciones iniciales y se culmina el proceso.

C. Entorno de programación

El entorno de programación usado para comunicar el PLC y HMI fue el software STEP 7 BASIC 11.0 tanto para la configuración del dispositivo HMI como para la configuración del PLC.

D. Alarmas

Las alarmas que fueron programadas son:

- Por sobrecarga o no arranque del motor del soplador
- Por sobrecarga o no arranque del motor de las bombas de retro lavado
- Alto nivel de agua en filtro, del 1 al 6 (6 alarmas)
- Bajo nivel de agua en el tanque de reserva.
- No activación de cada uno de los sensores de posición de las electroválvulas que activan los procesos, es decir, de agua cruda son dos, una abierta y otra cerrada, de agua potable dos, de retro lavado son dos y de soplado son dos, que serían en total de ocho alarmas por cada filtro, al ser seis filtros suma el total de 48 alarmas. Cada alarma viene numerada e identifica el problema de no funcionar una electroválvula garantizando así el buen funcionamiento del sistema.

E. Montaje de Dispositivos Eléctricos

En el montaje del tablero eléctrico, se utilizó todos los elementos necesarios que fueron diseñados anteriormente. Cada elemento ocupó el lugar el cual fue designado en el plano físico ya diseñado anteriormente. Para lo cual se tuvo que adquirir un gabinete de 100 cm x 80 cm x 40 cm en el cual estarán instalados todos los elementos de control del proceso. La apariencia física del tablero antes de la instalación, se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Tablero de control en pleno proceso de constitución

Tabla V
Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control

No.	Elementos	Designación	Datos Técnicos
1	Disyuntor	F1	10 A bipolar
1	Disyuntor	F10	10 A bipolar
1	Fusible	F2	5:00 AM
1	Fusible	F3	5:00 AM
18	Relés de Control	C1, ...C18	1NA/1NC bobina 24VDC
8	Relés configurable a sensor de nivel SIEMENS	LS1...LS8	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
4	Relés configurable a sensor de nivel	LS9...LS12	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
1	Fuente de alimentación LOGO	T1	240V/24 VDC 2.5 A
1	Controlador SIEMENS	PLC	S71214 AC/DC/DC 12 entradas, 8 salidas
6	Módulos de expansión salidas	SB3...SB8	Relay 8 salidas
1	Módulo de expansión	SB1	DC/DC 16 DI/16DQ

1	Switch Ethernet industrial	-	4 puertos, 24VDC
1	UPS		60 VA, entrada 120VAC salida 24VDC

V. ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

Se analizarán los resultados obtenidos durante el proceso de desarrollo del proyecto de titulación enfocando dicho análisis a pruebas sobre los dispositivos implementados.

A. Pruebas de Conexiones Eléctricas

Después de las conexiones se realizó las pruebas eléctricas, como son pruebas de cortocircuito y conexiones a tierra de los actuadores, como son protecciones y corrientes de fuga respectivamente.

Se revisó el cableado de control y todas las posibles fallas existentes.

B. Pruebas de funcionamiento del PLC Y HMI

Con la seguridad de tener un programa confiable por la simulación del accionamiento, antes de armarlo, se energizó a la máquina, se revisó todas las señales de los sensores de nivel, finales de carrera, elementos de sobrecarga y cortocircuito, etc. Se verificó si existía comunicación entre el HMI - PLC, por medio de señales de control del HMI y accionamientos de todos los elementos por medio de los botones y controles virtuales que ofrece la pantalla táctil ya programada. [5]

Las pruebas de funcionamiento se relacionaron con los siguientes aspectos:

- Correcta recepción de datos de los sensores
Las señales son sincronizadas y monitoreadas por medio del programa STEP 7 BASIC V 10.5 la cual se puede visualizar poco a poco que todos los sensores de posición están correctamente conectados y responden al cambio físico en un tiempo estimado de 0,5 seg. El tiempo es suficiente para que el proceso se ponga en marcha.

- Funcionamiento de los actuadores
El funcionamiento de los actuadores se realiza por medio de las salidas Q0.0 hasta el Q3.7, gobernando en mayor medida este proceso las válvulas de cierre y apertura. El gobierno por medio del PLC y de los relés de control es fácilmente identificado por medio de señales luminosas.

- Funcionamiento completo del sistema en manual y automático

En manual, se pone en funcionamiento al proceso por los siguientes pasos:

- 1) Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.

- 2) En la ventana de operaciones se escoge la opción manual, inmediatamente se abre un panel donde se muestran los botones de FILTROS.

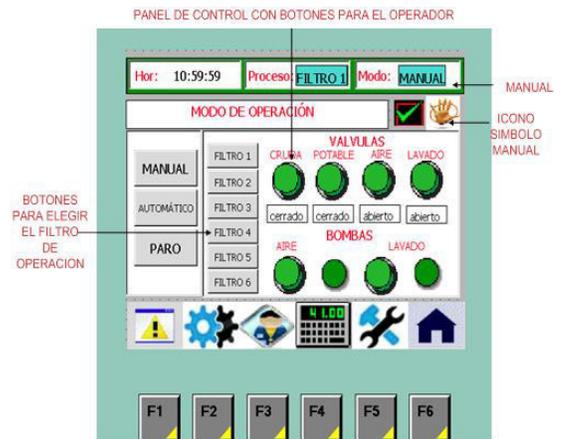


Fig. 5. Panel de control en MANUAL



Fig. 6. Panel de control en AUNTOMÁTICO



Fig. 7. Panel de control del HMI

- 3) Se escoge el número del filtro que se desee.
- 4) Ya escogido el filtro, aparecerá el icono de filtro en la barra de estado, y se podrá comandar con los botones de agua cruda, potable, retro lavado y soplado, para abrir y cerrar las válvulas que requieren en el proceso.
- 5) Para cada actividad también se deberá activar el botón de bomba de retro-lavado y de soplado para activar a dichas bombas.

- 6) La simulación del proceso podrá ser vista en la ventana del operador. En automático:
 - a) Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.
 - b) En la ventana de operaciones se escoge la opción automático, e inmediatamente, aparecerá un ícono de una flecha e incluso en la barra de estado la opción automática, ya estando así, todo el proceso será autónomo y funcionará dependiendo de las condiciones del proceso.
 - c) Para parar el proceso en la ventana de operaciones se escoge la opción PARO y se detendrá todo el proceso.

- Calibración de tiempos de operación del proceso de filtrado.

Ya implementado el proceso de filtrado fue conveniente realizar una calibración de los tiempos de soplado y retro lavado para mejorar el filtrado del agua, y reducir tiempos de operación, para lo cual, se realizó algunas pruebas de funcionamiento dándonos los siguientes resultados.

C. Análisis de resultados

- Durante las pruebas de cortocircuito se comprobó que las protecciones instaladas cumplieron su función durante la operación fuera de los parámetros diseñados de los dispositivos.
- También se comprobó que no hubo corrientes de fuga en los actuadores durante las pruebas de conexión a tierra.
- Las pruebas de funcionamiento y conexión entre el PLC-HMI fueron correctas ya que durante las pruebas de filtrado la operación se realizó según los parámetros establecidos.
- Se mejoraron los tiempos de funcionamiento del proceso gracias a las pruebas realizadas, calibrando en cada una de éstas hasta obtener el valor más óptimo para el sistema.

VI. CONCLUSIONES

Se comprobó que el sistema registra datos, eventos y alarmas de manera automática y rápida a través de la red de campo implementada en la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de "LAGO AGRIO".

El proceso de la Planta de tratamiento de agua potable se modificó con lo más actual del mercado ya que era controlado por relés de tecnología discontinuada y los cuales también ya están fuera del mercado y pasó a ser controlado por un PLC Siemens S71200 y relés actuales de fácil reemplazo.

Se mejoraron considerablemente los tiempos de mantenimiento ya que antes era demasiado difícil encontrar la falla en el sistema debido a la gran cantidad de relés que controlaban el proceso y ahora todo es controlado por el PLC.

Se optimizó los tiempos de operación de la Planta de tratamiento de agua potable gracias al control total por medio del PLC y por ende se redujeron costos de energía al disminuir el tiempo de operación de los motores tanto de bombeo de agua como los motores de compresión de aire y sopladores en aproximadamente 30 horas al mes.

Se consiguió que el lavado sea adecuado evitando considerablemente el escape de la capa de arena del lecho filtrante y mejorando la vida útil del mismo.

Mediante la implementación del sistema se consiguió a más de la estandarización del proceso de lavado de filtros, un aumento en la eficiencia, reducción en los costos de operación y por ende aumento de la producción, posibilitando que la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de "LAGO AGRIO" brinde servicio de calidad a más usuarios.

REFERENCIAS

- [1] R. L. M., Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales 1990, Barcelona: Productiva, 1990.
- [2] d. eLECTRIC, «Manual de tratamiento del agua potable GAD de Lago Agrio,» GAD Lago Agrio, Nueva Loja (Lago Agrio), 2000.
- [3] R. V. Giles, Mecánica de fluidos e hidráulica, Barcelona: McGraw Hill, 1994.
- [4] E. Degree, «[http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31concepto-plccontrolador-logico-programable/.](http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31concepto-plccontrolador-logico-programable/)» 31 Enero 2011. [En línea]. Available: [http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31concepto-plccontrolador-logico-programable/.](http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31concepto-plccontrolador-logico-programable/) [Último acceso: 24 marzo 2012].
- [5] B. C. y. O., «Diseño e implementación de un sistema automático para la estación de bombeo de agua potable,» EMAP-Q, Quito, 1995.

Especificaciones Formales de Sistemas de Información usando Notación Z

Gonzalo Patricio Espinel Mena

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

gpespinel@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen— El objetivo de este artículo es proporcionar una visión general de la notación formal Z ofreciendo un panorama del uso de la notación formal Z para la especificación de sistemas de software mediante modelos, describiendo su definición, evolución, representación, la estructura de una especificación en Z y un resumen de la simbología utilizada. La estructura de una especificación se basa en la presentada por el profesor Ignacio Trejos en su artículo “Especificación de software mediante modelos: la notación Z”.

Se da un ejemplo básico de su utilización en la descripción de un pequeño sistema de información, en orden creciente de complejidad, presentando un conjunto de requisitos informales de un dominio y mostrando una o varias alternativas para formalizarlos; primero se presenta los requisitos informales y luego la o las alternativas de especificación. El ejemplo se fundamenta en el expuesto por el profesor Maximiliano Cristiá en su apunte de clase “Introducción a la notación Z”.

Palabras claves— Métodos formales, especificación informal, especificación formal, CICS, notación Z.

Abstract— The aim of this article is to provide an overview of the Z formal notation offering an overview of the use of the Z formal notation for the specification of software systems using models, describing its definition, evolution, representation, the structure of a Z specification and a summary of the symbols used. The structure of a specification is based on the one presented by Professor Ignacio Trejos in his article "Software Specification by models: the notation Z".

It gives a basic example of its use in the description of a small information system, in increasing order of complexity, presenting a set of informal requirements of a domain and showing one or more alternatives to formalize, first informal requirements will be presented and then the substitute specification. The example is based on the stated by Professor Maximilian point Cristiá in class "Introduction to the Z notation".

Keywords— Formal methods, informal specification, formal specification, CICS, Z notation.

I. INTRODUCCIÓN

Los métodos formales surgieron como puntos de vista analíticos con los que es posible verificar el desarrollo de sistemas mediante la lógica y las matemáticas, lo que aporta grandes ventajas para mejorar la calidad de los programas y por tanto la Ingeniería de Software. En este campo del

conocimiento, la especificación formal es una de las más importantes fases del ciclo de vida, labor que requiere mucho cuidado ya que su función es garantizar que tanto el funcionamiento como el desempeño del programa sean correctos, bajo cualquier situación [1].

La especificación formal mediante modelos consiste en formular cuáles son los componentes y las propiedades de un artefacto informático en términos de las abstracciones desarrolladas por los matemáticos durante siglos (conjuntos, relaciones, funciones, secuencias, etc.). Los modelos son por necesidad una abstracción de la realidad que está siendo modelada.

En la experiencia de quienes han realizado especificaciones formales, el principal beneficio del proceso de formalización es que conlleva una mejor comprensión del objeto que se especifica, pues nos vemos forzados a ser precisos y abstractos al describir las propiedades deseadas del sistema.

Actualmente los métodos formales se están empleando con éxito en diversas etapas del proceso de desarrollo de software. En el futuro, los métodos formales deberían estar presentes como principios esenciales en el desarrollo de software, ya que se convierten en la base para aplicar las técnicas de prueba y, dado su principio matemático, en potencialmente automatizables [1].

Enrique Vázquez y Miguel Pérez Cerviño e Tumbeiro (2008) aplican dos métodos de desarrollo: el convencional y utilizando métodos formales en un caso práctico con el objetivo de hacer una comparación en el esfuerzo requerido y muestran también la calidad del software desarrollado con las dos metodologías. Para este caso práctico, se desarrolló un módulo del Sistema de Seguridad Compilable y se hace partiendo de los mismos requisitos que en el desarrollo convencional. La conclusión de la investigación fue que el incremento en esfuerzo para realizar el módulo resultó poco significativa, en comparación con el incremento en la calidad, el cual, si fue considerable [1].

En este apunte nos centraremos en la especificación de los requisitos de software de lo informal a lo formal, partiendo de una especificación de requisitos en lenguaje natural a una especificación en un lenguaje formal, describiendo con precisión cuáles son las necesidades del cliente que serán cubiertas por el software antes de proceder a su diseño y

construcción; tomando en consideración que las especificaciones de software se concentran en describir qué se desea, mientras que los diseños en cómo satisfacer las necesidades del cliente en términos computacionales y ergonómicos.

II. MARCO TEÓRICO

A. ¿Qué es una notación formal?

Las notaciones formales usan semánticas que han sido formalmente especificadas utilizando nociones matemáticas.

B. ¿Qué es un esquema?

Es una pieza de texto matemático que especifica algunos aspectos del sistema que se está modelando. Un esquema está compuesto por dos partes:

a) Declaraciones:

Allí se declaran algunas variables de entrada, de salida y los componentes del estado que serán modificados o consultados.

b) Predicados:

Expresan algunos requerimientos acerca de los valores de las variables.

El formato de estos esquemas es el siguiente:

Nombre del Esquema _____
Declaraciones _____
Predicados _____

C. La experiencia CICS

CICS es una de las más exitosas piezas de software en el mundo, hay más de 30.000 licencias y la mayoría de las grandes empresas del mundo la usa. CICS significa Customer Information Control System (Sistema de Control de Información del Cliente) y es una familia de productos para el procesamiento de transacciones producido por los laboratorios de IBM en Hursley Park, Reino Unido. CICS provee servicios de acceso a datos, de comunicaciones, de integridad y de seguridad. Dicho sencillamente, CICS maneja información [2].

En 1981 se inició un proyecto de investigación colaborativo entre el Programming Research Group (PRG) de la Universidad de Oxford y los laboratorios de IBM en Hursley. Estos laboratorios tienen la responsabilidad de dar mantenimiento y desarrollar el producto CICS, que es el principal manejador de transacciones en sistemas grandes de IBM. El método formal, notación Z se utilizó inicialmente en la descripción de partes de CICS y cada vez se ha ido cubriendo mayor funcionalidad. También se ha utilizado la notación Z para describir los diseños de reimplementaciones

de partes de CICS, y se lo ha complementado con el lenguaje de Dijkstra para el diseño de algoritmos.

Los resultados han sido impresionantes: CICS tenía cerca de 800.000 líneas de código. De éstas, 268.000 fueron cambiadas en el “release” 1 de la versión 3 de CICS/ESA; un 17% de ellas fue especificado/diseñado usando notación Z. La mayor parte de los problemas de lo descrito en Z fue encontrada en las inspecciones de diseño tempranas (en contraste con el 83% restante). Además, las partes especificadas originalmente en Z han mostrado tener 2.5 veces menos problemas reportados por los usuarios de CICS después de 2.5 años de uso.

La Universidad de Oxford e IBM obtuvieron el prestigioso premio de la Reina a la excelencia tecnológica, por el desarrollo y uso de los métodos formales en CICS. La colaboración entre IBM y Oxford ha sido el principal estímulo para el desarrollo de la notación Z y las teorías del refinamiento de datos.

D. La notación Z

Es una notación para especificar formalmente los requerimientos del usuario. Utiliza conceptos basados en la teoría de conjuntos y la lógica matemática. Permite razonar acerca de las propiedades de los sistemas. Su mayor beneficio es la precisión y la especificación abstracta del estado estático del sistema y sus operaciones.

La notación Z provee el mecanismo lingüístico de los esquemas para facilitar la descomposición y descripción por partes de los sistemas. Los esquemas constan de dos partes: la declaración y el predicado (opcional), se asemejan a los registros de los lenguajes de programación, pues permiten agrupar elementos de datos y darles nombre heterogéneos en una misma estructura. El predicado puede restringir los valores que toman los componentes declarados dentro del esquema.

En Z, los esquemas son utilizados para describir tanto los aspectos estáticos y dinámicos de un sistema. Los aspectos estáticos incluyen: los estados posibles del sistema, así como las relaciones invariantes entre los componentes de los estados que se consideran como válidos en la descripción. Los aspectos dinámicos incluyen: las operaciones posibles sobre los estados del sistema, en ellas se describen las relaciones entre entradas y salidas, así como los cambios que pueden sucederle al estado del sistema [3].

Además los esquemas en Z pueden ser usados para describir propiedades del sistema y para razonar acerca de posibles refinamientos de un diseño. Z cuenta con un sublenguaje que permite combinar esquemas, esto posibilita la descripción paso a paso de un sistema complejo.

La notación Z, entonces, es un lenguaje matemático con un poderoso mecanismo de estructuración. En combinación con el lenguaje natural, puede ser usado para producir especificaciones formales. Podemos razonar acerca de estas especificaciones usando técnicas de demostración de la lógica matemática. Podemos, además, refinar la especificación, produciendo otra descripción que se acerque al código ejecutable [2].

E. Estructura de una especificación en Z

Un documento escrito utilizando notación Z es una combinación de texto matemático y prosa en lenguaje natural. No hay un estilo estándar para presentar las especificaciones, pero hay guías estándar para estructurar las especificaciones. Típicamente se utiliza notación Z para describir el comportamiento de un sistema bajo la acción de varias operaciones.

Z únicamente impone la restricción de declarar una entidad antes de utilizarla. Las partes principales de un documento se muestran seguidamente; nótese que uno puede usar cualquiera de las construcciones en el orden deseado por el especificador.

Tabla I
PARTES PRINCIPALES DE UN DOCUMENTO EN Z

Conjuntos dados	[PACIENTE, DOCTOR]
Variables globales	max_pacientes : \mathbb{N}
Restricciones	max_pacientes \geq 1000
Datos del estado	<p style="text-align: center;">Consultorio</p> <p>pac : \mathbb{P} PACIENTE doc : \mathbb{P} DOCTOR reg : PACIENTE \leftrightarrow DOCTOR</p> <hr/> <p># pac \leq max_pacientes dom reg = pac ran reg = doc</p>
Operaciones sobre el estado	<p style="text-align: center;">Agregue_Paciente</p> <p>Consultorio Consultorio' nuevo_pac? : PACIENTE doctor? : DOCTOR</p> <hr/> <p>reg' = reg \cup { nuevo_pac? \mapsto doctor? }</p>

a) Conjuntos dados

Z trae como dado únicamente el tipo de los enteros, \mathbb{Z} . El especificador puede manejar los conjuntos dados para mencionar aquellas colecciones de objetos que se desean utilizar, pero cuyos valores y/o estructura no es necesario describir (en el nivel de abstracción escogido por el especificador). Arriba, por ejemplo, se dice que se tendrán dos entidades distintas DOCTOR y PACIENTE, pero no se da ninguna información más acerca de sus características.

b) Variables

Una variable es un valor al cual se le ha dado un nombre. Las variables en Z tienen alcance, que comprende el resto del documento, a partir de su declaración. Todas las variables

deben ser declaradas. La declaración introduce el nombre de la variable (un identificador) y la clase de valores que puede tomar (un tipo, o un subconjunto de un tipo). Puede declararse listas de variables de un mismo tipo, separándolas mediante comas.

c) Restricciones

Una restricción es una condición que desea imponerse sobre algunos valores de datos. Las restricciones son predicados.

d) Esquemas - descripción de estados

Los datos de estado son elementos de datos agrupados e identificados mediante un nombre. La construcción para agrupar se denomina esquema en Z. El esquema incluye una parte de declaraciones sobre la raya horizontal y tiene opcionalmente un predicado (el invariante del estado) que restringe los valores de los elementos de datos que componen el estado.

Los elementos de datos tienen un alcance local. En la tabla arriba; pac, doc y reg sólo son conocidos dentro de Consultorio.

e) Esquemas - descripción de operaciones

También se utiliza esquemas para describir operaciones sobre el estado. La convención es usar dos estados para describir el efecto de la operación; en la Tabla 1, Consultorio describe el estado antes de la operación y Consultorio' al estado después de la operación. Se declara mediante? las variables que son parámetros de entrada de una operación, y mediante ! las variables que son parámetros de salida (resultados) de la operación.

Las operaciones estarán descritas por tres variedades de esquemas:

- Operación parcial “correcta”, la operación se ejecuta sin ocurrir ningún error.
- Operación parcial “error”, se describe alguna situación de error en la operación.
- Operación total (correcta+error), corresponde a la operación que se ejecute sin error alguno, o bien, se dio algún error.

Se supone que las operaciones descritas mediante esquemas son atómicas (en el nivel de abstracción seleccionado por el especificador) [4].

F. Simbología utilizada por Z:

a) Convenciones:

- a,b identificadores
- d,e declaraciones (ej., a:A;b,...:B...)
- f,g funciones
- m,n números
- p,q predicados
- s,t secuencias

x,y expresiones
A,B conjuntos

N conjunto de números
Q,R relaciones
S,T esquemas
X texto de esquemas

b) *Definiciones:*

a==x definición abreviada
a::=bl... definición de un tipo de datos
[a] introducción de un conjunto dado
a_ operador prefijo
_a operador postfijo
a operador infijo

c) *Lógica:*

$\neg p$ negación lógica
 $p \wedge q$ conjunción lógica
 $p \vee q$ disyunción lógica
 $p \Rightarrow q$ implicación lógica ($\neg p \vee q$)
 $p \Leftrightarrow q$ equivalencia lógica ($p \Rightarrow q \wedge q \Rightarrow p$)
 $\forall X \bullet q$ cuantificador universal
 $\exists X \bullet q$ cuantificador existencial
 $\exists! X \bullet q$ cuantificador existencial único

d) *Conjuntos y expresiones:*

$x=y$ igualdad de expresiones
 $x \neq y$ desigualdad de expresiones ($\neg (x=y)$)
 $x \in A$ miembro de un conjunto
 $x \notin A$ no miembro de un conjunto
 \emptyset conjunto vacío
 $A \subseteq B$ inclusión de conjuntos
 $A \subset B$ inclusión estricta de conjuntos
 $\{x,y,\dots\}$ conjunto de elementos
 $\{X \bullet x\}$ comprensión de conjuntos
 $\lambda X \bullet x$ expresión Lambda - función
 $\mu X \bullet x$ expresión Mu - valor único
 $A \times B \times \dots$ producto cartesiano
 $\mathbb{P}A$ conjunto potencia (conjunto de subconjuntos)
 $\mathbb{F}A$ conjunto finito de subconjuntos
 $A \cap B$ intersección de conjuntos
 $A \cup B$ unión de conjuntos
 $A \setminus B$ diferencia de conjuntos
 $\#A$ tamaño de un conjunto finito

e) *Relaciones:*

$A \leftrightarrow B$ relación ($\mathbb{P} (A \times B)$)
 $a \mapsto b$ par ((a,b))
domR dominio de la relación
ranR rango de la relación
idA función identidad
 $Q \circ R$ composición de la relación hacia adelante

$A \triangleleft R$ restricción del dominio
 $A \triangleleft R$ anti-restricción del dominio
 $R \triangleright A$ restricción del rango
 $R \triangleright A$ anti-restricción del rango
 $R(A)$ imagen relacional
 R^n relación compuesta n veces
 $R \sim$ inversa relación (R^{-1})
 R^* clausura transitiva- reflexiva
 R^+ clausura transitiva
 $Q \oplus R$ sobreescritura relacional ($(\text{dom } R \triangleleft Q) \cup R$)

f) *Funciones:*

$A \leftrightarrow B$ relación irrestrictiva
 $A \rightarrow B$ función parcial
 $A \rightarrow B$ función total
 $A \twoheadrightarrow B$ inyectiva parcial
 $A \twoheadrightarrow B$ inyectiva total
 $A \twoheadrightarrow B$ sobreyectiva parcial
 $A \twoheadrightarrow B$ sobreyectiva total
 $A \twoheadrightarrow B$ función biyectiva
 $A \twoheadrightarrow B$ función parcial finita
 $A \twoheadrightarrow B$ función parcial finita inyectiva
 $f \ x$ aplicación de la función (o $f(x)$)

g) *Números:*

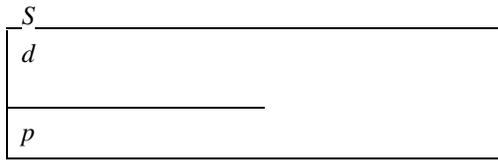
\mathbb{Z} conjunto de números enteros
 \mathbb{N} conjunto de números naturales $\{0,1,2,\dots\}$
 \mathbb{N}_1 conjunto de números naturales excepto el cero ($\mathbb{N} \setminus \{0\}$)
succ n función sucesor ($n+1$)
 $m+n$ adición
 $m-n$ sustracción
 $m * n$ multiplicación
 $m \text{ div } n$ división
 $m \bmod n$ modulo aritmético
 $m \leq n$ menor o igual que
 $m..n$ rango de números
min N número mínimo
max N número máximo

h) *Secuencias:*

seqA secuencias finitas
seq₁A secuencias finitas no vacías
iseqA secuencias inyectivas
< > secuencia vacía
<x,y,...> secuencia $\{1 \mapsto x, 2 \mapsto y, \dots\}$
 $\hat{\ } t$ concatenación
 $\hat{\ } /s$ concatenación distribuida
head s primer elemento de una secuencia
tail s todos menos el primer elemento de la secuencia
last s último elemento de la secuencia
front s todos los elementos menos el último de la secuencia
rev s secuencia reversa
 $s \upharpoonright A$ filtrado de la secuencia
 $N \upharpoonright A$ filtrado de índices de secuencias

i) *Notación de esquemas:*

Esquema Vertical:



Nuevas líneas se denotan “;” y “^”. La parte de predicados es opcional. Subsecuentemente se puede referenciar por su nombre.

Definición axiomática:



Las definiciones pueden no ser únicas. La parte de predicados es opcional. Las definiciones se aplican globalmente.

Definición Genérica:



Los parámetros genéricos son opcionales. Las definiciones pueden ser únicas y se aplican globalmente.

- $S \triangle [X]$ esquema horizontal
- $[T; \dots]$ inclusión de esquemas
- z.a selección
- $\emptyset S$ tupla de componentes
- $\neg S$ esquema de negación
- preS precondition de esquema
- $S \wedge T$ conjunción de esquemas
- $S \vee T$ disyunción de esquemas
- $S \Rightarrow T$ implicación de esquemas
- $S \Leftrightarrow T$ equivalencia de esquemas
- $S \setminus (a, \dots)$ ocultar componentes
- $S \uparrow (a, \dots)$ proyección de componentes
- $S \circ T$ composición de esquemas
- $S \gg T$ conexión entradas/salidas de esquemas
- $S[a/b, \dots]$ renombrado de los componentes de un esquema
- $\forall X \bullet S$ cuantificación universal de esquemas
- $\exists X \bullet S$ cuantificación existencial de esquemas
- $\exists! X \bullet S$ cuantificación existencial único de esquemas

Convenciones:

a? entrada a una operación

- a! salida de una operación
- a' estado del componente después de la operación
- S' estado del esquema después de la operación
- ΔS cambio en el estado
- ES no hay cambios en el estado [5]

III. PROCEDIMIENTO

A. *El entorno de funcionamiento del sistema bancario*

Antes de comenzar a modelar siempre es conveniente contar con una descripción lo más completa posible del dominio de interés donde se instalará el sistema que en definitiva se implementará. Esta descripción puede constar de gráficos, tablas y textos explicativos en su mayor parte informales.

Para describir el dominio, se recomienda usar el modelo conceptual para mantener el rastro de las características más importantes del entorno que rodea al sistema que más adelante se especificará.

Como todo sistema de cómputo o máquina de software el sistema que modela en este apunte intentará por todos los medios imitar el estado del entorno. Esto se puede explicar con el siguiente ejemplo. Un cliente del banco se acerca a una caja y solicita al cajero el depósito en su caja de ahorros de \$100. El cajero le exige la correspondiente boleta de depósito que es un formulario en papel por duplicado. El cliente entrega el dinero y la boleta. El cajero toma el dinero y la boleta; cuenta el dinero; sella el duplicado de la boleta y se lo entrega al cliente. En este momento el banco cuenta con \$100 más que debe a cierto cliente. Pero esto aún no está reflejado en el sistema. El sistema aún no sabe de esos nuevos \$100 a favor de cierto cliente. Por lo tanto, el estado del banco y el estado del sistema del banco no coinciden. Si el cajero ingresa correctamente al sistema esta nueva transacción es decir, la suma correcta a favor del cliente correcto, entonces el estado del banco y el estado de su sistema coincidirán.

B. *El estilo Z: máquinas de estados jerárquicas*

En su forma más compleja Z permite especificar máquinas jerárquicas de estados; en su forma más simple Z se usa para especificar máquinas de estados. Se asume dada y conocida la definición de máquinas de estados finitas; una máquina de estados es idéntica sólo que la cantidad de estados es potencialmente infinita.

En Z las máquinas de estados se describen a través esquemas que utilizan tanto los estados válidos de un sistema como las operaciones que afectan tales estados. En la descripción de las operaciones siempre aparece una descripción de los estados anterior y posterior a la ejecución de la operación. El resultado de la operación se describe mediante un predicado que relaciona ambos estados y los parámetros de entrada y de salida.

C. *El banco más simple*

Este es un pequeño sistema en el que cada cliente se identifica por su número de documento y puede tener sólo una caja de ahorro, que es un tipo de cuenta que no admite saldo

negativo ni se pueden cobrar cheques. No se guarda el historial de transacciones de las cajas; sólo se preserva el saldo de cada una. Los clientes sólo pueden extraer y depositar dinero en efectivo, y solicitar el saldo de su caja. Un cliente puede solicitar el cierre de su caja de ahorro sólo si su saldo es cero.

a) *Tipos elementales*

El hecho de que los clientes se identifiquen por medio de su número de documento es un dato irrelevante para el modelo. Da lo mismo que fuera su nombre, su huella digital o una fotografía. Por lo tanto, se modela ese conjunto con un tipo básico:

[DNI]

De esta forma no sabemos nada sobre la estructura de los elementos de DNI. Sin embargo, Z nos permite armar conjuntos, secuencias y otras estructuras matemáticas con ese tipo. Además podemos distinguir un elemento de otro, saber si un DNI está o no en un conjunto de DNIs, etc.

Z trae de fábrica únicamente el tipo de los enteros, \mathbb{Z} . Los naturales se pueden definir así:

$\mathbb{N} == \{n : \mathbb{Z} \cdot 0 \leq n\}$

Siempre es conveniente utilizar identificadores significativos para todos los términos formales:

DINERO == \mathbb{N}

Para describir las respuestas que dará el sistema e indicar cómo se completó cada operación invocada, se usa para el efecto un conjunto enumerado.

MENSAJES ::= ok | numeroClienteEnUso | clienteInexistente | montoNulo | noPoseeSaldoSuficiente | saldoNoNulo

b) *El estado del banco*

El espacio de estados consiste en una función parcial, en la que cada cliente sólo puede tener una caja de ahorros se intuye pensar que el banco establece una relación funcional entre clientes y cajas de ahorro. Por otro lado, si es lo único que hace el banco (tener cajas de ahorro para sus clientes), el banco lo constituyen sus clientes y sus cajas de ahorro. Por lo tanto, si un cliente se va, un nuevo cliente llega, un cliente deposita o un cliente extraer dinero de su caja, el banco cambia; no es el mismo que un instante antes: no posee la misma cantidad de dinero a favor de los mismos clientes o no tiene los mismos clientes. Eso es el conjunto de estados del banco. En Z ese conjunto se escribe así:

<p><i>Banco</i></p> <p>$ca : DNI \rightarrow DINERO$</p>

¿Por qué una función? Por lo que dijimos más arriba: hay una relación funcional entre los clientes y sus cajas de ahorro. ¿Por qué una función parcial? Porque no todos los elementos de DNI son clientes del banco. DNI representa a todos los DNIs de todos los potenciales clientes del banco, y no a todos los clientes actuales.

Se describe un posible estado inicial del banco:

<p><i>BancoInicial</i></p> <p><i>Banco</i></p> <hr/> <p>$ca = \emptyset$</p>

c) *Las operaciones*

i) *Nuevos clientes*

Un banco sin clientes no es un negocio muy rentable así que comenzamos por modelar la posibilidad de que una persona se transforme en cliente del banco. Una persona se transforma en cliente del banco sí y sólo sí posee una caja de ahorro en el banco. Por lo tanto, al mismo tiempo en que una persona se transforma en cliente del banco se le crea una caja de ahorro. El saldo inicial de la cuenta es cero.

La persona brinda su número de DNI para que sea posible crearle su caja de ahorros. Por lo tanto, es necesario que el sistema solicite el número de DNI. Si el número ya está en uso es decir, esa persona ya es cliente del banco; la operación finaliza con error, caso contrario el nuevo cliente es añadido al banco.

<p><i>NuevoClienteOk</i></p> <p>$\Delta Banco$</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p> <hr/> <p>$d? \notin \text{dom } ca$</p> <p>$ca' = ca \cup \{d? \mapsto 0\}$</p> <p>$rep! = ok$</p>
--

Ahora veamos el esquema de error de la operación NuevoCliente. Este es el caso en que el empleado del banco ingresa un número de DNI que ya está siendo utilizado.

<p><i>NuevoClienteE</i></p> <p>$\exists Banco$</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p> <hr/> <p>$d? \in \text{dom } ca$</p> <p>$rep! = \text{numeroClienteEnUso}$</p>

En consecuencia la operación total, que es la que se debe programar, queda definida de la siguiente forma:

NuevoCliente == NuevoClienteOk \vee NuevoClienteE

Las operaciones exitosas indicarán que todo terminó bien mediante un componente llamado \square rep!, que es un parámetro de resultado; mientras que los casos erróneos siempre dejan el estado sin cambios.

ii) *Depositar dinero en una caja de ahorro*

Ahora que tenemos clientes en el banco es posible que estos comiencen a realizar transacciones con sus cajas de ahorro; es decir, podrán depositar y extraer dinero y consultar el saldo. Como no se admiten cajas de ahorro en rojo, modelaremos primero la operación de depósito. Para esta operación es necesario que el empleado del banco suministre el DNI del cliente y el monto a depositar. Sólo tiene sentido depositar una cantidad no nula de dinero.

<p><i>DepositarOk</i></p> <p>ΔBanco</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$m?: DINERO$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p>
<p>$d? \in \text{dom } ca$</p> <p>$0 < m?$</p> <p>$ca' = ca \oplus \{d? \mapsto (ca \ d?) + m?\}$</p> <p>$rep! = ok$</p>

Observe cómo se accede al saldo de la cuenta antes de efectuar el depósito para luego actualizar el saldo de esa misma cuenta. Como de costumbre debemos especificar el caso erróneo. Este se da cuando $d?$ no corresponde a un cliente del banco o cuando $m?$ es nulo. Definiremos un esquema para cada error.

<p><i>DepositarE1</i></p> <p>\existsBanco</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p>
<p>$d? \notin \text{dom } ca$</p> <p>$rep! = \text{clienteInexistente}$</p>

<p><i>DepositarE2</i></p> <p>\existsBanco</p> <p>$m?: DINERO$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p>
<p>$m? \leq 0$</p> <p>$rep! = \text{montoNulo}$</p>

La operación final queda así:

$DepositarE = DepositarE1 \vee DepositarE2$

$Depositar = DepositarOk \vee DepositarE$

iii) *Extracciones limitadas por el saldo*

Es el momento de permitirles a los clientes recuperar su dinero. Al igual que Depositar, la extracción requiere la identificación del cliente y el monto que desea retirar. En este caso el monto no sólo debe ser positivo sino que también no puede superar la cantidad de dinero disponible en la caja de ahorros. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones el caso exitoso de la operación queda de la siguiente forma:

<p><i>ExtraerOk</i></p> <p>ΔBanco</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$m?: DINERO$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p>
<p>$d? \in \text{dom } ca$</p> <p>$0 < m?$</p> <p>$m? \leq ca \ d?$</p> <p>$ca' = ca \oplus \{d? \mapsto (ca \ d?) - m?\}$</p> <p>$rep! = ok$</p>

Los casos erróneos son semejantes a los de la operación anterior: el número de DNI ingresado no corresponde a un cliente del banco, el monto solicitado es negativo o mayor que el saldo disponible. Para definir los dos primeros casos usamos dos esquemas ya definidos que dicen exactamente lo mismo:

$ExtraerE1 = DepositarE1$

$ExtraerE2 = DepositarE2$

Mientras que el caso restante lo definimos de la forma usual, note que ahora sí necesitamos $d?$ pues el monto es demasiado grande respecto de una cuenta en particular:

<p><i>ExtraerE3</i></p> <p>\existsBanco</p> <p>$d? : DNI$</p> <p>$m?: DINERO$</p> <p>$rep! : MENSAJES$</p>
<p>$m? > ca \ d?$</p> <p>$d? \in \text{dom } ca$</p> <p>$rep! = \text{noPoseeSaldoSuficiente}$</p>

Finalmente, la operación se completa según el estilo Z:

$ExtraerE = ExtraerE1 \vee ExtraerE2 \vee ExtraerE3$

$Extraer = ExtraerOk \vee ExtraerE$

iv) *Extracciones limitadas por el banco*

Expresemos que el Banco establece que no es posible realizar extracciones de más de \$1000 de cualquier caja de ahorro, tenga o no saldo suficiente. Como este número es arbitrario, mañana el Banco puede bajar el límite a \$500, elevarlo a \$2000 o eliminarlo. El recurso que ofrece Z para estos casos son las declaraciones globales que pueden introducirse mediante las definiciones axiomáticas. Entonces es necesario introducir una definición axiomática para el límite a las extracciones en cajas de ahorro:

$$\frac{\text{limiteExtrCA} : \mathbb{N}}{\text{limiteExtrCA} = 1000}$$

Como las definiciones axiomáticas son objetos globales, la definición de la especificación de Extraer puede ser modificada de la siguiente manera, note que es necesario cambiar el nombre de la operación):

$$\frac{\text{ExtararCAOk} \quad \begin{array}{l} \Delta \text{Banco} \\ d? : \text{DNI} \\ m? : \text{DINERO} \\ \text{rep!} : \text{MENSAJES} \end{array}}{\begin{array}{l} d? \in \text{dom } ca \\ 0 < m? \\ m? \leq \min \{ ca \ d?, \text{limiteExtrCA} \} \\ ca' = ca \oplus \{d? \mapsto (ca \ d?) - m?\} \\ \text{rep!} = \text{ok} \end{array}}$$

v) *Solicitar el saldo*

La operación para solicitar el saldo es relativamente simple pero diferente a las demás pues no modifica el estado del banco. Simplemente se solicita la identificación del cliente y se emite el saldo de la cuenta asociada, siempre y cuando el cliente sea uno válido.

$$\frac{\text{PedirSaldoOk} \quad \begin{array}{l} \exists \text{Banco} \\ d? : \text{DNI} \\ \text{saldo!} : \text{DINERO} \\ \text{rep!} : \text{MENSAJES} \end{array}}{\begin{array}{l} d? \in \text{dom } ca \\ \text{saldo!} = ca \ d? \\ \text{rep!} = \text{ok} \end{array}}$$

Observe que se utiliza una variable de salida para comunicar el éxito o fracaso de la operación y otra para mostrar el saldo en caso de éxito. En caso de error sólo se emitirá el mensaje apropiado:

$$\begin{array}{l} \text{PedirSaldoE} = = \text{DepositarE1} \\ \text{PedirSaldo} = = \text{PedirSaldoOk} \vee \text{PedirSaldoE} \end{array}$$

vi) *Un cliente se retira del banco*

Finalmente se modela la operación que permite dar de baja un cliente. Un cliente puede ser dado de baja sólo si su saldo actual es cero.

$$\frac{\text{CerrarCajaOK} \quad \begin{array}{l} \Delta \text{Banco} \\ d? : \text{DNI} \\ \text{rep!} : \text{MENSAJES} \end{array}}{\begin{array}{l} d? \in \text{dom } ca \\ ca \ d? = 0 \\ ca' = \{d?\} \triangleleft ca \\ \text{rep!} = \text{ok} \end{array}}$$

A esta altura los esquemas de error y la definición de la operación total deberían ser simples de deducir y modelar, por lo tanto los mostramos sin más preámbulos.

$$\text{CerrarCajaE1} = = \text{DepositarE1}$$

$$\frac{\text{CerrarCajaE2} \quad \begin{array}{l} \exists \text{Banco} \\ d? : \text{DNI} \\ \text{rep!} : \text{MENSAJES} \end{array}}{\begin{array}{l} d? \in \text{dom } ca \\ ca \ d? \neq 0 \\ \text{rep!} = \text{saldoNoNulo} \end{array}}$$

$$\begin{array}{l} \text{CerrarCajaE} = = \text{CerrarCajaE1} \vee \text{CerrarCajaE2} \\ \text{CerrarCaja} = = \text{CerrarCajaOk} \vee \text{CerrarCajaE} \ [6] \end{array}$$

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez indicado el procedimiento para realizar una especificación formal de los requerimientos de un sistema utilizando la notación formal Z, manteniendo la posibilidad de ir refinando la especificación hasta acercarla al modo en que podría ser implementada en un lenguaje de programación. Se aspira obtener del lector los siguientes resultados:

- Que sea capaz de articular en un lenguaje formal dado las propiedades de un sistema expresadas informalmente.

- Que determine que el propósito de utilización de modelos es especificar la estructura o comportamiento de un sistema.
- Que concluya con una perspectiva acerca de la investigación actual en torno a la especificación formal de sistemas mediante modelos.
- Que adquiera una visión del panorama de la notación formal Z para la especificación de sistemas de software mediante modelos.
- Que se familiarice con la sintaxis y semántica del lenguaje de especificación, y pueda valorar la necesidad de especificar en un lenguaje formal un producto de software.
- Que sitúe a Z en el contexto de las notaciones útiles para la especificación de sistemas informáticos (hardware y software).
- Que conozca los elementos de la notación matemática y del lenguaje de esquemas, principal elemento estructurador de la notación.

V. CONCLUSIONES

Los métodos formales se utilizan crecientemente para el desarrollo de sistemas de alta calidad, alta integridad, alta confiabilidad o de seguridad crítica.

Los métodos formales consisten en usar la matemática para registrar tanto del desarrollo de software como resulte práctico.

Los métodos formales podrán ser herramientas abstractas y universales, pero solo son herramientas. Deben ser empleados apropiadamente para ser útiles, hay que utilizarlos para describir hasta donde sea práctico, útil y económico en el desarrollo de software.

Cuando se cuenta con una especificación formal se pueden aplicar las técnicas de demostración matemática. El diseñador de un sistema puede razonar acerca de las propiedades del sistema antes de que su desarrollo comience.

La notación Z es un lenguaje formal que tiene una semántica precisa y no ambigua, que permite registrar especificaciones de sistemas, proveyendo descripciones abstractas y simples de comportamientos y estructuras complejos.

Z consta de dos lenguajes: El lenguaje matemático, en el cual aparecen conceptos usuales en la matemática discreta: conjuntos, lógica de predicados, relaciones, funciones y otros modelos; y el lenguaje de esquemas, que facilita la estructuración de descripciones.

El campo de los métodos formales está tomando un impulso creciente. Con el objetivo de que las empresas consideren la adopción de tales métodos, es necesario que conozcan que ya hay varios casos prácticos de aplicación de los métodos formales en aplicaciones críticas y se los está comenzando a utilizar como complemento de notaciones diagramáticas más informales

REFERENCIAS

- [1]. E. Serna M. "Formal Methods and Software Engineering". Rev. Virtual Universidad Católica del Norte. N° 30, pp. 158-184. 2010.
- [2]. Jim Woodcock and Jim Davies, "Using Z: Specification, Refinement, and Proof". Prentice-Hall International Series in Computer Science, 1996.
- [3]. Spivey, J. M. 1992. "The Z Notation: A Reference Manual". 2nd. Edn. Prentice Hall International.
- [4]. Trejos. "Especificación de software mediante modelos: la notación Z". I Curso Iberoamericano de Informática, Sta. Cruz, Bolivia. 5.1995.
- [5]. Jonathan P. Bowen. "Glossary of Z notation". University of Reading, Department of Computer Science.
- [6]. Maximiliano Cristiá. "Introducción a la notación Z. Análisis de Sistemas", Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario, 4.2012.
- [7]. Serna M, Edgar, & Serna A, Alexei. "La Especificación Formal en contexto: actual y futuro". Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 22(2), 243-256. 2014.
- [8]. R. Barden, S. Stepney, D. Cooper, "Z in Practice", Prentice Hall BCS Practitioner Series, 1994.
- [9]. A. Diller. "Z - An introduction to formal methods", 2da. ed. Wiley, 1994.
- [10]. J. Jacky. "The Way of Z: Practical Programming with Formal Methods". Cambridge University Press, 1997.
- [11]. Dasso Aristides, Funes Ana. "Especificación de Requisitos: de lo Informal a lo Formal", 2010.
- [12]. C.C.Morgan, "Programming from specifications", Prentice Hall International Series in Computer Science, 1990. (2nd. ed., 1994, 1998).



Espinel Patricio. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la Escuela Politécnica Nacional de Quito-Ecuador, y un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Email: gpespinel@espe.edu.ec.

Cargador Automatizado para Baterías de Vehículos Híbridos

Germán Erazo, Miguel Ávila y Leonidas Quiroz

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

wgerazo@espe.edu.ec, migsar_1025@hotmail.com, aquiroz@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014

Resumen-- Se desarrolla la investigación previa del funcionamiento de las baterías de vehículos híbridos HV, como voltajes de operación, corriente de carga y descarga. A través de una adecuada selección de elementos eléctricos-electrónicos se construye un cargador automático que permite recargar packs de baterías y diagnosticar su estado. Se proporciona tensiones de carga controladas de 9, 12, 24, 48, 96 y 120 voltios de acuerdo a los requerimientos.

Se obtiene información de cada uno de los packs de la batería de un vehículo Toyota Highlander, definiendo las causas por las que las baterías de los vehículos híbridos pierden su capacidad de carga y su energía almacenada. Determinado el estado de la batería con el uso del cargador automatizado se procede a recuperar cada uno de los packs, acondicionándolos para que funcionen de forma óptima convirtiendo al equipo de carga en una alternativa económica para el desarrollo del mantenimiento de vehículos híbridos en el Ecuador.

Palabras clave-- Pack, Cargador automatic, batería, voltaje.

Abstract-- Previous research performance of hybrid vehicle batteries HV, as operating voltages, load current and download develops. Through proper selection of electric-electronics automatic charger that can recharge battery packs and diagnose your condition is constructed. Controlled charging voltage of 9, 12, 24, 48, 96 and 120 volts according to the requirements is provided.

Information of each battery packs a Toyota Highlander is obtained, defining the causes for which the batteries of hybrid vehicles lose their capacity and stored energy. It determined the battery status using the automated loader proceeds to retrieve each of the packs, conditioning them to function optimally cargo equipment becoming an economic alternative for the development of maintenance of hybrid vehicles in Ecuador

Keywords-- Pack, charger automatic, battery, voltage

I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en el área automotriz con aplicaciones de la electrónica cada vez son más innovadoras,

tal es el caso de los vehículos híbridos que utilizan la energía eléctrica proveniente tanto de baterías de alto voltaje, un sistema de moto - generación AC-DC y del motor de combustión interna, que en conjunto contribuyen a disminuir tanto las emisiones como el consumo de combustible.

La investigación cita contenidos relevantes a la constitución y características de las baterías de vehículos híbridos de algunos modelos.

Se describe la construcción, diseño y dimensionamiento del cargador automatizado para desarrollar el mantenimiento, recarga y diagnóstico de celdas de las baterías.

Mediante la tabulación de datos e interpretación de curvas de tendencia y comportamiento se define el estado actual y tareas tanto de mantenimiento como de reparación a desarrollar en la batería en revisión.

Finalmente se detalla las conclusiones y recomendaciones a fin de que sean utilizadas por quienes consideren la presente investigación como fuente consulta así como sus referencias bibliográficas.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

A. Batería de alta tensión

Cada marca automotriz dispone de su propio sistema de baterías híbridas, existiendo una gran particularidad en las características de funcionamiento, como son grupos de celdas, orden de conexión específico, control de temperatura y de activación de componentes de alta tensión

El Toyota Highlander cuenta con un sistema de frenado Regenerativo. Este se activa el momento de conducirlo y convierte la energía cinética (que un vehículo convencional se desperdiciaría) en energía eléctrica permitiendo de esta manera el funcionamiento del motor eléctrico. [2]

B. Estructura de la batería de alta tensión

La batería del vehículo Highlander ver figura 1, se compone de tres bloques de baterías, de 30 módulos, cada módulo consta de 8 celdas de 1,2 V en serie dando un total de 9.6 voltios por pack.

La unidad de control de la batería monitorea el voltaje por bloque en 15 lugares. Cada bloque de la batería está

compuesto de 2 módulos o packs en un conjunto, dando un voltaje nominal de 288 voltios.

[2] La batería al ser más grande y segmentada incorpora 3 ventiladores para el enfriamiento uno por cada grupo, 5 sensores de temperatura. La unidad de control de la batería contiene a los tres reles de potencia, a la resistencia y sensor de corriente.

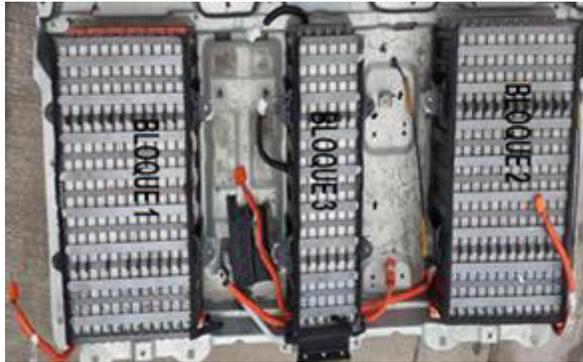


Fig. 1 Batería HV del TOYOTA HIGHLANDER.

La batería de alta tensión para el vehículo Toyota Prius [3] provee un voltaje de 220 voltios en las versiones modernas, y voltajes mayores para versiones anteriores. Este voltaje proviene de un paquete de 14 baterías en serie dispuestos así: 28 baterías pequeñas de 7,89 voltios conectadas en serie de dos en dos para formar 14 paquetes de baterías de 15,78 voltios cada una y a su vez están conectadas todos estos 14 paquetes en serie para generar un total de 220 voltios como se visualiza en la figura 2.

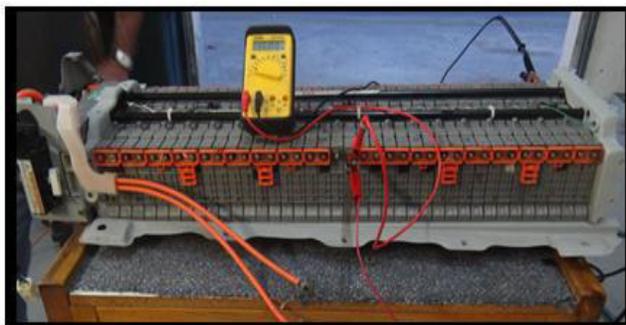


Fig.2 Batería Toyota Prius

[4] El níquel metal hidruro de baterías utilizados en Highlander Hybrid y el Lexus RX 400h está empaquetado en una carcasa de metal. Las 240 celdas entregan alta tensión de 288 voltios, pero las unidades de motor funcionan con generadores de tensión variable en cualquier lugar de 280 voltios a 650 voltios.

La batería suministra 288 voltios, el convertidor elevador, una parte del inversor, varía esto a 500 voltios. La batería proporciona la energía del 40 por ciento más que la batería del Prius, a pesar de ser un 18 por ciento más pequeña.

[5] El uso del escáner automatiz es importante para la detección de los códigos de mal funcionamiento DTC y el monitoreo de cada packs de forma individual. Cada DTC proporciona la ubicación y el problema de diagnóstico del

vehículo híbrido en la batería HV para realizar el mantenimiento y reparación.

C. *Diseño y construcción*

1) *Descripción general del sistema*

El cargador automatizado para el mantenimiento y reparación de baterías híbridas debe de ajustarse a parámetros y etapas de funcionamiento de carga y descarga.

- Es alimentado con un voltaje alterno de 220 ó 110 VAC.
- Disponer fuentes de corriente continua.
- En el proceso de carga, disponer de un limitador de corriente, reduciendo la intensidad de la misma, para elevar el rendimiento en la carga de la batería HV.
- Los elementos de medición realizan el monitoreo de la diferencia de voltaje, corriente de carga, descarga y temperatura.
- Seleccionar la operación de carga o descarga de la batería HV a través de pulsadores.
- Dispone de interruptores para el encendido de cada pantalla y el funcionamiento de cada circuito de forma independiente.
- Realiza la carga por packs como para la carga de baterías conjuntas.
- Dispone las funciones para aumentar y disminuir voltaje de 0 a 30 V.

2) *Diseño de circuitos*

El diseño de los circuitos del cargador se realizó en el software Isis Proteus el mismo que permite obtener el circuito impreso con la característica de auto ruteo.

El sensado de corriente Fig. 3, consta de un circuito amplificador que convierte el valor de corriente medido en la resistencia en voltaje para que el micro controlador lo reconozca y acondicione la señal.

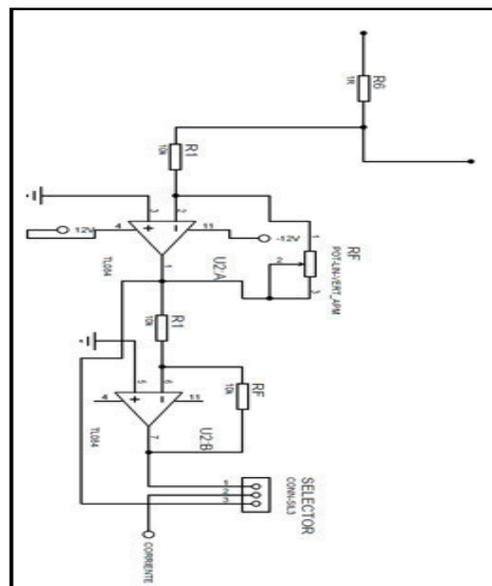


Fig. 3 Sensor de corriente

La resistencia puede variar de 0.1 a 1Ω . Con una resistencia y una corriente de R=0.5 Ω. Ic =1A respectivamente, aplicando la Ley de ohm

$$V = I \times R$$

Ec. 1 Ley de ohm

$$V = 1A \times 0.5\Omega$$

$$V = 0.5 V$$

3) *Circuito de sensado de voltaje*

El sensado de voltaje logra que la tensión de ingreso hacia el micro controlador no sea excesivo convirtiéndose en un circuito de protección Fig. 4.

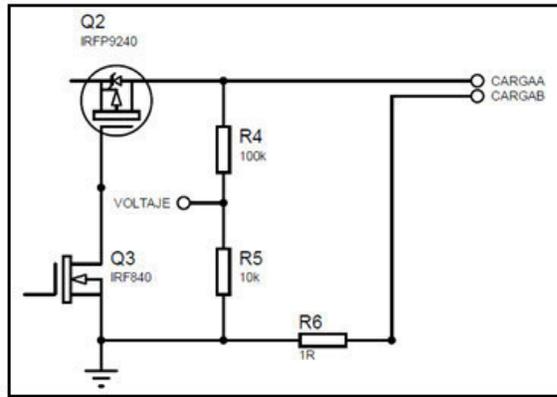


Fig. 4 Sensor de voltaje

Divisor de voltaje con señal de ingreso a micro controlador:

$$VR = \frac{V_{cc} * R}{R1 + R}$$

Ec. 2 Divisor de voltaje

$$VR = \frac{24v * 10k\Omega}{10k\Omega + 100k\Omega}$$

$$VR = 2.18v$$

El circuito de accionamiento de relés es alimentado directamente del transformador de voltaje de 220V- 12V-1A.

4) *Circuito de accionamiento de relés*

El circuito de relés Fig.5, mediante el accionamiento del pulsador activa o desactiva el circuito de carga, al momento de encender el cargador, el circuito de carga estará funcionando, pero al oprimir el pulsador los relés abren el circuito de carga y se pone en funcionamiento el circuito de descarga.

5) *Circuito conversor DC-DC*

La conversión DC-DC Fig. 6 es para obtener un voltaje más bajo según la necesidad, esta conversión se la realizó para obtener el voltaje y realzar la carga de la batería de forma controlada.

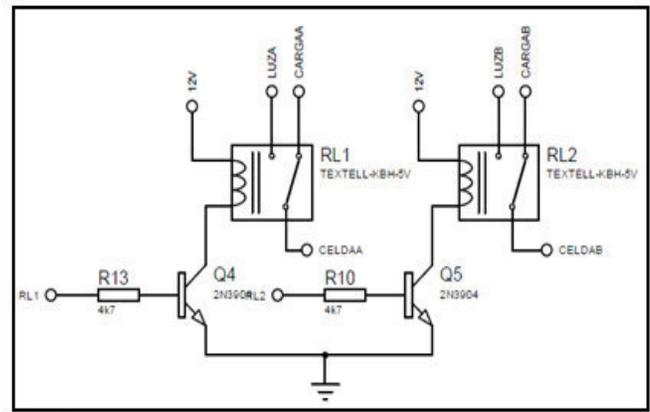


Fig. 5 Circuito de relés

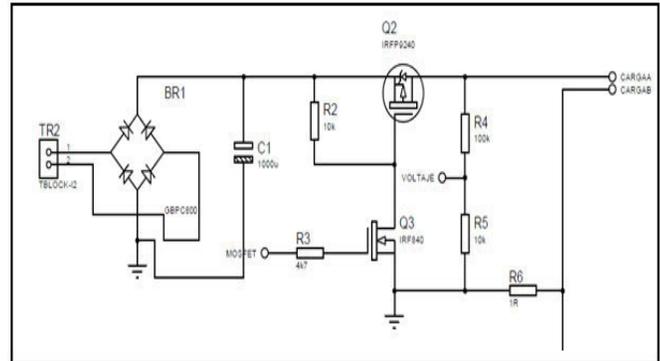


Fig. 6 Circuito conversor DC-DC

El promedio de voltaje de salida se define como:

$$V_{out} = k * V_s$$

Ec. 3 Voltaje de salida del conversor DC-DC

Donde k es el porcentaje de ancho de pulso a la carga y el voltaje de salida está en función del porcentaje K y el voltaje de entrada.

La carga está definida del 0 al 100% de voltaje de salida entregando lo necesario para cargar la celda y cortando la energía cuando esta esté en plena carga.

Relación de K 0<k<1 y con k al 50%

Remplazando valores tenemos:

$$V_{out} = 0.5 * 50V$$

$$V_{out} = 25V$$

6) *Circuito fuente de energía*

La fuente de energía Fig. 7 es de 220 ó 110 voltios, se dispone de transformadores de voltaje, cada placa se alimenta con 30 voltios para lo que es circuito de carga de forma controlada.

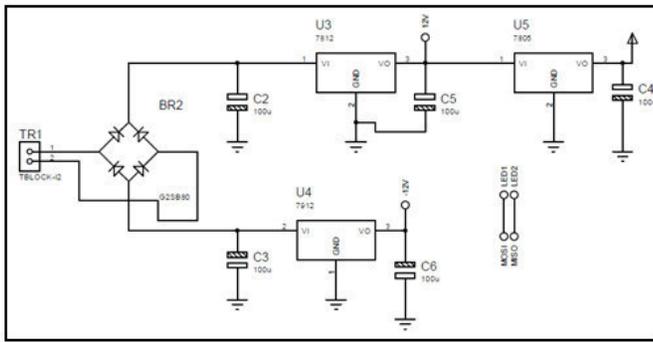


Fig.7 Fuente de energía

la corriente inicia su recorrido del positivo de la batería íbrida, dispone de tres interruptores que conmutan cinco focos halógenos con el fin de controlar el tiempo de descarga.



Fig. 9 Halógenos de 150 vatios

7) *Circuito de sensado de temperatura*

[6] El LM35 no requiere de circuitos adicionales Fig. 8 para calibrarlo externamente, la baja impedancia de salida, salida lineal hace posible que esté integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control por lo que está colocado desde la bornera de la placa, alimentado con un voltaje de 5V y ubicado directamente hacia el IRF840 para sensar la temperatura.

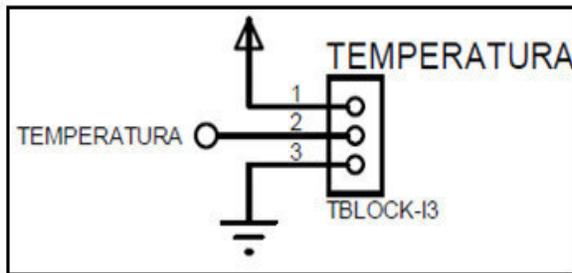


Fig. 7 Sensor de temperatura

Una vez realizado el diseño del circuito con la utilización del software Proteus, se exporta a Ares para proceder con el diseño de la placa como se presenta en la Fig. 10.

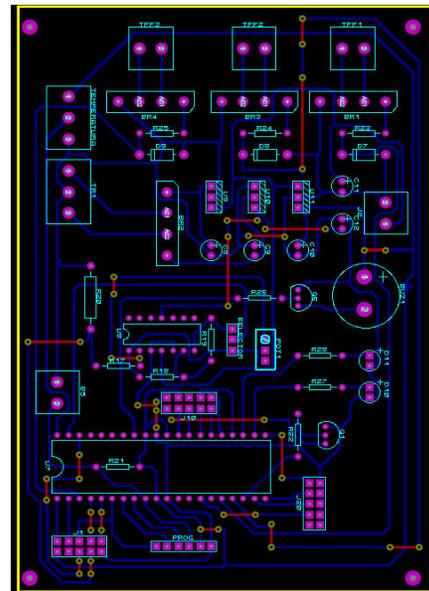


Fig. 10 Diseño de placa cargador de packs (Ares)

8) *Circuito de accionamientos de aviso*

El cargador se conformado por un buzzer y un diodo led Fig. 8. de color verde que se activan cuando la carga de la batería se encuentra completa, también consta de un diodo led color rojo que se activa cuando el circuito cambia de carga a descarga.

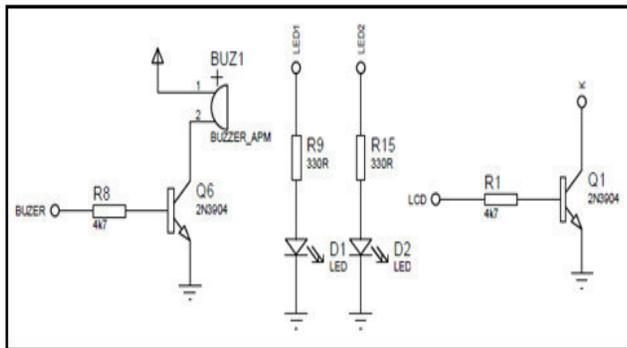


Fig. 8 Circuito de aviso

Los componentes ya elaborados se instalan en el interior del equipo Fig. 11 respetando la conexión entre las tarjetas y el banco.



Fig. 11 Conexión de tarjetas

9) *Elementos consumidores*

Se utiliza focos halógenos de 150 vatios y 35 vatios, Fig. 9 para actuar como elemento de descarga al momento de comprobar la caída de voltaje de las baterías. Para la descarga

La instalación de los transformadores de voltaje se basan en su circuito, cada placa consta de 2 transformadores, uno que

funciona con una corriente hasta de 2 A para la carga de Packs y otro de menor dimensión que maneja una corriente hasta de 0.5 A, para la alimentación de micro controlador, ventiladores, buzzer y leds Fig. 12.

Instalados todos los componentes se realizó la prueba de encendido para comprobar la efectividad de las conexiones realizadas para el posterior ensamble y desarrollo de pruebas.



Fig.12 Encendido del cargador

III. PRUEBAS Y ANÁLISIS

Para el mantenimiento y reparación de la batería HV se relaciona las caídas de tensión de cada pack, con los valores de las pruebas que se efectuó en el cargador, se analiza si la batería HV se degrado internamente o existe sulfato en las chapas de conexión. En la mayoría de los casos se debe realizar la limpieza de la chapas metálicas, el cambio de los cables de conducción eléctrica y los cables para el monitoreo de los sensores de temperatura que son un componente esencial.

A. Estado de descarga en tensión de vacío

La tensión que la batería tiene en sus terminales se denomina tensión de vacío. Las razones principales por la que la tensión de vacío disminuye es la temperatura a la que está expuesta la batería y su tiempo de vida útil.

- La variación total en vacío a 23 °C (desde plena carga hasta la descarga completa de cada módulo) es de 1,85 V, es decir aproximadamente 230mV por cada celda.

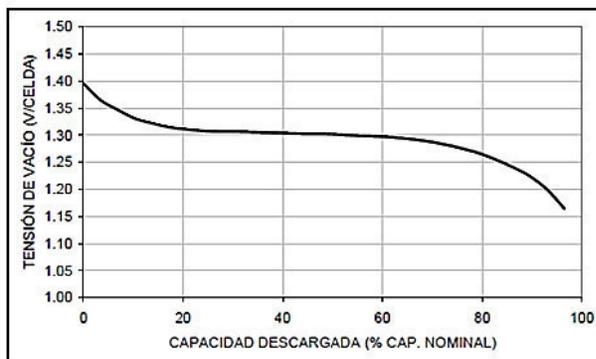


Fig. 13 Evolución de la tensión en vacío de las baterías HV a temperatura ambiente

- Las variaciones en la tensión de vacío Fig. 13 se producen al inicio (hasta un 20%) y al final de la descarga (por encima de un 60%, La variación global en estas zonas es de 215mV/celda (el 93% de la variación sufrida durante la descarga completa).
- La variación de la tensión en vacío cuando la capacidad descargada está entre un 20% y un 60% de la capacidad nominal de la batería es de 15 mV/celda, lo que representó solo un 7% de la variación total, mostrando una zona de tensión prácticamente invariable.

B. Medición de voltajes de los packs de baterías.

Los packs de baterías tienen una vida útil de 10.000 recargas y son de níquel metal-hidruro (Ni-MH) . A medida que se van usando, su capacidad de almacenar la energía eléctrica va disminuyendo. Con esta consideración se realiza las pruebas para verificar la funcionalidad de cada uno de los packs de baterías.

Se mide el voltaje inicial de cada pack de batería Fig. 14, para clasificarlas según su voltaje ya que esto es un gran indicador del estado de conservación. Los packs que no cumplan con el voltaje normal son los más propensos a fallar y por lo tanto son a los que más se debe poner atención.

TABLA I
VOLTAJES DE PACKS DE BATERÍA

Bloque 1		Bloque 2		Bloque 2	
Pack	Voltaje	Pack	Voltaje	Pack	Voltaje
1	20.75	1	21.46	1	20.10
2	21.98	2	21.65	2	20.54
3	21.75	3	22.45	3	19.25
4	21.45	4	22.36		
5	21.18	5	21.36		
6	21.35	6	21.75		

De los voltajes medidos el valor más bajo esta en el bloque 3 en el pack 3 Tabla I, se deduce que el problema inicial puede ser sulfatación que es una anomalía muy común en las baterías u otro de los factores que pueden ocasionar es el mal funcionamiento del sistema de refrigeración y ventilación, pero con el proceso de carga y descarga se puede reanudar el funcionamiento normal.

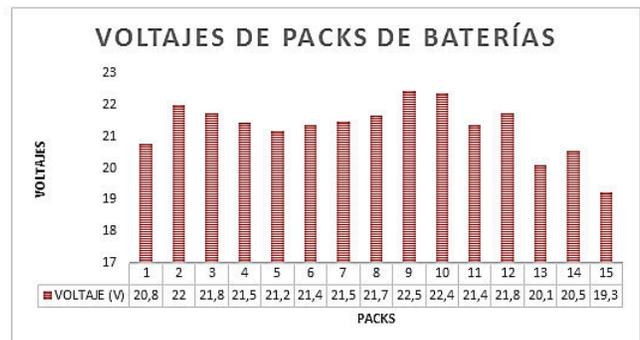


Fig. 14 Voltajes de packs

El voltaje nominal teórico de cada pack es de 18.4 voltios, pero cuando el pack está cargado llega aproximadamente hasta los 23 Voltios. El voltaje que se debe tener en el bloque 3 como valor nominal es de 55.2 voltios y el voltaje del bloque cuando este cargado es de 69 voltios aproximadamente.

TABLA II
VOLTAJES PROCESO DE CARGA PACK 1-BLOQUE 3

T/min	PWM	Amper.	V1
0	-	-	20.10
5	30	0.8	20.73
10	70	0.6	21.34
15	112	0.35	21.75
20	125	0.32	21.88
25	150	0.28	22.05
30	80	0.16	22.23
35	26	0.12	22.35

Cuando el valor del PWM (ancho de pulso de carga) es mayor, el valor de corriente se reduce. Una vez que el voltaje del pack de batería llega a su máximo de carga el valor de PWM y el valor de corriente se reducen hasta llegar a un valor muy cercano a 0 Fig.15.

Se realiza el proceso de carga del Pack 1-Bloque 3 para comprobar el estado de cada módulo.

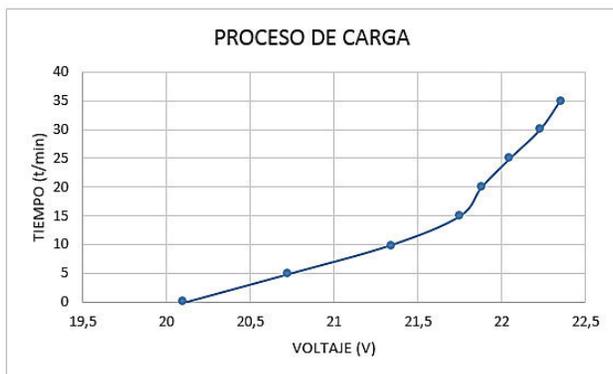


Fig. 15 Tensión pack 1-bloque 3 proceso de carga

Se comprueba la tensión acumulada del Pack 2-Bloque3 para ver su capacidad de almacenamiento.

TABLA III
VOLTAJES PROCESO DE CARGA PACK 2-BLOQUE 3

T/min	PWM	Amper.	V2
0	-	-	20.54
5	63	1.00	20.68
10	75	0.72	21.26
15	88	0.65	21.74
20	117	0.32	21.87
25	134	0.27	22.12
30	67	0.19	22.35
35	16	0.10	22.45

Se comprueba que el Pack 2 está en buenas condiciones teniendo un voltaje máximo de carga igual a 22.45 voltios y al realizar la prueba de descarga en vacío el voltaje del pack se redujo a 21, 25 voltios, valor que está por encima de la tensión nominal.

En el Pack 2 se puede ver que el proceso de carga en los primeros y en los últimos cinco minutos son de forma continua que en resto de tiempo Fig. 16 , no hubo una gran elevación de tensión en el transcurso de ese período, demostrando que el pack está respondiendo de buena manera a la tensión que le suministra el cargador.



Fig. 16 Tensión pack 2-bloque 3 proceso de carga

Se realiza el proceso de carga del Pack 3-Bloque 3 para comprobar el estado de cada celda.

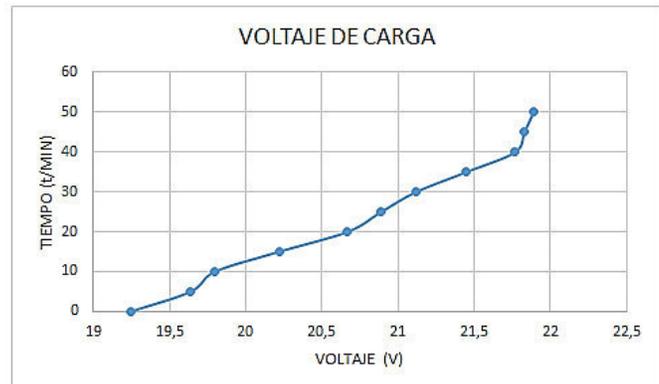


Fig. 17 Tensión pack 3-bloque 3 proceso de carga

En este caso el voltaje no llegó al valor que se había estimado, entonces se procede a digitar un valor menor a los 23 voltios, ya que la batería no llega al máximo de carga Fig. 17.

En el minuto 50 el pack llegó a un voltaje de 21.89 voltios, este análisis permite diagnosticar que el Pack 3 no se encuentra funcionando normalmente, existe una diferencia en la carga del mismo con relación a los otros Packs de la batería, para lo cual se requiere realizar el proceso de carga y descarga alguna veces para que el bloque se regenere.

Para el mantenimiento y reparación de la batería HV se debe relacionar las caídas de tensión que sufre cada pack con los valores de las pruebas que se efectuó en el cargador. En este proceso se analiza si la batería HV se sulfató internamente, se realiza la limpieza de las chapas metálicas,

reemplazo de cables de conducción, monitoreo de los sensores de temperatura.

TABLA IV
VOLTAJES PROCESO DE CARGA PACK 3-BLOQUE 3

T/min	PWM	Amper.	V3
0	-	-	19.25
5	35	1.00	19.64
10	79	0.87	19.80
15	97	0.68	20.22
20	134	0.45	20.67
25	150	0.27	20.89
30	150	0.26	21.12
35	150	0.28	21.45
40	123	0.22	21.77
45	67	0.17	21.83
50	24	0.12	21.89

C. Evaluación de la Tensión y Temperatura del Módulo Durante la Descarga.

Para un régimen de descarga, la tensión de las baterías sufre un ligero descenso casi lineal durante todo el tiempo (entre el 20% y el 80% de descarga) debido al lento incremento casi lineal de la resistencia interna. Las dos desviaciones más significativas se producen al comienzo y al final de la descarga.

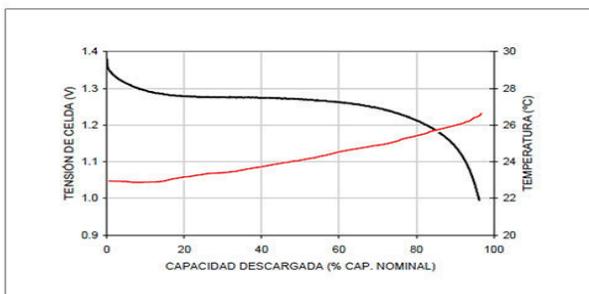


Fig. 18 Temperatura en función a la capacidad de descarga

En la curva de tensión se puede apreciar que la tensión permanece estable durante una gran parte del proceso de descarga, junto a esta está la evolución de la temperatura en función de la capacidad descargada expresada como un tanto por ciento de la capacidad nominal de la batería Fig. 18.

D. Capacidad de Descarga

Esta capacidad se obtiene sometiendo al módulo a una descarga total a corriente constante con dos halógenos conectados en paralelo que en este caso son de 12 voltios y 35 vatios cada uno.

Se realiza el seguimiento de la tensión hasta que se alcanza el valor especificado de finalización de la descarga y con solo multiplicar el tiempo transcurrido para alcanzar esta tensión por la corriente de descarga utilizada se obtiene el valor de la capacidad de descargada Tabla V.

TABLA V
MEDICIÓN DE VOLTAJES PROCESO DE DESCARGA MÓDULO 1-PACK3

T/min	V/C1	T/min	V/C1
0	11.36	17	9.47
1	10.71	18	9.42
2	10.47	19	9.36
3	10.28	20	9.29
4	10.15	21	9.20
5	10.05	22	9.11
6	9.97	23	9.01
7	9.90	24	8.90
8	9.84	25	8.80
9	9.79	26	8.70
10	9.75	27	8.60
11	9.70	29	8.48
12	9.66	30	8.29
13	9.62	31	8.02
14	9.58	32	6.50
15	9.55	33	5.15
16	9.51	34	4.02

La tensión de finalización tiene como influencia directa sobre la capacidad que puede ser extraída de la batería, como es evidente mientras mayor sea la tensión de finalización menor será la capacidad.

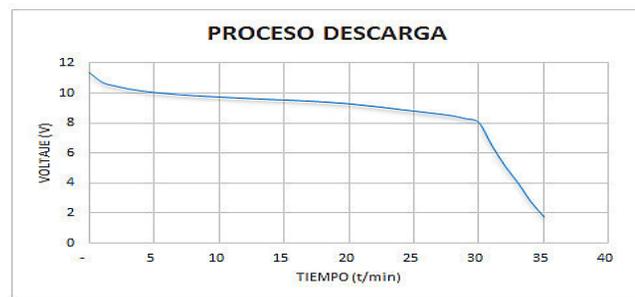


Fig. 19 Proceso descarga Módulo 1

Es por ello que existe un decrecimiento brusco del voltaje al finalizar la descarga en el módulo Fig.19.

E. Influencia de la Tensión de Finalización de la Descarga Sobre la Capacidad Real de las Baterías

El uso de valores más elevados de finalización de la descarga afecta a la precisión en la medida de la capacidad. La variación de la tensión en la parte lineal de la curva de descarga es muy pequeña por lo que si la medida de la tensión no es suficientemente precisa se producirá un error significativo en la capacidad Fig. 20.

El comportamiento de cada batería durante la descarga depende tanto de su estado, el entorno y de las condiciones de funcionamiento pero otro factor muy importante es la inversión de la polaridad de la celda.

En la batería de HV tenemos módulos y cada uno de ellos está conformado por celdas las cuales nunca están exentas de diferencias de comportamiento.

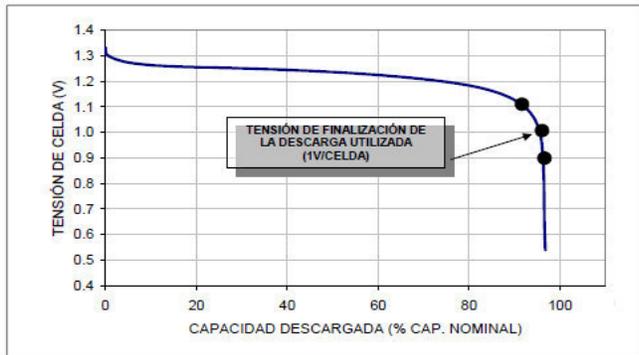


Fig.20 Caída de tensión de celda al finalizar la descarga

Las diferencias en la capacidad real de las celdas pueden provocar que una celda se desgaste totalmente antes que el resto, en este caso la celda de menor capacidad real determina la capacidad del módulo.

Después de realizar 60 ciclos de carga-descarga (descarga de solo un 20% de la capacidad nominal del módulo y carga total) se realiza una descarga completa del módulo y se constata una reducción de un 16% de la capacidad con respecto a la capacidad obtenida cuando se utilizan ciclos completos de carga-descarga Fig. 21.

[7] No obstante, hay que señalar que después de un par de ciclos de carga-descarga, se recupera casi la totalidad de la capacidad efectiva que se podía extraer del módulo antes de realizar el ciclo que incluya descargas parciales. En la práctica diaria, es difícil encontrarse con procesos donde la batería se descargue, exactamente, en la misma condición y proporción.

F. Aceptación de Carga

Durante el proceso de carga no toda la energía suministrada por el equipo de carga se convierte en energía almacenada, disponible durante la siguiente descarga. Parte de la energía suministrada se pierde debido a reacciones parásitas que producen calor y generan gases.

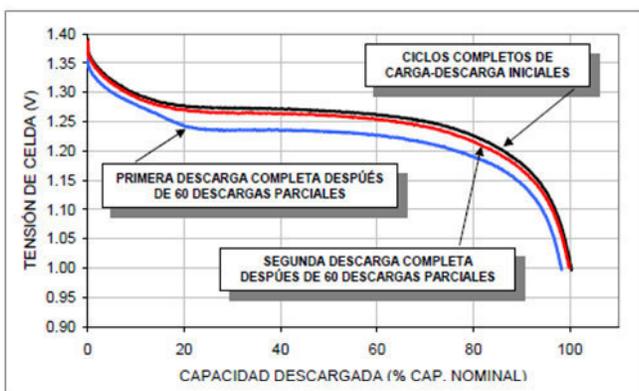


Fig.21 Influencia de repetidos ciclos carga-descarga

La aceptación de carga del módulo caracteriza la eficiencia de la carga y no es más que la relación entre la capacidad descargada y la capacidad suministrada a la batería durante un ciclo completo de carga-descarga en condiciones específicas, se ha demostrado que los módulos retienen la tensión suministrada por el equipo es decir la caída de voltaje que sufren es solo la descarga de tensión de vacío.

Otro índice importante que me permite evaluar el buen estado de los módulos es el comportamiento que tienen cuando se utilizan razones de carga elevadas para recargar la batería. A esto se le llama eficiencia energética del proceso de carga, que es la relación entre la energía que es posible extraer del módulo durante su descarga respecto a la energía que se suministra durante la carga, en la práctica se realizó proceso de carga con tensiones de 15-20-25 voltios que son valores que están por lo alto de la tensión nominal de los módulos y no se produjo ninguna anomalía.

G. Condiciones de Carga que Afecta la Capacidad Real que Puede Suministrar los Módulos Durante la Descarga

La razón de la carga utilizada y la temperatura de funcionamiento hacen variar los índices de comportamiento de la batería y determinan su capacidad para aceptar carga rápida en condiciones óptimas.

La eficiencia de la carga de las baterías puede variar significativamente cuando se producen cambios de temperatura de funcionamiento. A medida que se eleva la temperatura de la batería sobre la temperatura ambiente, se reduce la aceptación de carga como la capacidad real de la misma y como ya es de nuestro conocimiento, el bloque 3 está expuesto a altas temperaturas debido a su ubicación a pesar de tener un sistema disipador de calor en el vehículo.

La recarga del módulo supone un tiempo de 51 minutos, algo aproximado a una hora y la eficiencia del proceso no es del 100%. Tabla VI

La aceptación de carga observada es baja debido a que al inicio de las pruebas la tensión de vacío se redujo en un porcentaje mayor al valor que ya habíamos deducido anteriormente.

TABLA VI
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO CORRIENTE DE CARGA de 0,5-0,7 A

Razón de Carga de 0,5 a 0,7 Amperios y Temperatura Ambiente	
Tiempo de Carga (min.)	51
Capacidad Suministrada (% cap. Nominal)	98,5
Capacidad Descarga (% cap. Nominal)	94,4
Aceptación de Carga (%)	96,2
Eficiencia Energética (%)	84,5
Incremento de temperatura (°C)	21

TABLA VII
MEDICIÓN DE VOLTAJES PROCESO DE CARGA MÓDULO 1-PACK 3

T/min	V/C1	T/min	V/C1	T/min	V/C1
0	1.76	18	9.89	36	10.51
1	7.71	19	9.93	37	10.54
2	8.46	20	9.97	38	10.56
3	8.87	21	10.01	39	10.59
4	9.09	22	10.05	40	11.01
5	9-27	23	10.09	41	11.06
6	9.38	24	10.14	42	11.08
7	9.47	25	10.18	43	11.13
8	9.53	26	10.22	44	11.20
9	9.57	27	10.26	45	11.24
10	9.61	28	10.30	46	11.32
11	9.64	29	10.33	47	11.36
12	9.67	30	10.36	48	11.41
13	9.69	31	10.39	49	11.48
14	9.74	32	10.42	50	11.51
15	9.78	33	10.46	51	11.54
16	9.81	34	10.48		
17	9.85	35	10.56		

Con los datos obtenidos Tabla VII se determina que la celda está en buenas condiciones simplemente requiere un proceso de carga y descarga, en este caso se lo realiza bajo dos condiciones:

- La descarga no se permite que el voltaje se reduzca a 0, si el pack tiene problemas su carga no se realiza en forma completa, se recomienda reducir el voltaje a 6V. Fig. 22
- La reparación se realizará a pesar de que la celda no esté en óptimas condiciones pero se logrará aprovechar si se realiza la carga y descarga de la misma durante varias ocasiones.

La Fig. 23 muestra la elevación de la tensión de las celdas del módulo cuando se cargan con una razón de un amperio a temperatura ambiente. El incremento de la tensión que se produce en la parte final del proceso de carga debido a la entrada de sobrecarga del módulo, es casi nulo.

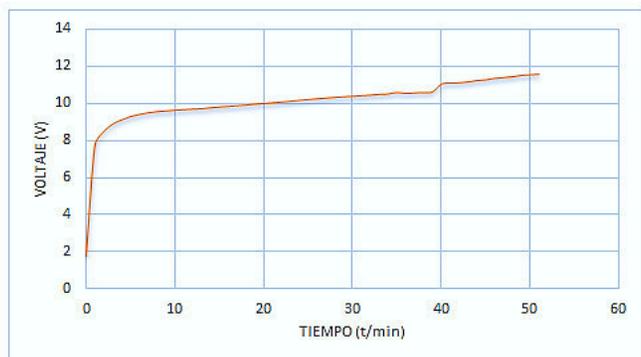


Fig.22 Proceso de carga Módulo 1-Pack 3

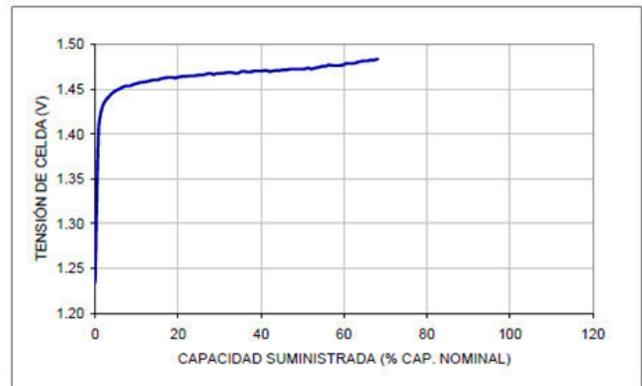


Fig.23 Evolución de la tensión de las celdas

TABLA VIII
MEDICIÓN DE VOLTAJES PROCESO DE CARGA MÓDULO 1-PACK 3

T/min	V/C1	T/min	V/C1	T/min	V/C1
0	1.02	18	9.89	36	10.52
1	4.71	19	9.93	37	10.54
2	5.46	20	9.97	38	10.56
3	7.87	21	10.01	39	10.59
4	8.09	22	10.05	40	11.02
5	9-27	23	10.09	41	11.06
6	9.38	24	10.14	42	11.07
7	9.47	25	10.18	43	11.13
8	9.53	26	10.22	44	11.20
9	9.57	27	10.26	45	11.24
10	9.61	28	10.30	46	11.33
11	9.64	29	10.33	36	10.52
12	9.67	30	10.36	37	10.54
13	9.69	31	10.39	38	10.56
14	9.74	32	10.42	39	10.59
15	9.78	33	10.46	40	11.02
16	9.81	34	10.48	41	11.06
17	9.85	35	10.50	42	11.07

Los datos indican que la celda está en buen estado lo único que requiere es una repotenciación, bajo las condiciones de la celda 1. Tabla IX

TABLA IX
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO 2

Razón de Carga de 0,7 a 1 Amperios y Temperatura Ambiente	
Tiempo de Carga (min.)	46
Capacidad Suministrada (% cap. Nominal)	68,1
Capacidad Descarga (% cap. Nominal)	64,2
Aceptación de Carga (%)	94,2
Eficiencia Energética (%)	80,1
Incremento de temperatura (°C)	24

Es necesario comprobar en cada caso la capacidad que es posible suministrar a la batería durante ese proceso de carga, además, evaluar los índices de funcionamiento para conocer si es factible o no la utilización de una determinada razón de carga Fig. 24

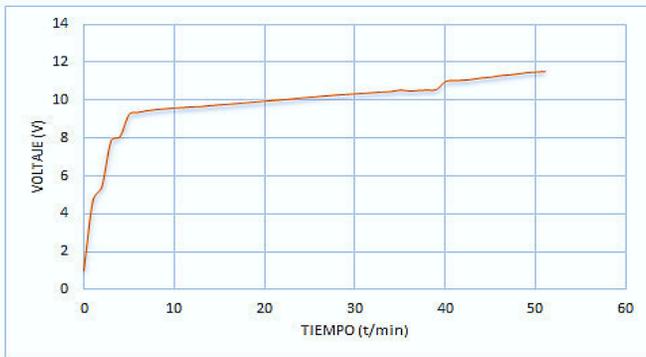


Fig.24 Proceso de carga Módulo 2-Pack 3

El voltaje de la batería apenas debe variar durante los primeros cinco segundos, si cae más de medio voltio, o disminuye constantemente, la batería no es capaz de retener la carga y ese pack debe ser reemplazado.

Si la caída de voltaje es muy grande, se deberá realizar una carga lenta, es decir, cargar los packs de batería por lo menos durante ocho horas, esto con el fin de acondicionar a los packs de batería e intentar recuperarlos.

IV. CONCLUSIONES

Al culminar el presente trabajo de investigación, se pone en consideración las siguientes conclusiones, a fin de que sean atendidas por quienes utilicen el presente trabajo como fuente de consulta.

Se implementó un cargador automatizado para baterías híbridas para la puesta a punto de las mismas generando una tensión de 0 a 30 voltios para la carga de pack.

Se estableció que para la comprobación del estado de las baterías se debe realizar las pruebas por pack, para lo cual se cuenta con 5 cargadores de pack de baterías híbridas en el equipo.

Se determinó que una vez cargados los packs, el voltaje acumulado no es permanente a pesar de no estar siendo usados ya que existe una caída de voltaje, el mismo que no va a ser igual ya que depende mucho del estado de cada módulo.

Se comprobó que el tiempo de carga de un pack es muy similar al tiempo que se demora al cargar varios pack en conexión en serie, debido que en esta conexión solo se suman los voltajes pero su corriente no tiene mucha variación en el momento de carga.

Todo análisis o diagnóstico del estado de pack o módulo de una batería de alto voltaje se lo puede realizar en el proceso de carga-descarga, acondicionamiento de la misma.

REFERENCIAS

- [1] Augeri, F. (2011). Híbrido II. Buenos Aires: Cise Electronics Corp.
- [2] Augeri, F. (2011). Híbridos I. Buenos Aires: Cise Electronics Corp.
- [3] Augeri, F. (2012). Introducción al sistema híbrido. Buenos Aires: Cise Electronics Corp.
- [4] Augeri, F. (2013). Notas Técnicas Vehículos Híbridos. Buenos Aires: Cise Electronics Corp
- [6] Fitsa. (2007). Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. España.
- [7] Rashid, M. (1993). Circuitos, dispositivos y aplicaciones (Segunda ed., Vol. 2). (L. G. Cedeño, Ed., & R. Cruzado, Trad.) México, Naucalpan de Juárez, México. Recuperado el Mayo de 2014
- [7] Toyota Motor Corporation. (2012). Manual de despiece. de la batería de HV Toyota Prius serie NHW20.
- [8] Ávila Miguel Cargador Automatizado para Baterías Híbridas (2015).



Germán Erazo, nació en Latacunga, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial dispone estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Maestría en Gestión Energías y Administración de Empresas, Docente Tiempo completo en la Escuela Politécnica del Ejército desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.



Miguel Ávila, nació en Quito, Ecuador. Es ingeniero Automotriz en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Asesoramiento en Mecánica y Electrónica de Vehículos.



Leonidas Quiroz, nació en Latacunga, Ecuador, Es ingeniero Automotriz, estudios de Posgrado en Autotrónica, Gestión del Aprendizaje Universitario, Maestría en Gestión de Energías Docente Tiempo Completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en ingeniería mecánica y electrónica automotriz.

Evaluación del desempeño de los Controladores Lógico Difuso y Proporcional Integral Derivativo en una Estación de Caudal

Edwin Pruna, Ivón Escobar, Jacqueline Llanos, Alex Navas y Jorge Zambrano

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

epruna@espe.edu.ec, ipescobar@espe.edu.ec, jdllanos1@espe.edu.ec, adnavas1@espe.edu.ec,
edzambrano@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen-- En este artículo se presenta el diseño e implementación de un controlador lógico difuso (CLD) tipo Mamdani, para una aplicación de control de caudal, que incluye un variador de frecuencia – motor – bomba, con el objetivo de analizar su comportamiento frente a un controlador proporcional integral derivativo (PID). El análisis incluye aspectos en régimen transitorio y permanente, frente a las mismas variaciones de consignas tipo escalón. En función de los resultados alcanzados este trabajo demuestra que un CLD es una buena alternativa para ser usado como un controlador de caudal, logrando un mejor desempeño de la planta.

Para la implementación de los dos controladores, se utilizó el software LABVIEW de la National Instruments con el toolkit Control Design and Simulation y una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que toma la señal del transmisor de flujo, y envía la acción de control hacia el variador de frecuencia.

Palabras claves-- controlador lógico difuso (CLD), controlador proporcional integral derivativo (PID), flujo.

Abstract-- This article presents the design and implementation of a fuzzy logic controller (FCL) Mamdani type, for an application flow control, which includes a variable frequency drive-engine-pump. The objective is to compare the performance of a FCL facing a proportional integral derivative controller (PID). The analysis includes transient and permanent analysis, compared to the same set point step type. Based on the results achieved this work shows that a FLC is a good alternative for to be used such as a flow controller, offering better plant performance.

LABVIEW software from National Instruments was used with the toolkit Control Design and Simulation and a data acquisition card (DAQ), it takes the transmitter signal flow for the implementation of the two controllers, then sends the control action to the variable frequency drive.

Keywords-- fuzzy logic controller (FLC), proportional integral derivative controller (PID), flow.

I. INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales, en laboratorios y en plantas piloto es

muy importante la medición de caudales de líquidos y gases [1]. Los sistemas de control de procesos industriales tienen muchas características, tales como la no linealidad, retardo inercial, tiempo de retardo y la variación de tiempo, entre otras, pese a todos estos aspectos en el diseño de los controladores estos procesos son tratados como sistemas lineales y se utilizan controladores PID. Actualmente se ha demostrado que los controladores tradicionales son insuficientes para determinados procesos, por lo que nuevos algoritmos deben ser considerados para hacer frente a estas limitaciones [2].

Por lo tanto, los controladores basados en lógica difusa han surgido como una de las técnicas de control no lineal con mayor éxito [3], además de ser una alternativa de fácil implementación.

El concepto de la lógica difusa en su forma actual fue propuesto por primera vez por Zadeh [4]. Varios artículos han demostrado la superioridad de los CLD frente otros controladores tradicionales lo que motivó la implementación de este trabajo en una planta real. Pathmanathan et al, presentan un diseño de un CLD en donde muestran la superioridad frente a un control tradicional, es implementado en una planta piloto para control de flujo [5]. A diferencia de este trabajo los elementos que forman su planta son de tipo didáctico y los que se usan en este trabajo son industriales. En lo que respecta a control de flujo hay trabajos que han buscado mejorar la capacidad de controlador PID convencional mediante el diseño e implementación del controlador adaptativo Fuzzy PID (AFPIDC) [6], también existen trabajos donde se comparan los controles difusos de tipo Mamdani y Sugeno [7], validando la importancia del estudio de estrategias de control para la mejora en la operación de este tipo de plantas.

Otros procesos en donde se aplican estos controles son en sistemas de control de nivel de tanques [8], también son usados en aplicaciones a procesos altamente no lineales como los procesos químicos en donde son exitosos los CLD con variables auxiliares para identificar las regiones no lineales del proceso mejorando el rendimiento del controlador [9].

También se han desarrollado CLD en el campo de la mecatrónica en donde el diseño e implementación de un controlador basado en lógica difusa es usado para un sistema de control de torque en una CNC (Computer Numerical Control), ajustando la velocidad de avance y velocidad de giro simultáneamente, para regular el torque de corte [10].

Este trabajo demuestra que la implementación de CLD a nivel industrial es factible ya que todos los elementos usados en la investigación son empleados en las plantas industriales reales, es importante mencionar que una de las ventajas de usar CLD es el uso del conocimiento de los operadores de las plantas industriales, permitiendo de esta manera que el controlador no dependa de un modelo matemático [11].

En el presente artículo se busca realizar una comparación de los aspectos más críticos a considerar en la respuesta de un sistema de control en lazo cerrado (tiempo de establecimiento, sobre-impulso y respuesta del actuador), empleando los dos tipos de controladores ya mencionados.

Además se dará una descripción del diseño de los dos controladores a ser comparados, los criterios tomados en cuenta para la sintonización del PID y el diseño de las reglas del CLD.

II. DESARROLLO

La estación de caudal, se describe en el P&ID de la Figura 1, consta de un tanque de almacenamiento, un transmisor de paletas, el cual envía una señal de corriente de 4 a 20 [mA] de acuerdo a un rango dinámico de 1 a 7 galones por minuto [GPM], esta señal pasa por una resistencia de precisión para ser transformada a voltaje 1 a 5 [V] e ingresa a una DAQ. Además cuenta con un sistema motor-variador-bomba, el cual regula el caudal. Los componentes son de uso industrial, esto implica que el sistema de control responderá de una mejor manera a las variaciones de consigna dadas.

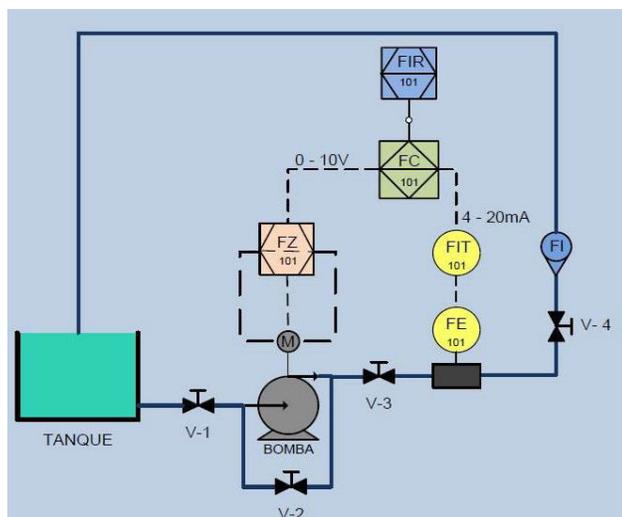


Figura 1 P&ID estación de caudal

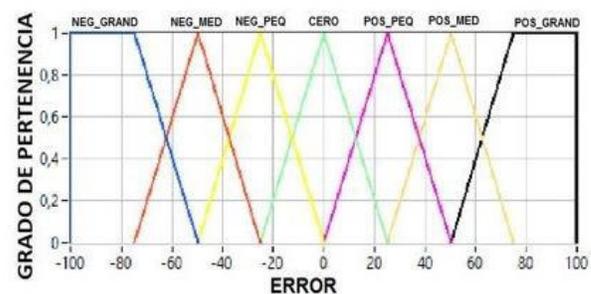
A. Diseño del Controlador Lógico Difuso

Para el CLD se empleó un sistema single input – single output (SISO) de tipo Mamdani, en donde la entrada es el error con siete conjuntos difusos, y la variable de salida es el

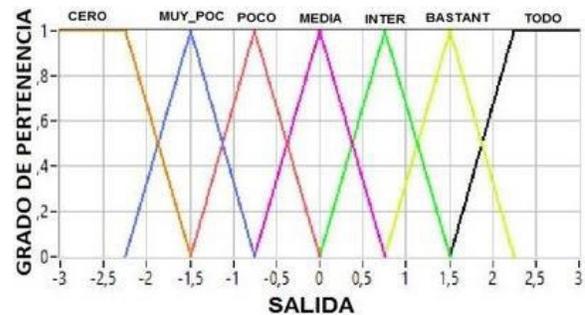
voltaje que de igual forma está dividido en siete conjuntos difusos (véase Figura 2), literales a y b respectivamente, junto con siete reglas de inferencia (TABLA I), tomadas de acuerdo al comportamiento de la estación de caudal, que tiene un comportamiento no lineal y necesita vencer la zona muerta del variador para que entre en funcionamiento, por esta razón la respuesta del CLD es proporcional a la variación del error de entrada a excepción de los extremos donde se entrega el cien por ciento de la salida.

La salida del CLD es enviada a un sumador el cual adiciona el valor actual con el anterior, este se mantiene en un rango de -100 a 100 por ciento, esta salida es escalada para posteriormente convertirse en voltaje a través de la NI DAQ 6009.

Se ha aplicado el método de defuzzificación del centroide, o centro de gravedad, debido a su facilidad, reduciendo de esta forma el tiempo de cálculo. Este algoritmo viene incluido en el toolkit de Control and Design Simulation de Labview.



a)



b)

Figura 2 Conjuntos difusos de la variable lingüística a) Error. b) Salida

TABLA I
REGLAS DE INFERENCIA DEL CLD

Error	Salida
Negativo grande	Cero
Negativo medio	Muy poco
Negativo pequeño	Poco
Cero	Mediano
Positivo pequeño	Intermedio
Positivo medio	Bastante
Positivo grande	Todo

B. Diseño del Controlador Proporcional Integral Derivativo

El controlador PID fue sintonizado mediante el método de ganancia límite, obteniendo de esta manera las constantes

proporcional, integral y derivativa, las cuales se muestran en la TABLA II.

TABLA II
CONSTANTES DE SINTONIZACIÓN DEL PID

Constante	Valor	
K_p	1.310	[adim]
T_i	0.62876	[min]
T_d	0.05	[min]

III. MODELADO MATEMÁTICO DE LAS RESPUESTAS

Se procedió a modelar las respuestas de forma matemática, para encontrar una función de transferencia que represente cada respuesta de los controladores, y poder apreciarlos en una misma gráfica. Todas las funciones de transferencia se consideraron de segundo orden, por la forma de reaccionar al escalón.

Para el análisis se basó en dos datos que son el tiempo de asentamiento (T_s) y el tiempo pico (T_p), dados en segundos considerando que si hay un sobreimpulso, el tiempo pico es real, caso contrario, el tiempo pico se considera como infinito.

Con los valores ya mencionados se podrá encontrar ω_n y ζ de la ecuación (1), lo que permitirá modelar cada una de las respuestas [12].

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

Donde ω_n es la frecuencia natural, o de oscilación del sistema, y ζ es el factor de amortiguamiento relativo de la respuesta.

Se parte de las siguientes ecuaciones:

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (2)$$

$$T_s = \frac{5}{\zeta \omega_n} \quad (3)$$

Ahora, a partir de la ecuación (3) se encuentra el factor de amortiguamiento relativo, en función de T_s :

$$\zeta = \frac{5}{T_s \omega_n} \quad (4)$$

Finalmente, despejando de (2) y en función de los dos tiempos, se obtiene ω_n

$$\omega_n = \sqrt{\left(\frac{\pi}{T_p}\right)^2 + \left(\frac{5}{T_s}\right)^2} \quad (5)$$

Y así, con (4) y con (5), se puede modelar cada una de las respuestas, y graficar simultáneamente en el entorno de Matlab [12].

Con estos valores, se puede calcular el sobreimpulso de cada respuesta con la ecuación (6).

$$\%OS = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100\% \quad (6)$$

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Pruebas realizadas a los controladores

Una vez implementados los dos controladores, se realizaron tres pruebas diferentes, que consisten en cambios de consigna en forma de escalón, en un intervalo de 60 segundos, en forma ascendente, descendente y combinada, como se indica en la Tabla III:

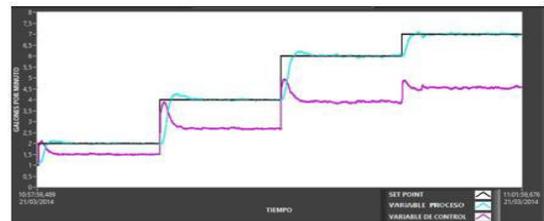
TABLA III
PRUEBAS APLICADAS AL PROCESO

PRUEBA	Variación del Setpoint
	[GPM]
Cambios Ascendentes del SP	[1 - 2]
	[2 - 4]
	[4 - 6]
	[6 - 7]
Cambios Descendentes del SP	[7 - 6]
	[6 - 4]
	[4 - 2]
	[2 - 1]
Cambios Combinados del SP	[1 - 4]
	[4 - 6]
	[6 - 3]
	[3 - 5]
	[5 - 3]

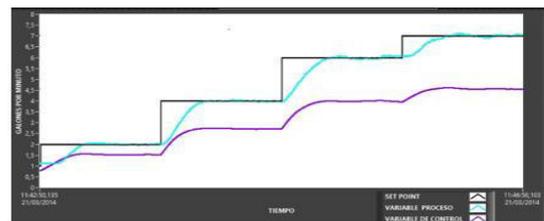
B. Resultados experimentales

Se puede apreciar como la variable del proceso, se aproxima al setpoint de forma diferente en los dos controladores. En las Figuras 3-5, se muestran los resultados tomados desde Labview, en donde la línea de color negro representa el setpoint, la línea de color cian la variable del proceso y la línea de color púrpura la variable de control.

En la Figura 3, se muestran los resultados del comportamiento del controlador PID (a) y el controlador CLD (b) frente a las pruebas ascendentes.



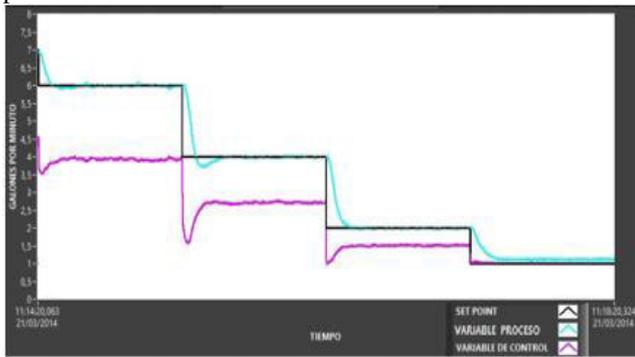
a)



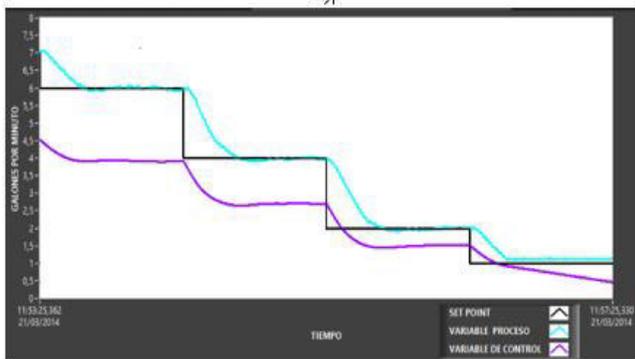
b)

Figura 3 Prueba ascendente. a) Control PID. b) Control CLD

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos en la prueba descendente, de igual manera, literal a) para PID y b) para el controlador CLD.



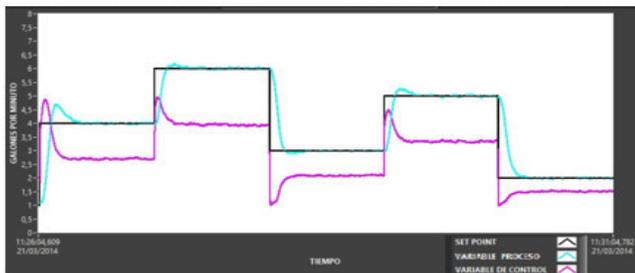
a)



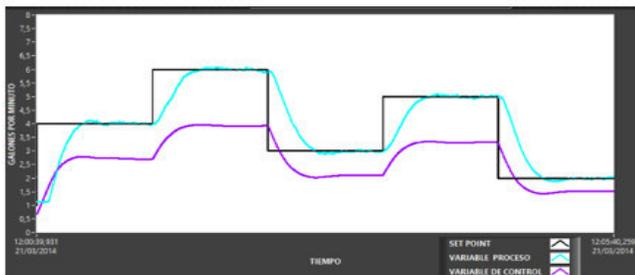
b)

Figura 4 Prueba descendente. a) Control PID. b) Control CLD

Finalmente, se presentan los resultados de la prueba combinada en la Figura 5, literal a para PID y literal b CLD respectivamente.



a)



b)

Figura 5 Prueba combinada. a) Control PID. b) Control CLD

C. Resultados del modelo matemático

En las Figuras 6-8 se muestran los resultados de los modelos matemáticos realizados en Matlab, frente a las tres pruebas realizadas a los dos controladores de forma simultánea, donde la línea negra continua indica el setpoint, la línea azul punteada la variable del proceso para el PID y la línea roja entrecortada la variable de proceso para el CLD.

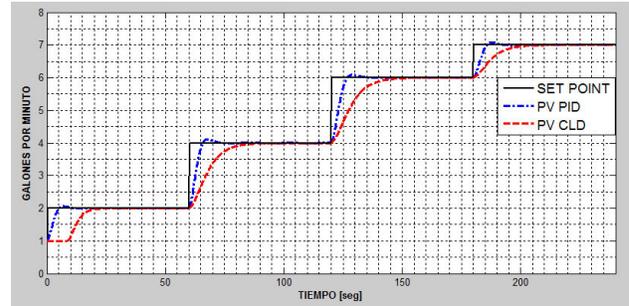


Figura 6 CLD y PID en prueba ascendente

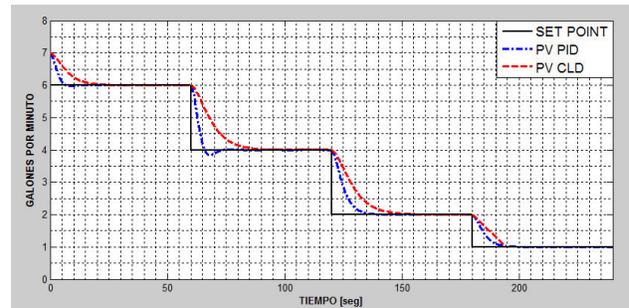


Figura 7 CLD y PID en prueba descendente

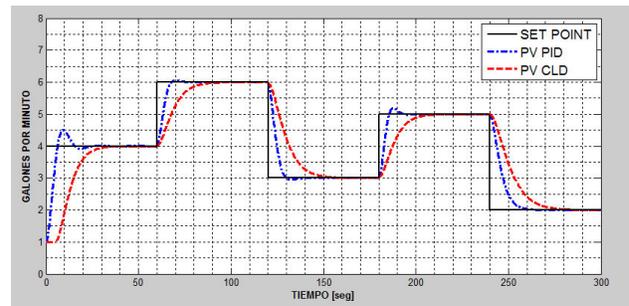


Figura 8 CLD y PID en prueba combinada

D. Análisis comparativo de los controladores

Para realizar el análisis comparativo se tomaron en cuenta tres aspectos fundamentales en cada una de las pruebas realizadas, los cuales son:

- Tiempo de asentamiento.
- Sobreimpulso.
- Respuesta del actuador.

a) Prueba ascendente:

Tiempo de asentamiento: La Figura 6 muestra, que el control PID estabiliza a la variable del proceso de forma más rápida que el CLD, por lo que en este aspecto se puede

considerar superior el primer controlador, pero esto acarrea cierto problema que se expondrá posteriormente.

Sobreimpulso: Solo se presenta en el controlador PID, mientras que en el difuso es despreciable como se puede ver en la Figura 6, por lo que se puede decir que en este punto, el segundo controlador toma ventaja sobre el primero.

Estos sobreimpulsos están relacionados con el tiempo de asentamiento, pues un controlador rápido afecta de manera significativa a la inercia del proceso, y se producen estos sobreimpulsos. Esto se puede verificar con la respuesta del controlador difuso, ya que este es lento, pero no tiene sobreimpulso.

La Tabla IV presenta el resumen cuantitativo de los dos criterios ya mencionados.

TABLA IV
RESULTADOS EN LA PRUEBA ASCENDENTE

Setpoint [GPM]	Tiempo de asentamiento (s)		Porcentaje de sobreimpulso	
	PID	CLD	PID	CLD
[1 - 2]	12.9792	19.7122	5.8705	0
[2 - 4]	14.1414	21.2693	5.6331	0
[4 - 6]	14.9143	22.2439	4.4286	0
[6 - 7]	16.2712	20.4878	8.2012	0

Respuesta del actuador: En las Figuras 3a y 3b, el actuador se presenta con una línea purpura para los dos controladores, donde cada uno entrega una señal de control distinta al actuador, las cuales se describirán a continuación:

En el literal a), el actuador del control PID siempre inicia recibiendo un porcentaje elevado de voltaje en forma de pico, para posteriormente decaer y estabilizarse cuando el error sea cero, pero se ve afectado por la inestabilidad, a pesar de que la variable del proceso llegue al valor deseado.

Por otra parte, en el literal b) la respuesta del actuador frente a un controlador CLD crece de forma proporcional al error, de acuerdo a las reglas establecidas en el diseño y se estabiliza cuando existe un error de cero. Aquí no se nota un pico como en el controlador anterior y tiene mucha más estabilidad lo que garantiza un incremento en la vida útil del actuador.

Una de las principales dificultades del controlador CLD es que requiere de un voltaje inicial para vencer una zona muerta del variador de frecuencia, aspecto no influyente en el controlador difuso (ver Figura 3b).

b) *Prueba descendente:*

Tiempo de asentamiento: De la misma manera que en la prueba ascendente, los tiempos de asentamiento del control PID siempre son menores al CLD, excepto en el cambio de setpoint de 2 a 1 galones por minuto, donde los tiempos son casi iguales.

Sobreimpulso: En esta prueba, al igual que en la anterior, se puede considerar que el CLD tiene un porcentaje de sobreimpulso despreciable, mientras que en el control PID se presentaron solo dos sobrepasos considerables.

En la Tabla V se muestra el resumen cuantitativo de la prueba descendente, tanto del tiempo de asentamiento como del porcentaje de sobreimpulso.

TABLA V
RESULTADOS EN LA PRUEBA DESCENDENTE.

Setpoint [GPM]	Tiempo de asentamiento (s)		Porcentaje de sobreimpulso	
	PID	CLD	PID	CLD
[7 - 6]	12.3981	19.1239	2.8609	0
[6 - 4]	16.4659	23.6107	7.9694	0
[4 - 2]	13.3656	24.5848	0	0
[2 - 1]	13.5603	14.6341	0	0

Respuesta del Actuador: En la Figura 4 se puede apreciar que el actuador se comporta de forma similar que en la prueba anterior, por lo que la descripción es la misma, excepto que ya no existe la zona muerta; ya que se está entregando al actuador un voltaje diferente de cero desde el inicio de la prueba. (Exactamente 5 voltios)

c) *Prueba Combinada:*

Tiempo de asentamiento: En esta prueba, los tiempos de los dos controladores se comportan de manera irregular en cada uno de los intervalos de tiempo, como se puede ver en la

TABLA .

Sobreimpulso: De la misma manera que en las dos pruebas anteriores, solo existe sobreimpulso en el controlador PID, por razones ya explicadas.

TABLA VI
RESULTADOS EN LA PRUEBA COMBINADA

Setpoint [GPM]	Tiempo de asentamiento (s)		Porcentaje de sobreimpulso	
	PID	CLD	PID	CLD
[1 - 4]	26.1501	21.2195	16.4383	0
[4 - 6]	14.2881	23.4146	2.6151	0
[6 - 3]	15.2542	25.3646	1.4889	0
[3 - 5]	16.9504	22.1963	9.4606	0
[5 - 2]	15.4976	29.2683	0	0

Respuesta del Actuador: El comportamiento es similar que en las pruebas anteriores, es decir en el control PID es inestable, mientras que en el CLD casi no existen variaciones de la variable de control lo que extenderá la vida útil del actuador.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

De los experimentos realizados se puede observar en la figura 5 que el control PID presenta tiempos de asentamiento más cortos, determinándose que es un control más rápido, pero se presentan sobreimpulsos.

El CLD no presenta sobreimpulsos, comparados con el control PID, pero tiene tiempos de asentamiento más extensos como se muestra en la figura 7.

El error de estado estable es el mismo en los dos tipos de controladores, por lo que el análisis es considerado solo durante el tiempo transitorio.

Con respecto a la variable de control, la cual está relacionada directamente con el actuador del proceso, se puede decir que el CLD le da una mayor estabilidad, consecuentemente un menor desgaste del actuador, aumentando el tiempo de vida del mismo.

Para el arranque de la planta de caudal, existe un voltaje que se debe vencer para que se inicie el proceso, lo cual no representa un problema para el control PID, ya que en todo cambio de consigna, entrega un pico de voltaje al actuador, lo que soluciona este problema, mientras que el controlador lógico difuso necesita un tiempo de aproximadamente 10 segundos para un cambio de setpoint de 1 a 2 GPM, y de 4 segundos en un cambio de setpoint de 1 a 4 GPM. Esta diferencia de tiempos, se debe a que en el segundo arranque existe más error, y por **ende se entrega más voltaje, lo que conlleva a un tiempo menor para vencer este umbral.**

La propuesta para futuras pruebas en la estación de caudal es un controlador PID con autosintonía mediante lógica difusa, donde se combinen las bondades de cada uno, este controlador variara las ganancias K_p , T_d , y T_i del controlador PID de acuerdo a las necesidades de la planta.

REFERENCIAS

- [1] A. Creus Solé, "Instrumentación Industrial", Octava ed., México: Alfaomega, 2011, p. 797.
- [2] M. Manjunath y J. Raman, «Fuzzy Adaptive PID for Flow Control System based on OPC,» Computational Science - New Dimensions & Perspectives, p. 4, 2011.
- [3] B. K. Yoo and W. C. Ham, "Adaptive control of nonlinear systems using a fuzzy compensator," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 8, no. 2, pp. 186–199, Apr. 2000.
- [4] L. A. Zadeh, "Is there a need for fuzzy logic?" in Proc. Annu. Meeting NAFIPS, New York, 2008, pp. 1–3.
- [5] Pathmanathan, R. Ibrahim, "Development and implementation of Fuzzy Logic Controller for Flow Control Application", International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), , pp. 1–6, June 2010.
- [6] Mazlan, Z., Ibrahim, R., "Development and implementation of Adaptive Fuzzy PID Controller (AFPIDC) for flow control application", 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), pp. 1–6, June 2012.
- [7] J. Castro Montoya, F. Vera Monterrosas y J. A. Quintana Silva, "Control difuso de flujo de fluidos en una estación de laboratorio", Información Tecnológica, vol.15, no 3, pp. 45-52, 2013.
- [8] S. Krivic, B. Herzegovina, M. Hujdur, A. Mrzic and S. Konjicija, "Design and implementation of fuzzy controller on embedded computer for water level control", 35th Proceedings of the International Convention of MIPRO, no. 35, pp. 1747 - 1751, May 2012
- [9] J. Qin and G. Borders, "A Multiregion Fuzzy Logic Controller for Nonlinear Process Controls", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 2, no. 1, pp. 74 – 81, February 1994
- [10] R. Haber, J. Alique, "Fuzzy Logic-Based Torque Control System for Milling Process Optimization", IEEE Transaction on Aplicayions and Review, vol.37, no. 5, pp. 941 - 950, September 2007
- [11] Z. Yan y C. Liu, «Application Of Fuzzy Adaptive PID Control In Chlorine Flow Control System,» Sixth International Symposium on Computational Intelligence and Design, p. 4, 2013.
- [12] N. S. Nise, Sistemas de control para ingeniería., Tercera ed., México: Grupo Patria cultural SA de CV, 2002, p. 189.



Edwin Patricio Pruna Panchi. Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2007; de Magister en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013.

Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



Ivón Patricia Escobar Anchaguano. Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniera Electrónica e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2008; de Magister en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013.

Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



Jacqueline Llanos. Es Ingeniera Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Eléctrica de la Universidad de Chile. Actualmente es docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sus áreas de investigación son en controladores

avanzados, modelamiento de sistemas, modelos de predicción, micro-redes, aplicaciones de controladores inteligentes.



Alex Navas. Es estudiante egresado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación. Actualmente se encuentra desarrollando su tema de tesis acerca de una Red WirelessHART para el monitoreo y control de procesos. Además incluye una

comparación entre los controles PID y CLD en la variable nivel.



Jorge Zambrano. Es egresado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación. Actualmente se encuentra desarrollando su tema de tesis acerca de una Red WirelessHART para monitoreo y control de procesos. También incluye una

comparación entre los controladores PID CLD en la variable nivel.

Propuesta de Implementación de un Modelo de Calidad para la Selección de Software de Base para Servidores

Gonzalo Patricio Espinel Mena y Franklin Javier Montaluisa Yugla

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

gpespinel@espe.edu.ec, fjmontaluisa@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen— La presente propuesta plantea la implementación de un modelo de calidad estructurado para adquirir paquetes de software de base que encajen dentro de un entorno organizacional. El modelo de calidad proporciona una taxonomía de características de calidad para un dominio de un paquete dado, y métricas para calcular su valor. El modelo de calidad se basa en la norma ISO/IEC 9126 de la ISO (Organización Internacional de Normalización) y la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), el cual fue seleccionado debido a que esta difundido y es de naturaleza genérica, ya que permite crear jerarquías de las características de calidad, las cuales son esenciales para construir modelos de calidad estructurados. Los requisitos del dominio así como las características del paquete con respecto al modelo pueden usar el framework para soportar la negociación entre los requisitos del usuario y las características del producto durante la selección del paquete de software.

Palabras claves— Modelos de calidad, software de base, calidad del software, ISO/IEC 9126, métricas de calidad.

Abstract— The present proposal aims to implement a structured quality model to acquire based software packages that fit within an organizational environment. The quality model provides a taxonomy of quality characteristics for a domain of a given packet, and metrics to calculate its value. The quality model is based on the standard ISO / IEC 9126 of the ISO (International Organization for Standardization) and IEC (International Electrotechnical Commission), which was selected because it is world widespread and it has generic nature, allowing to create hierarchies of quality characteristics which are essential for building models of structured quality. The domain requirements and the package features to the model can use the framework to support the negotiation between user requirements and product characteristics during the selection of the software package.

Keywords— Quality models, based software, software quality, ISO/IEC 9126, quality metrics.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo o selección de productos de software con calidad es muy importante en la actualidad en las instituciones públicas y/o privadas, ya que éstas procesan grandes cantidades de información, que es considerada como un activo importante de sus organizaciones.

Una especificación y evaluación integral y detallada de la calidad de los productos de software es un factor clave para

asegurar que la calidad sea la adecuada. Esto se puede lograr definiendo de manera apropiada las características de calidad, teniendo en cuenta el propósito del uso del producto de software en la institución.

Es importante especificar y evaluar cada característica relevante de la calidad de los productos de software, cuando esto sea posible, utilizando mediciones validadas o de amplia aceptación, que hagan técnicamente transparente esta actividad.

A. Aplicación

- La propuesta es aplicable al software de base propietario y libre o de código abierto utilizado en la Administración Pública y/o Privada.
- La propuesta se debe aplicar en la evaluación de software base propietario considerando esquemas comparativos con el software base libre o de código abierto y viceversa, evidenciando ventajas y desventajas.
- Será utilizada para evaluar un solo software o un conjunto de software de base de naturaleza o funciones similares.

B. Estructura

La presente propuesta consta de las siguientes partes:

1. Modelo de la calidad
2. Métricas
3. Proceso de evaluación de software

II. MARCO TEÓRICO

A. La calidad del software

La calidad está de moda, en todos los aspectos, pero especialmente en el desarrollo de software. El interés por la calidad crece de forma continua, a medida que los clientes se vuelven más selectivos y comienzan a rechazar los productos poco fiables o que realmente no dan respuesta a sus necesidades [1]. Ahora bien la calidad significa cosas diferentes para cada persona, es muy subjetiva y depende del contexto. Según Voas [2] "Nosotros vivimos en un mundo

donde la belleza para uno es diferente para otro. La calidad del software no es diferente. Se tiene la perspectiva del diseñador, la de los usuarios finales, de los verificadores, y muchas más".

Debido a esto, es muy difícil llegar a un acuerdo de cómo medir la calidad del software. Kitchenham [3] declaró la calidad es "difícil de definir, imposible de medir, fácil de reconocer." Gillies [4] declaró "la Calidad es generalmente transparente cuando se presenta, pero fácilmente reconocida en su ausencia". Ambas declaraciones implican que la calidad es de algún modo perceptible. El problema no es que la calidad sea subjetiva, sino cómo poder medirla.

Existen 3 aspectos para evaluar la calidad del software: el nivel de preparación de las personas involucradas en el proceso de desarrollo de software, la certificación del proceso de desarrollo de software, y la inspección del producto final [5]. Estos 3 aspectos han sido considerados en lo que se llama el triángulo de certificación de la calidad del software (Figura 1).



Figura 1: Triángulo para evaluar calidad del software [5]

B. Modelos de calidad

Los Modelos de Calidad son herramientas que guían a las organizaciones a la mejora continua y la competitividad dándoles especificaciones de qué tipo de requisitos debe implementar para poder brindar productos y servicios de alto nivel. A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes modelos para evaluar la calidad del software, que intentan descomponer la calidad en una categoría de características más sencillas [6].

Todos estos modelos comparten un árbol jerárquico. Aunque los modelos de calidad han sido nombrados de manera diferente a lo largo de las diversas propuestas, similitudes entre ellos pueden ser fácilmente identificadas. El número de capas de la jerarquía, así como el número de características de calidad de los modelos en gran medida difieren entre las distintas propuestas. Algunos de ellos por ejemplo, FURPS y el modelo ISO/IEC 9126-1, fijan el orden jerárquico de tal manera que las métricas sólo pueden ser redefinidas por los usuarios finales, por ejemplo, mientras que otros IEEE 1061-1998, son muy abiertos y permiten que los usuarios definan toda la jerarquía y el número de elementos incluidos.

Adicionalmente los Modelos de Calidad han sido diseñados para proporcionar una base medible para la evaluación de la calidad del software; pueden enmarcarse a contextos específicos, y pueden ser aplicados para:

- a. Preparar las especificaciones de calidad de un producto de software,
- b. Comprobar el cumplimiento de las especificaciones de calidad,
- c. Hacer un buen diseño de intercambios entre los costos de desarrollo y gastos de funcionamiento, y
- d. Seleccionar paquetes de software.

C. Usando modelos de calidad para la selección de paquetes de software

La creciente importancia de los paquetes de software comerciales no orientados a la plataforma requiere adaptarse a varias prácticas de ingeniería de software, tales como la obtención de requisitos y pruebas, para este framework emergente. Además, surgen nuevas actividades específicas, entre las cuales la selección de paquetes de software juega un papel primordial.

La implementación de modelos de calidad de dominio específico en términos del estándar de calidad ISO/IEC 9126-1, puede usarse para describir los factores de calidad de los paquetes de software de manera uniforme e integral y para indicar los requisitos al seleccionar un paquete de software en un contexto particular.

Los modelos de calidad que han sido propuestos recientemente para escoger paquetes de software, comparan los requisitos del usuario con las capacidades de los paquetes. Hay diferentes tipos de requisitos, como: administrativos, políticos, y por supuesto requisitos de calidad.

Los requisitos de calidad son a menudo difíciles de verificar. Esto es en parte debido a su naturaleza, pero hay otra razón que puede mitigarse, particularmente la falta de estructura y las descripciones extendidas de los dominios del paquete (es decir, categorías de paquetes de software como los sistemas ERP, librerías gráficas, estructuras de datos, y así sucesivamente). Esta falta entorpece la descripción exacta de los paquetes de software y la declaración precisa de los requisitos de calidad, y por consiguiente la selección del paquete completo y la confianza en los resultados del proceso.

Un modelo de calidad estructurado para un dominio de un paquete dado proporciona una taxonomía de características de software de calidad, y métricas para calcular su valor; basado sobre la norma ISO/IEC 9126 de la ISO (Organización Internacional de Normalización) y la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) que forman el sistema especializado para la normalización internacional.

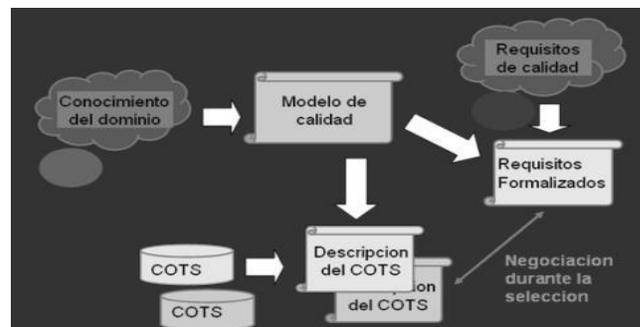


Figura 2: Usando un modelo de calidad en la selección de software [7]

Una vez construido el modelo de calidad, se puede decir que los requisitos del dominio así como las características del paquete con respecto al modelo. Pueden usar el framework para soportar la negociación entre los requisitos del usuario y las características del producto durante la selección del paquete de software (vea Figura 2).

A. Norma ISO/IEC 9126-1 para modelos de calidad

Un hito en la definición de estándares de calidad de producto software, lo constituye la publicación del ISO 9126 en el año 1991. Luego, en el año 2001, este estándar fue reemplazado por dos estándares relacionados: el ISO/IEC 9126, que especifica características y métricas de la calidad del software; y el estándar ISO/IEC 14598, que especifica la evaluación de productos de software [6].

ISO/IEC 9126-1 especifica las directrices de definición del modelo de calidad y su uso como un marco para evaluación de software. Un modelo de calidad 9126-1 es definido por medio de las características generales del software, más allá refinadas en subcaracterísticas, que a su vez se descomponen en atributos, produciendo una jerarquía multinivel. Al final de la jerarquía están los atributos de software medibles, cuyos valores son calculados usando algunas métricas.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS Y SUBCARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR ISO/IEC 9126-1

ISO/IEC 9126-1	
Características	Subcaracterísticas
Funcionalidad:	Adecuación, Exactitud, Interoperabilidad, Seguridad, Cumplimiento funcional.
Fiabilidad:	Madurez, Tolerancia a fallos, Capacidad de recuperación, Cumplimiento de la fiabilidad.
Usabilidad:	Capacidad para ser entendido, Capacidad para ser aprendido, Capacidad para ser administrado, Capacidad de ser atractivo, Cumplimiento de la usabilidad.
Eficiencia:	Comportamiento temporal, Utilización de recursos, Cumplimiento de la eficiencia.
Mantenibilidad:	Capacidad de ser analizado, Capacidad para ser cambiado, Estabilidad, Capacidad para ser probado, Cumplimiento de la mantenibilidad.
Portabilidad:	Adaptabilidad, Instalabilidad, Coexistencia, Capacidad para reemplazar, Cumplimiento de la portabilidad.

La Tabla I muestra las seis características de calidad definidas en el estándar de calidad 9126-1 y su descomposición en subcaracterísticas

B. Pasos a seguir para la construcción de modelos de calidad ISO/IEC 9126-1

Paso 0: Definir el dominio

Primero, se debe examinar cuidadosamente y describir el dominio de interés, con la ayuda de expertos. Para describir el dominio, se recomienda usar el modelo conceptual para mantener el rastro de los conceptos relevantes [7].

Uno de los problemas más grandes es la falta de terminología estándar entre los paquetes de software de un dominio. Los diferentes vendedores se refieren al mismo concepto por nombres diferentes, o incluso peor, el mismo nombre podría denotar conceptos diferentes en paquetes diferentes. Descubriendo todos estos conflictos durante este paso preliminar es esencial para evitar incongruencias semánticas a lo largo del proceso de selección de software.

Paso 1: Determinar subcaracterísticas de calidad

La descomposición de características en subcaracterísticas que aparece en el estándar es bastante razonable y debe usarse a menos que, buenas razones para no hacerlo así las dejen fuera durante el análisis del dominio. En estos casos, se puede añadir nuevas subcaracterísticas específicas para el dominio, redefinir la definición de las existentes, o incluso eliminar algunas [7].

Paso 2: Definir una jerarquía de subcaracterísticas

Típicamente, se puede descomponer las subcaracterísticas con respecto a algunos factores, produciendo una jerarquía [7].

Una situación frecuente aparece en la subcaracterística de Funcionalidad. Los paquetes de software exitosos tienden a incluir aplicaciones que no se relacionan originalmente a ellos. Una razón usual para esto es que a menudo los proveedores de productos intenten incluir características para diferenciar sus productos de sus competidores. Estas aplicaciones adicionales normalmente no se envían en los paquetes originales; ellas se ofrecen separadamente, como extensiones. Pero, ellas son a menudo referenciadas como esenciales para las funciones del paquete proporcionado (aunque el software adicional se requiere a menudo). Como resultado, podemos dividir la característica de Funcionalidad en dos subcaracterísticas, Funcionalidad básica y Funcionalidad Agregada, manteniendo el rastro dentro de cada modelo pero de una manera claramente separada.

Paso 3: Descomponer subcaracterísticas en atributos

Las subcaracterísticas de calidad proporcionan una comprensible vista abstracta del modelo de calidad. Pero luego, la descomposición de los conceptos abstractos en más concretos, da como resultado los atributos de calidad [7]. Un atributo realiza un seguimiento de una determinada característica observable de los paquetes en el dominio. Se debe definir con precisión los atributos para clarificar los conceptos de calidad subyacentes que ellos representan y para enlazarlos con las subcaracterísticas apropiadas.

Paso 4: Descomponer los atributos derivados en básicos

Algunos de los atributos que surgen en el Paso 3 (por ejemplo, el número de lenguajes soportados) pueden ser directamente medibles dado un producto particular, pero otros todavía podrían ser lo suficientemente abstractos para requerir una descomposición más. Este es el caso de la calidad del atributo de interfaz gráfica; la calidad podría depender de factores como facilidad de uso, la profundidad del camino más largo en un proceso de navegación, y los tipos de interfaz de apoyo. Por lo tanto, podemos distinguir entre atributos derivados y básicos. Los atributos derivados deben descomponerse hasta que ellos sean completamente expresados en términos de unos básicos [7].

Paso 5: Indicar las relaciones entre subcaracterísticas de calidad

Para obtener un modelo de calidad muy completo, se debe también indicar explícitamente las relaciones entre las subcaracterísticas de calidad [7].

Dadas dos subcaracterísticas de calidad A y B, se pueden identificar varios tipos de relaciones:

- Colaboración: Crecimiento de A implica crecimiento de B.
- Daño: Crecimiento de A implica disminución de B.
- Dependencia: Algunos valores de A requieren que B cumpla algunas condiciones.

Además, es posible construir más tipos elaborados de estas relaciones.

Paso 6: Determinar métricas para los atributos

No sólo se debe identificar los atributos sino también seleccionar métricas para todos los atributos básicos así como las métricas para aquellos atributos derivados sin restricciones de contexto [7]. Se puede usar la teoría general de métrica para este propósito. También, ISO/IEC está trabajando actualmente en escribir el estándar para métricas externas 9126-2.

Las métricas para algunos atributos de calidad pueden ser difíciles de definir. Así, como los estados normales, teniendo métricas rigurosas es la única manera de obtener un modelo de calidad útil para hacer comparaciones fiables.

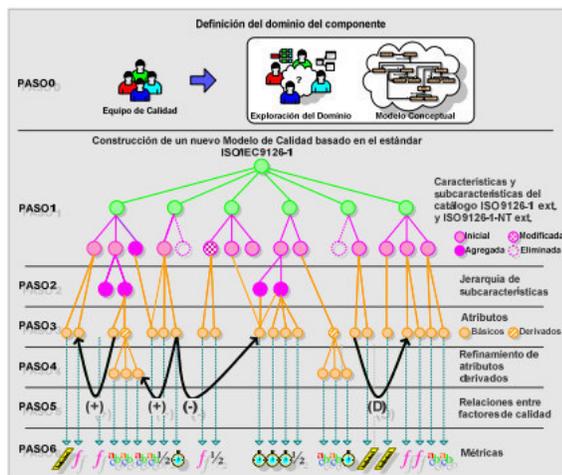


Figura 3: Seis pasos del modelo de calidad [7]

III. PROCEDIMIENTO

A. Modelo de calidad

Se describe un modelo de calidad para los productos de software de base para servidores, de acuerdo al estándar ISO/IEC 9126 compuesto de cuatro partes: modelo de calidad, métricas externas, métricas internas y métricas para la calidad en uso. El mismo que propone un modelo de calidad categorizando la calidad de los atributos software en seis características (funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad), las cuales son subdivididas en subcaracterísticas. La calidad de uso es definida como “la capacidad del software que posibilita la obtención de objetivos específicos con efectividad, productividad, satisfacción y seguridad” [6].

Las características definidas son aplicables a todo software de base para servidores, las características y subcaracterísticas proveen terminología consistente para medir la calidad de los productos software. Ellas también proveen un marco de trabajo para especificar los requisitos de la calidad, y para hacer análisis y evaluaciones entre las capacidades de los sistemas operativos para servidores desde diferentes perspectivas asociadas con adquisición, requisitos, desarrollo, uso, evaluación, soporte, mantenimiento, aseguramiento de la calidad y auditoría de software.

B. Modelo de calidad para evaluar la calidad externa e interna

En este apartado se define el modelo de calidad para evaluar la calidad externa e interna fundamentado en el estándar ISO/IEC 9126. Se establece categorías para las cualidades de la calidad del software, basadas en seis características (funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad), que se subdividen a su vez en subcaracterísticas (Figura 4). Las subcaracterísticas se pueden medir por métrica interna o externa.



Figura 4: Características y Subcaracterística para evaluar la calidad externa e interna

Las definiciones se dan para cada característica y subcaracterística de calidad del software. Para cada característica y subcaracterística, la capacidad del software es determinada por un conjunto de atributos internos y externos que pueden ser medidos.

C. Modelo de calidad para evaluar la calidad en uso

En esta sección se define el modelo de calidad para evaluar la calidad en uso. Los atributos de la calidad en uso según el

estándar ISO/IEC 9126 se categorizan en cuatro características: eficacia, productividad, satisfacción y seguridad (Figura 5).



Figura 5: Características para evaluar la calidad en uso

La calidad en uso es la visión de calidad del usuario. Alcanzar la calidad en uso depende necesariamente del logro de la calidad externa, que a su vez depende ineludiblemente de la consecución la calidad interna.

Las métricas son normalmente requeridas en tres niveles: interno, externo y de uso. Encontrar criterios para establecer las métricas internas, no es normalmente suficiente para asegurar el logro de criterios para las métricas externas, y encontrar criterios para las métricas externas, no es normalmente suficiente para asegurar el logro de criterios para la calidad en uso.

D. Métricas

1) Métrica interna

La métrica interna puede ser aplicada a un producto de software no-ejecutable (como una especificación o código fuente) durante el diseño y la codificación. En el desarrollo de un producto de software, los productos intermedios deben ser evaluados usando métricas internas que permitan medir las propiedades intrínsecas, incluyendo aquellas que pueden derivarse de comportamientos simulados. El propósito primario de esta métrica interna es asegurar que se logre la calidad externa y la calidad de uso requerida. La métrica interna proporciona a los usuarios, evaluadores, verificadores y desarrolladores el beneficio de que puedan evaluar la calidad del producto de software y lo referido a problemas de calidad antes que el producto de software sea puesto en ejecución.

Las métricas internas miden atributos internos o indican los atributos externos, a través del análisis de las propiedades estáticas de productos intermedios o entregables del software. Las mediciones de las métricas internas usan números o frecuencias de elementos de composición de software, los cuales aparecen, por ejemplo, en las sentencias de código de fuente, control de gráficos, flujo de datos y estados de representación de procesos.

2) Métrica externa

Las métricas externas usan mediciones de un producto de software, derivadas del comportamiento del mismo, a través de la ejecución de pruebas de funcionamiento y operación del software. Antes de adquirir o usar un producto de software, éste debe ser evaluado aplicando las métricas basadas en los objetivos institucionales respecto a la utilización, explotación y gestión del producto, considerando la organización y el

ambiente técnico. Las métricas externas proporcionan a los usuarios, evaluadores, verificadores y desarrolladores, el beneficio de que puedan evaluar la calidad del producto de software durante las pruebas o en producción.

E. Proceso de evaluación de software

Para caracterizar la calidad de un producto software en términos de un modelo de calidad, es necesario que todo proceso de evaluación de software deba partir de una evaluación cualitativa y derivar en una evaluación cuantitativa, debiendo documentar todo el proceso, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos [8]:

3) Identificar el tipo de producto

Se determina el tipo de producto a evaluar, por ejemplo si es un sistema operativo para servidores de distribución privativa o no privativa. Asimismo, se debe establecer su relación con estándares de software que utiliza el área informática de la institución, a fin de poder asegurar la legalidad del producto.

4) Especificar el modelo de calidad

Se especifica el modelo de calidad teniendo como marco de referencia al estándar ISO/IEC 9126, el mismo que debe ser aprobado por la jefatura del área informática de la institución.

5) Seleccionar características, subcaracterísticas y métricas

De acuerdo a la filosofía de descomposición del estándar ISO/IEC 9126, se selecciona un subconjunto de características de calidad como requisitos de calidad para el producto, se decide la descomposición más adecuada para las características de calidad seleccionadas organizándolas en orden de importancia.

Una vez establecidas las características de calidad, el modelo de calidad proporciona automáticamente el conjunto de atributos o subcaracterísticas relacionadas con dichas características.

Para cada una de las subcaracterísticas de calidad se definen o eligen entonces un conjunto de métricas propuestas por el modelo de calidad.

6) Establecer niveles o escalas para las métricas

El área informática se encarga de establecer valores deseables para las subcaracterísticas en función de datos históricos, la experiencia del personal técnico y operativo, etc., estableciendo los siguientes indicadores: puntaje máximo de referencia para cada métrica, puntaje total de todas las métricas, niveles de calificación cualitativa (por ejemplo: muy insatisfecho, insatisfecho, regular, satisfecho o muy satisfecho). Por último, se determinan los valores mínimos aceptables.

7) Establecer criterios de valoración

El personal técnico del área de informática que participa en el proceso de evaluación debe tener criterios con respecto al

indicador que se está analizando, Es importante tener en cuenta que el criterio debe ajustarse al tipo de software que se va a evaluar.

8) *Tomar medidas*

Para la medición, las métricas seleccionadas se aplican al producto de software. Los resultados son valores de acuerdo a los niveles o escalas para las métricas establecidos previamente.

9) *Comparar con los criterios*

En el paso de puntuación, el valor medido se compara con los criterios de valoración establecidos anteriormente. Hay que elaborar un cuadro de resultados, como el que se aprecia en la tabla II.

TABLA II
COMPARACIÓN DE CRITERIOS

	Puntaje Máx	SOFT. 1	SOFT. 2	SOFT. n
Atributos internos					
• Ai1	PmaxAi1				
• Ai2	PmaxAi2				
....				
• Ain	PmaxAin				
Atributos externos					
• Ae1	PmaxAe1				
• Ae2	PmaxAe2				
....				
• Aen	PmaxAen				
Atributos de uso					
• Au1	PmaxAu1				
• Au2	PmaxAu2				
....				
• Aun	PmaxAun				
	100				

10) *Valorar resultados*

El objetivo es evaluar si el producto software cumple con las especificaciones dadas por el personal técnico y operativo de la institución y poder determinar si es procedente su adquisición. La valoración es el paso final del proceso de evaluación del software.

11) *Documentación*

La explicación para cualquier selección o decisión debe ser adecuadamente documentada y aprobada por la jefatura del área informática de la institución.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez seleccionadas y organizadas por su importancia cuáles de las características de calidad van a ser requisitos de calidad del producto, establecido y definido el conjunto de subcaracterísticas y métricas proporcionadas por el modelo de calidad basado en estándar ISO/IEC 9126, determinados y validados los valores de las métricas en función de datos históricos, la experiencia del personal técnico y operativo, etc.

En la tabla III, se muestra la evaluación de las subcaracterísticas de calidad para sistemas operativos tomados como referencia.

TABLA III
EVALUACIÓN DE SUBCARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

Características	Puntaje máximo	Sistema Operativo	
		Win. Serv.	Linux serv.
CALIDAD INTERNA Y EXTERNA	60.00	60.00	43.00
1. Funcionalidad	10.00	10.00	8.00
1.1. Adecuación	2.00	2.00	1.00
1.2. Exactitud	2.00	2.00	2.00
1.3. Interoperabilidad	2.00	2.00	1.00
1.4. Seguridad	2.00	2.00	2.00
1.5. Cumplimiento funcional	2.00	2.00	2.00
2. Fiabilidad	10.00	10.00	7.00
2.1. Madurez	3.00	3.00	1.00
2.2. Tolerancia a Fallos	2.00	2.00	1.00
2.3. Capacidad de recuperación	2.00	2.00	2.00
2.4. Cumplimiento de la fiabilidad	3.00	3.00	3.00
3. Usabilidad	10.00	10.00	5.00
3.1. Capacidad para ser entendido	2.00	2.00	1.00
3.2. Capacidad para ser aprendido	2.00	2.00	1.00
3.3. Capacidad para ser administrado	2.00	2.00	1.00
3.4. Capacidad de ser atractivo	2.00	2.00	1.00
3.5. Cumplimiento de la usabilidad	2.00	2.00	1.00
4. Eficiencia	10.00	10.00	10.00
4.1. Comportamiento temporal	3.00	3.00	3.00
4.2. Utilización de Recursos	3.50	3.50	3.50
4.3. Cumplimiento de la eficiencia	3.50	3.50	3.50
5. Mantenibilidad	10.00	10.00	5.00
5.1. Capacidad de ser analizado	2.00	2.00	2.00
5.2. Capacidad para ser cambiado	2.00	2.00	2.00
5.3. Estabilidad	2.00	2.00	2.00
5.4. Capacidad para ser probado	2.00	2.00	1.00
5.5. Cumplimiento de la mantenibilidad	2.00	2.00	1.00
6. Portabilidad	10.00	10.00	5.00
6.1. Adaptabilidad	2.00	2.00	1.00
6.2. Instalabilidad	2.00	2.00	1.00
6.3. Coexistencia	2.00	2.00	2.00
6.4. Capacidad para reemplazar	2.00	2.00	1.00
6.5. Cumplimiento de la portabilidad	2.00	2.00	0.00

CALIDAD DE USO	40.00	37.00	34.00
1. Eficacia	10.00	9.00	9.00
2. Productividad	10.00	9.00	9.00
3. Seguridad	10.00	9.00	9.00
4. Satisfacción	10.00	10.00	7.00
	100.00	97.00	77.00

V. CONCLUSIONES

La variedad de software que existe en el mercado, asociado a la dificultad para seleccionar el producto software que mejor se ajuste a las necesidades particulares de una organización, conllevó a proponer un modelo de evaluación y selección que soporte la adquisición del software de base para servidores.

La investigación realizada da cuenta de una importante tendencia que propone incorporar un modelo de calidad para la selección de software inspirado en la norma ISO/IEC 9126, a fin de lograr una adquisición acertada de productos software sistema operativo para servidores.

La aplicación del proceso de evaluación de software propuesto basado en el estándar ISO/IEC 9126, concluye con las recomendaciones para la adquisición del sistema operativo para servidores que se ajuste a los requisitos institucionales.

Las empresas que implementen un modelo de calidad para la selección de software podrán conocer los atributos de calidad que están presentes en un sistema operativo para servidores (confiabilidad y seguridad, entre otros) y las recomendaciones oportunas que favorecen su selección.

La evaluación del modelo implementado a través del análisis de dos sistemas operativos, mostró que es pertinente a la calidad de los mismos, completo en cuanto a su especificación, adecuado en el contexto de evaluación y preciso en el resultado alcanzado.

REFERENCIAS

[1]. A. de Antonio Jiménez, "Calidad del Software", Apuntes de la Asignatura de Planificación y Gestión del Desarrollo de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, 1999.

[2]. Jeffrey Voas. Software's Secret Sauce: The "-ilities". IEEE Software, 2004.

[3]. Kitchenham. Software Metrics, 1989.

[4]. Gillies, Alan C. "Software Quality, Theory and Management". International Thomson Computer Press, 1997.

[5]. Jeffrey Voas. "The Software Quality Certification Triangle". CrossTalk, 1998.

[6]. M. Estayno, G. Dapozo, L. Cuenca Pletch, C. Greiner, "Modelos y Métricas para evaluar Calidad de Software". XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. San Juan, Argentina. 2009.

[7]. Xavier Franch, Juan Pablo Carvalho: "Using Quality Models in Software Package Selection". IEEE Software 20(1): 34-41 (2003).

[8]. Juan P. Carvalho, Xavier Franch, Carme Quer: "Calidad de Componentes Software". Cap. libro en Calidad del Producto y Proceso Software (ed. RA-MA), 287-316, 2010.

[9]. Carlos Alberto Largo García, Erledy Marin Mazo, "Guía Técnica para Evaluación de Software", primera edición 2005.

[10]. Juan Pablo Carvalho, Xavier Franch, Carme Quer: "Requirements engineering for COTS-based software systems". Proceedings ACM SAC 2008: 638-644.

[11]. Juan Pablo Carvalho, Xavier Franch, Carme Quer: "Determining Criteria for Selecting Software Components: Lessons Learned". IEEE Software 24(3): 84-94 (2007).

[12]. Ayala, C.P. y Franch, X. (2009). "Gestión Sistemática de la Calidad de la Información en los Procesos de Selección de Componentes de Software". En: Procs. XII Conferencia Iberoamericana de Ingeniería de Requisitos y Ambientes de Software (IDEAS'09).

[13]. Bøegh, J., Depanfilis, S., Kitchenham, B. y Pasquini. A. (1999). "A Method for Software Quality Planning, Control, and Evaluation". En: IEEE Software, 23(2).

[14]. Gillies. "Software Quality, Theory and Management", 2006.

[15]. International Standards Organization (2001-2004). "ISO/IEC Standard 9126-1: Software Engineering – Product Quality – Part 1: Quality Model; Part 2: External Metrics; Part 3: Internal Metrics; Part 4: Quality in Use Metrics".



Espinel Patricio. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con: Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, y un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: gpespinel@espe.edu.ec.



Montaluisa Javier. Nació en Latacunga Provincia de Cotopaxi en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Sistemas e Informática en el año 1999 y cuenta con un Masterado en Ingeniería de Software de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador.

Actualmente Docente Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE Extensión Latacunga. Email: fjmontaluisa@espe.edu.ec

Diseño e Implementación de un Prototipo de Unidad de Medición Fasorial (PMU - Phasor Measurement Unit) para el Monitoreo, Control y Protección de Sistemas Eléctricos

D. Ortiz Villalba, A. Villamarín Jácome, D. Espín Sarzosa

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga - Ecuador

ermena@espe.edu.ec, webonilla@espe.edu.ec, wotraves@espe.edu.ec, lemna@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen.- En el Sistema eléctrico ecuatoriano las altas transferencias de potencia han provocado en más de una ocasión problemas de inestabilidad, el uso de nuevas tecnologías basadas en PMUs es una de las soluciones para hacer frente a estos inconvenientes. Este trabajo presenta el cálculo de los parámetros en tiempo real de un sistema de potencia en estado estable usando un prototipo PMU basado en tecnología FPGA (Field Programmable Gate Array), para el monitoreo, control y protección de un sistema eléctrico a través de una interfaz amigable para el usuario.

Palabras Clave— Sistema Eléctrico de Potencia, Unidad de medición Fasorial, FPGA.

Abstract— In the Ecuadorian electrical system the high power transfers have had in more than one occasion instability, so the use of new technologies based on PMUs is a solution to address these drawbacks. This article presents the calculation of power system steady stable parameters in real time using a PMU prototype with FPGA (Field Programmable Gate Array) technology for monitoring, control and protection of electrical system using a user-friendly interface.

Index terms— Electrical Power Systems, Phasor Measurement Unit, Field Programmable Gate Array.

I. INTRODUCCIÓN

Dado que los sistemas eléctricos de potencia (SEP) se han desarrollado durante el último siglo, las diferentes formas de inestabilidad se hicieron importantes durante diferentes períodos. Los métodos de análisis y resolución de problemas de estabilidad fueron influenciados por los desarrollos en herramientas computacionales, la teoría de la estabilidad y el control tecnológico de los SEP. [1]

Los sistemas eléctricos de potencia hoy en día se encuentran cada vez más debilitados y sobrecargados, por lo que un incremento en la diferencia angular entre los extremos de las líneas de transmisión podría generar problemas de inestabilidad en el sistema. Las restricciones medioambientales están limitando la expansión de la red de transporte, a la vez que, alejan, cada vez más, la generación del consumo final. Por otra parte, los reglamentos impuestos

por los entes reguladores de sistema obligan a las compañías eléctricas a aprovechar al máximo sus activos.

En los últimos años se ha incrementado el número de apagones en el mundo por colapso de voltaje, de tal manera, que en promedio en los últimos 40 años se ha presentado al menos un apagón de gran magnitud por año. [2]

En el Ecuador el 12 de Abril de 2004 a las 06:07 horas se presentó una falla monofásica sostenida en la fase B de la Línea Electroquil-Gonzalo Zevallos a 69 kV, y luego se perdieron dos unidades de generación en la subestación Gonzalo Zevallos con aproximadamente 140 MW. La condición de falla sostenida afectó el voltaje del Sistema Ecuatoriano hasta la frontera con Colombia, presentando una caída de voltaje en Jamondino del orden de 17 kV entre fases. Dos características P-V extractadas de los registros de falla de los eventos de Septiembre 26 de 2003 y Marzo 29 de 2004 en forma comparativa con el evento de Abril 12 de 2004 representan tres condiciones diferentes en la operación de la interconexión y los comportamientos indican que el voltaje cae progresivamente y supera un valor crítico sin que sea posible detener esa evolución. [3]

Por ello, y dada la exigencia en mejorar la calidad del suministro eléctrico hoy en día, es necesario operar el sistema de una manera más eficiente y confiable. Las unidades de medición fasorial (PMUs) presentan un importante número de aplicaciones que permiten aumentar la eficacia de la red, por lo que cada vez más compañías eléctricas optan por implementar PMUs, con el fin de aprovechar las múltiples ventajas que ofrece la medición fasorial. [4]

Las unidades de medición de fasorial sincronizados se introdujeron a mediados de la década de los años 80. [5] Desde entonces, el tema de las mediciones de área extendida en sistemas eléctricos de potencia utilizando PMUs y otros instrumentos de medición han recibido considerable atención por parte de los investigadores.

Los primeros prototipos de PMUs fueron construidas en la Universidad Virginia Tech, luego estos dispositivos evolucionaron a productos comerciales que se han instalado en varios lugares del mundo. [6] Las unidades de medición

fasorial se fundamentan en la teoría de sincrofasores. Un fasor es un número complejo que representa una forma de onda sinusoidal pura en estado estacionario. Los fasores se utilizan como la herramienta matemática básica de análisis de circuitos de corriente alterna. [7] Un sincrofasor se define como un término usado para describir un fasor que ha sido estimado en un instante conocido como la etiqueta de tiempo de los sincrofasores. [8]

Las unidades de medición fasorial (PMUs) son dispositivos que permiten estimar sincrofasores de las ondas sinusoidales de corriente y voltaje AC, en diferentes nodos de una sistema eléctrico. [9] La medición sincronizada de fasores es descrita en la norma IEEE C37.118-2005 [9], la que trata principalmente el tema de las comunicaciones con las PMU y la precisión de las mediciones en estado estacionario. [10]

La tecnología sincrofasorial ha desarrollado varias aplicaciones para el análisis, operación, control y protección en tiempo real de los sistemas eléctricos de potencia. Esta tecnología está siendo implementada en varios sistemas de energía modernos alrededor del mundo [11],[12] como parte de un proceso de modernización hacia el avance en redes inteligentes (Smart Grids). [13], [14]

En la actualidad la tecnología de mediciones fasoriales sincronizadas ha alcanzado un gran desarrollo, y la mayoría de los sistemas de energía modernos están en proceso de instalación de los sistemas de medición de área extendida (WAMS – *Wide Área Measurement System*) [15], que constan de unidades de medición fasorial. La Corporación CENACE (Centro Nacional de Control de Energía) ha emprendido, desde el año 2010, un proyecto para estructurar un sistema WAMS que facilite el monitoreo y supervisión en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado (SNI) a partir de mediciones sincrofasoriales. [16] Actualmente en el SNI se encuentran instalados 22 PMUs, con un sistema de comunicación de alta velocidad basado en fibra óptica y un concentrador de datos fasoriales (PDC), ubicado en el centro de control. [17]

II. METODOLOGÍA

La propuesta metodológica es implementar un sistema de monitoreo sincrofasorial en tiempo real, es decir, un sistema que permita el análisis comparativo de los fasores de voltaje entre dos puntos de la red eléctrica (barras de generación y retiro); para el efecto se muestra una interfaz amigable para que el usuario pueda monitorear el sistema y en caso de ser necesario realice acciones de control y protección, con la finalidad de detectar situaciones de riesgo de inestabilidad y controlarlas, evitando el colapso generalizado de los voltajes del sistema, logrando una operación eficiente dentro de los márgenes eléctricos establecidos.

Para el desarrollo de esta investigación, se tomaron en cuenta diversos factores determinantes en el diseño del prototipo, en la Fig. 1 se detalla la metodología utilizada para la elaboración del proyecto:

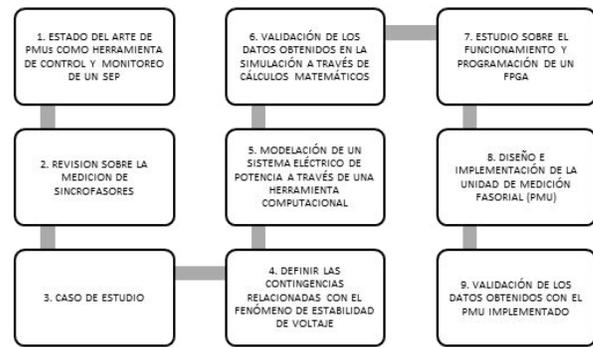


Figura 1: Aspectos considerados en la implementación de un PMU

A continuación se presenta el desarrollo de los puntos propuestos en la metodología para el presente trabajo de investigación.

- 1) Estado del Arte: esta sección fue presentada en la primera sección del presente artículo.
- 2) Revisión sobre la medición de sincrofasores: esta sección fue presentada en la primera sección del presente artículo.
- 3) Caso de estudio: se consideró un circuito que emula un sistema eléctrico de potencia trifásico balanceado, que consta de una fuente de alimentación, un banco de transformadores, un módulo de líneas de transmisión, un módulo de resistencias y un módulo de capacitores, el circuito usado como caso de estudio se muestra en la Fig. 2.

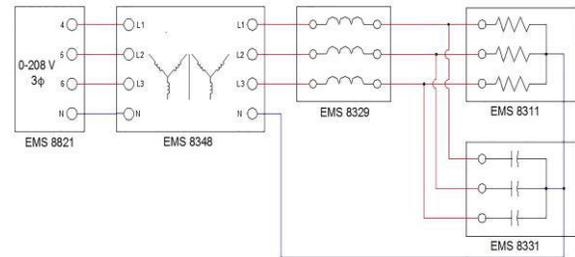


Figura 2: Caso de estudio

La fuente de alimentación utilizada en esta conexión es trifásica, a 60 Hz, 208 V. El banco de transformadores está en conexión Yn-yn con una relación de transformación de 1:1, el módulo que emula el comportamiento de las líneas de transmisión está basado en el modelo de impedancia en serie, debido a que es una línea de corta distancia. El módulo de carga resistiva permite simular cargas del orden de: 1200, 600 y 300 Ohmios. El módulo de carga capacitiva permite simular cargas del orden de: 1200, 600 y 300 Ohmios (X_C).

- 4) Contingencias para provocar inestabilidad de voltaje: la estabilidad de voltaje se enfoca en el estudio de la habilidad que posee un sistema de potencia para mantener sus voltajes en niveles aceptables en todas las barras del sistema, luego que éste ha sufrido una perturbación a partir de una condición inicial dada. [18] La inestabilidad de voltaje está relacionada con la insuficiencia de recursos de potencia reactiva en el sistema y tiene como consecuencia un decremento progresivo en la magnitud de voltaje en las barras.

La curva Potencia-Voltaje (P-V) es una de las herramientas más utilizadas para analizar la estabilidad de voltaje en sistemas eléctricos.

La metodología para obtener la curva P-V consiste en variar de forma progresiva la carga en una de las barras del sistema de potencia y observar lo que ocurre con el voltaje. La curva P-V es propia para cada barra en la que se asume un crecimiento de la demanda, es decir la curva es única para cada una de las barras analizadas. [19]

Las contingencias que pueden provocar la inestabilidad de voltaje en el sistema son varias [20], para el caso en estudio se consideró un incremento progresivo de la carga, hasta que el sistema de potencia se encuentre fuertemente sobrecargado, debido a esto se producen fuertes depresiones en el perfil de voltaje provocando la inestabilidad del sistema.

Las PMUs permiten estimar la proximidad del estado operativo actual al colapso de voltaje a través de la determinación de la curva P-V en tiempo real [16], lo que permitiría prevenir algunos casos de inestabilidad que pueden conllevar a un corte de energía total o parcial. [4]

- 5) Modelado del caso de estudio: se realizó el modelo del sistema eléctrico de potencia simulando el fenómeno físico de estabilidad de voltaje, este fue desarrollado en el software Matlab - Simulink – SimPowerSystems, de esta forma se integra el análisis numérico, el cálculo matricial y el procesamiento de señales con gráficos que facilitan la comprensión de dichos cálculos. SimPowerSystems es una librería de MATLAB/Simulink para el diseño y simulación de sistemas de energía eléctrica tanto en régimen transitorio como en régimen permanente. [21]
- 6) Validación del modelo del caso de estudio: en la Fig. 3 se muestra el circuito equivalente para un modelo de sistema eléctrico de potencia sin compensación de reactivos, constituido por una fuente de alimentación de voltaje (E) en serie con dos reactancias, donde jX_T y $jX_{L/T}$ representan las reactancias inductivas por cada fase del transformador y de la línea de transmisión respectivamente. En la barra de retiro de voltaje (V) se conectan cargas resistivas representadas por R.

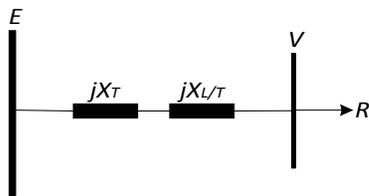


Figura 3: Circuito sin compensación de reactivos

El voltaje de la fuente (E) es el valor monofásico nominal del sistema, que se obtiene a través de (1)

$$E = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Donde $V_{3\phi}$ es el voltaje trifásico nominal.

La corriente que circula por la línea de transmisión (I_L) es determinada por (2).

$$I_L = \frac{E}{X_T + X_{L/T}} \quad (2)$$

Para la construcción de la curva P-V, es necesario determinar la potencia monofásica ($P_{1\phi}$) consumida por la carga resistiva y el voltaje monofásico en la barra de retiro (V) que son obtenidas a través de (3) y (4) respectivamente.

$$P_{1\phi} = (I_L)^2 \cdot R \quad (3)$$

$$V = E - I_L \cdot (X_T + X_{L/T}) \quad (4)$$

Para el circuito modelado con compensación de reactivos mostrado en la Fig. 4, se añade en la barra de retiro una reactancia capacitiva (jX_C) al circuito equivalente de la Fig. 3.

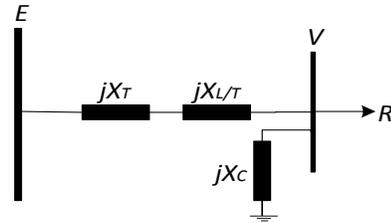


Figura 4: Circuito con compensación de reactivos

El voltaje de la fuente se obtiene a través de (5).

$$E = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

La impedancia equivalente (Z_{eq}) del circuito se determina a través de (6).

$$Z_{eq} = (jX_T + jX_{L/T}) + \frac{R \cdot (-jX_C)}{R - jX_C} \quad (6)$$

A partir de (5) y (6) se puede obtener la corriente que circula por la línea de transmisión, como se muestra en (7).

$$I_L = \frac{E}{Z_{eq}} \quad (7)$$

El voltaje en la barra de retiro se obtiene a través de (8).

$$V = E - I_L \cdot (jX_T + jX_{L/T}) \quad (8)$$

Con las ecuaciones (9) y (10) es posible determinar la potencia reactiva monofásica consumida en cada fase por la línea de transmisión y el transformador ($Q_{L1\phi}$), y la potencia reactiva monofásica suministrada por la capacitancia ($Q_{C1\phi}$) respectivamente.

$$Q_{L\phi} = (I_L)^2 \cdot (jX_T + jX_{L/T}) \quad (9)$$

$$Q_{C\phi} = \frac{V^2}{-jX_C} \quad (10)$$

La potencia monofásica consumida por la carga resistiva equivalente de la barra de retiro se determina por

medio de (11).

$$P_{1\phi} = \frac{V^2}{R} \quad (11)$$

De (10) y (11) se puede obtener el ángulo (θ) entre las potencias activa y reactiva, como se expresa en (12).

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q_{C_{1\phi}}}{P_{1\phi}} \right) \quad (12)$$

A partir de (12) se puede obtener (13)

$$f.p. = \cos \theta \quad (13)$$

Donde f.p. es el factor de potencia de la carga.

- 7) Funcionamiento y programación de un FPGA: los requerimientos del sistema de adquisición, procesamiento y control del prototipo son: adquirir las señales físicas de voltajes y corrientes, realizar el procesamiento de las señales a alta velocidad, sincronización de E/S y disparo personalizado para el control de los módulos de resistencias y capacitancias.

El sistema fue desarrollado en la plataforma NI Single-Board RIO (sbRIO), el cual es un sistema embebido y reconfigurable de control y adquisición que combina dispositivos embebidos de despliegue que poseen un procesador en tiempo real, arreglo de compuertas programable en campo (FPGA) y E/S analógicas y digitales reconfigurables (RIO) en una sola tarjeta que es programada a través del software NI LabVIEW (Fig. 5). [22], [23].

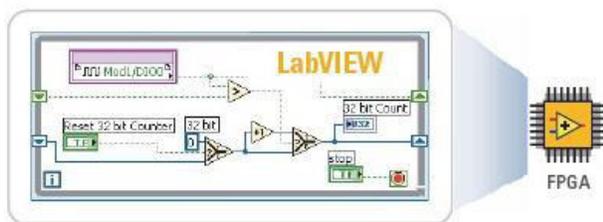


Figura 5. Tecnología FPGA con E/S Reconfigurable (RIO)

Los FPGAs son completamente reconfigurables y al instante toman una nueva “personalidad” cuando se compila una diferente configuración de circuitos. También, los FPGAs llevan a cabo diferentes operaciones de manera paralela, por lo que éstas no necesitan competir por los mismos recursos. [24]

La programación de FPGAs ha requerido previamente conocimiento de VHDL o Verilog. National Instruments (NI) ha desarrollado herramientas de diseño que se basan en LabVIEW FPGA, el cual es un lenguaje de programación gráfica para FPGAs [25] con lo que un lazo intuitivo e íconos reemplazan miles de líneas equivalentes de código VHDL.

- 8) Diseño e implementación del prototipo: con el objetivo de investigar la estabilidad de voltaje en tiempo real, detectar la contingencia en el sistema y realizar una acción de

control adecuada al sistema eléctrico de potencia implementado en Laboratorio, se desarrolló un prototipo de unidad de medición fasorial para el monitoreo, control y protección de sistemas eléctricos.

El tema más importante en el desarrollo de este trabajo de investigación, es la medición precisa de los parámetros eléctricos del sistema en tiempo real. [26] Por lo tanto, todos los esfuerzos se concentran en el desarrollo de un prototipo de PMU mediante el uso del Kit de Evaluación NI Single-Board RIO 9636 y un software en tiempo real.

- 9) Validación de la PMU implementada: se procedió al ajuste y calibración del prototipo, contrastando los datos tomados con valores medidos con un instrumento patrón (anализador de calidad de energía FLUKE 41B [27]), con la finalidad de presentar un equipo de medición que muestre valores de parámetros eléctricos con un porcentaje de error aceptable dentro de los márgenes eléctricos establecidos.

Caso de Estudio

Con la finalidad de analizar el fenómeno de inestabilidad de voltaje del sistema frente a pequeñas y grandes perturbaciones [28] y [18], en tiempo real y en estado estable, al circuito en estudio se lo sobrecargó, para efectuar el análisis de la curva P-V en la barra de retiro del sistema eléctrico de potencia a escala implementado en laboratorio.

Este proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo de PMU mediante el uso de arquitectura RIO con tecnología FPGA y un software (LabVIEW) que muestre una medición precisa de los parámetros eléctricos en tiempo real, para controlar los problemas de inestabilidad de voltaje frente a una contingencia y proteger al sistema eléctrico implementado que se muestra en la Fig. 6.

La adquisición de las señales analógicas de entrada de voltajes y corrientes son obtenidas a través de transformadores de voltaje y corriente, luego estas señales son convertidas en voltajes apropiados (típicamente en el rango de ± 10 Voltios) de modo que estén acorde con los requerimientos del convertidor analógico-digital de la tarjeta sbRIO-9636.

El microprocesador (tarjeta sbRIO-9636) calcula los fasores estimados de todas las señales de voltaje y corriente utilizando las técnicas de estimación [6], a través de las herramientas de la paleta Electrical Power Suite [29] del software LabVIEW, las cuales cumplen con lo estipulado en la norma IEEE C37.118:2005, con fines de medición y control.

La comunicación entre la PMU y la computadora permite al usuario mediante el uso de LabVIEW, calcular y presentar formas de onda, parámetros eléctricos, curva P-V, perfil de voltaje y sincrofasores del sistema eléctrico de potencia monitoreado.

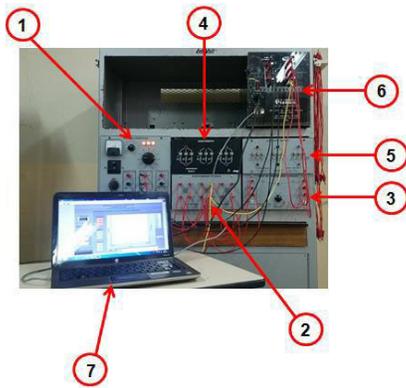


Figura 6: PMU implementado en el circuito de potencia

A continuación se detallan los elementos que se enumeran en la Figura 04:

1. EMS 8821 Módulo de suministro de potencia (0-120/208 V 3 ϕ)
2. EMS 8348 Módulo de transformador trifásico
3. EMS 8329 Módulo de la línea de transmisión trifásica
4. EMS 8311 Módulo de resistencia
5. EMS 8331 Módulo de capacitancia
6. Prototipo de Unidad de Medición Fasorial (PMU)
7. Computador

Es importante señalar que las PMUs usados en un sistema eléctrico real, con el propósito de sincronizar los fasores medidos de voltaje y corriente del sistema, utilizan el sistema GPS para coordinar su tiempo con referencia de tiempo global. [26] Además, todos las PMUs reciben una señal durante un segundo para hacer referencia de tiempo para todos los parámetros medidos. Para el desarrollo de esta aplicación, la referencia de tiempo es proporcionada por el mismo sistema de medición (tarjeta sBRIO-9636).

III. RESULTADOS

A. Resultados simulados

En la Fig. 7 se muestra la simulación del circuito con las cargas resistivas que provocan la contingencia de un sistema fuertemente cargado y que conlleva a la inestabilidad de voltaje en la barra de retiro, el resultado obtenido es la curva P-V mostrada en la Fig. 8, en la cual se observa que mientras aumenta la potencia activa, disminuye el voltaje en la barra de retiro.

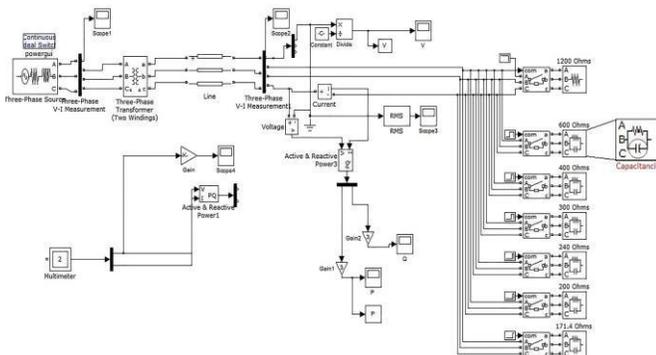


Figura 7: Circuito modelado sin compensación de reactivos en Matlab-

Simulink

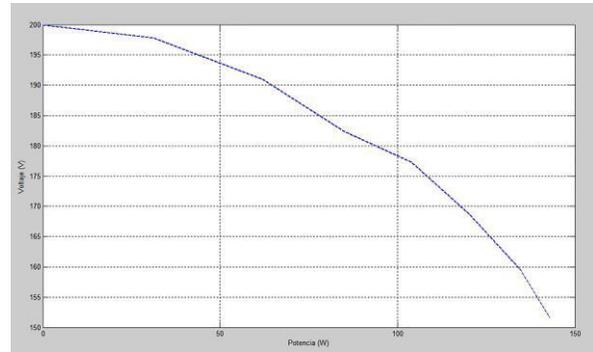


Figura 8: Curva P-V obtenida en la barra de carga

Además en la Fig. 7 se observan las cargas capacitivas agregadas en paralelo a cada una de las resistencias para mitigar la contingencia, contribuyendo a mantener estable el voltaje en la barra de retiro del sistema dentro de valores cercanos al nominal luego de que se produzca la perturbación (Fig. 9).

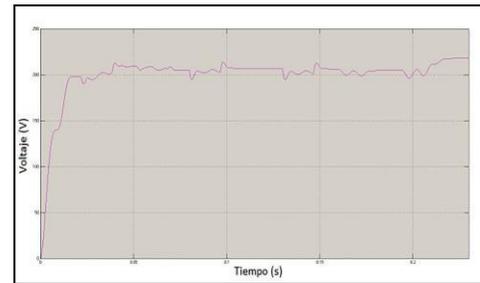


Figura 9: Perfil de voltaje compensado en la barra de carga

B. Resultados calculados

Con las ecuaciones que rigen el circuito de la Fig. 3, se demuestra el fenómeno de inestabilidad de voltaje en la barra de retiro, como se muestra en la curva P-V de la Fig. 10.

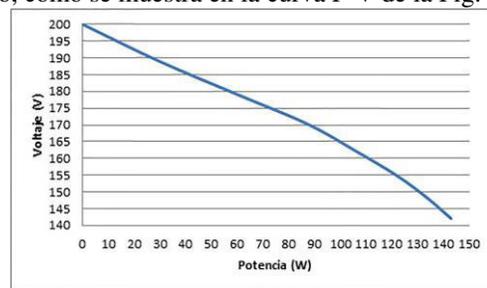


Figura 10: Curva P-V realizada con los valores calculados

C. Resultados medidos

La Fig. 11 muestra la curva P-V que se obtuvo con la PMU prototipo implementada en el caso de estudio y en la Fig. 12 se indica el perfil de voltaje compensado en la barra de retiro.

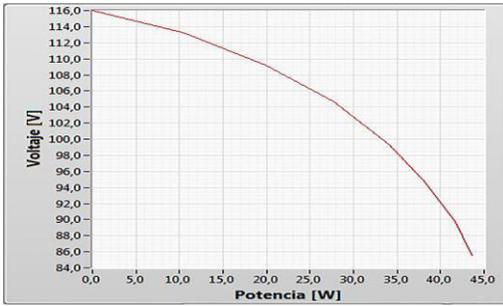


Figura 11: Curva P-V realizada con los valores calculados

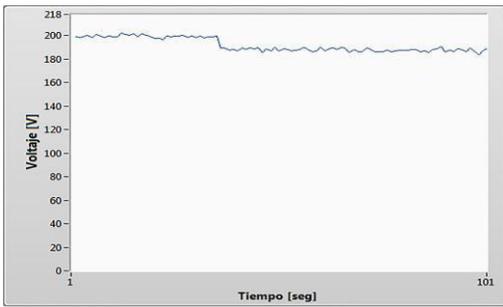


Figura 12: Perfil de voltaje compensado en la barra de carga

Como se puede apreciar la operación del prototipo mitiga la contingencia y trata de mantener el valor de voltaje en un valor cercano al nominal.

La diferencia angular (Fig. 13) entre los voltajes de la barra de generación y de retiro es detectada con el prototipo PMU, con lo que se demuestra que mientras el sistema es sobrecargado, la diferencia angular va en aumento y el voltaje se reduce en la barra donde está conectada la carga.

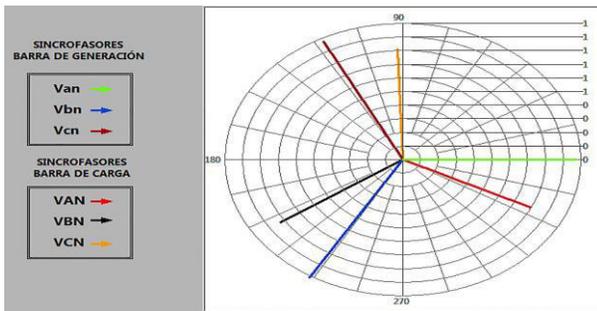


Figura 13: Sincrofasores de los voltajes en p.u.

D. Análisis de los errores en las mediciones

Resulta fundamental determinar aquellas contingencias que producen las caídas de voltaje en la barra de retiro. En este sentido, las tablas I, II, III y IV presentan los resultados del análisis porcentual del margen de error de la comparación entre los valores de los parámetros eléctricos provocados por la contingencia, los mismos que fueron simulados, medidos con el prototipo y contrastados con el instrumento patrón.

TABLA I
ANÁLISIS PORCENTUAL DEL MARGEN DE ERROR DE LA COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE VOLTAJES SIN COMPENSACIÓN

Carga (Ω)	Voltajes obtenidos de la simulación (V)	Voltajes obtenidos con la PMU (V)	Voltajes obtenidos con el instrumento (V)	% Error entre los valores de la simulación y la PMU	% Error entre los valores del instrumento patrón y la PMU
0	115,47	115,30	115,40	0,14	0,08
1200	114,22	111,60	111,20	2,29	0,35
600	111,76	107,80	107,60	3,54	0,18
400	108,87	104,20	103,90	4,28	0,28
300	105,37	98,50	98,90	6,51	0,40
240	98,41	94,40	94,10	4,07	0,32
200	95,29	89,90	89,70	5,65	0,22
171,4	90,97	85,60	86,10	5,90	0,58

TABLA II
ANÁLISIS PORCENTUAL DEL MARGEN DE ERROR DE LA COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE POTENCIAS ACTIVAS SIN COMPENSACIÓN

Carga (Ω)	Potencias activas obtenidas de la simulación (W)	Potencias activas obtenidas con la PMU (W)	Potencias activas obtenidas con el instrumento (W)	% Error entre los valores de la simulación y la PMU	% Error entre los valores del instrumento patrón y la PMU
0	0	0	0	0	0
1200	10,38	10,35	10,30	0,29	0,49
600	20,90	19,95	19,26	4,54	3,58
400	28,18	27,37	26,54	2,87	3,13
300	34,68	33,45	33,72	3,55	0,80
240	39,98	37,99	37,29	4,98	1,60
200	42,35	41,39	41,21	2,27	0,44
171,4	47,52	43,59	44,73	8,27	2,55

TABLA III
ANÁLISIS PORCENTUAL DEL MARGEN DE ERROR DE LA COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE VOLTAJES CON COMPENSACIÓN

Carga (Ω)	Voltajes obtenidos de la simulación (V)	Voltajes obtenidos con la PMU (V)	Voltajes obtenidos con el instrumento (V)	% Error entre los valores de la simulación y la PMU	% Error entre los valores del instrumento patrón y la PMU
300	119,72	115,80	116,10	3,27	0,26
240	118,92	108,60	109,20	8,68	0,55
200	118,90	108,90	109,30	8,41	0,37
171,4	126,04	112,90	113,10	10,43	0,18

TABLE IV
ANÁLISIS PORCENTUAL DEL MARGEN DE ERROR DE LA COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE LOS FACTORES DE POTENCIA CON COMPENSACIÓN

Carga (Ω)	f.p. obtenidos de la simulación	f.p. obtenidos con la PMU	f.p. obtenidos con el instrumento	% Error entre los valores de la simulación y la PMU	% Error entre los valores del instrumento patrón y la PMU
300	0,92	0,91	0,90	1,09	1,11
240	0,93	0,94	0,93	1,08	1,08
200	0,90	0,91	0,92	1,11	1,09
171,4	0,81	0,84	0,83	3,70	1,20

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los usuarios pueden acceder a través de la interfaz gráfica del computador a la información de las formas de onda de voltajes y corrientes, los parámetros eléctricos del sistema, la pantalla para generar la curva P-V del sistema, así como también la gráfica en tiempo real de los sincrofasores.

A. Análisis de resultados de los valores de los voltajes sin compensación

Como se indica en la Tabla V, con el prototipo se obtuvo un error promedio de +0,30% en la medición de los voltajes sin compensación, tomando en cuenta que todo prototipo presenta en sus características un margen de error considerable, debido a esto los resultados obtenidos son coherentes.

TABLE V
ANÁLISIS DE LOS VALORES DE VOLTAJES SIN COMPENSACIÓN

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0,08	0,58	0,30

B. Análisis de resultados de los valores de las potencias activas sin compensación

En la Tabla VI se muestra el análisis de errores de los valores obtenidos con el prototipo en relación a las potencias activas sin compensación, donde el error promedio que es de +1,57%, por lo tanto los resultados son confiables.

TABLE VI
ANÁLISIS DE LOS VALORES DE POTENCIAS ACTIVAS SIN COMPENSACIÓN

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0	3,58	1,57

C. Análisis de resultados de los valores de los voltajes con compensación

En la Tabla VII se muestra el análisis de errores de los valores de voltajes con compensación obtenidos con el prototipo, donde el error promedio que es de +0,34% por lo tanto los valores obtenidos son confiables.

TABLE VII
ANÁLISIS DE LOS VALORES DE VOLTAJES CON COMPENSACIÓN

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
0,18	0,55	0,34

D. Análisis de resultados de los valores de los factores de potencia con compensación

En la Tabla VIII se muestra el análisis de errores de los valores de f.p. con compensación obtenidos con el prototipo, donde el error promedio que es de +1,12%, debido a esto los resultados son coherentes.

TABLE VIII
ANÁLISIS DE LOS VALORES DE F.P. CON COMPENSACIÓN

Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error promedio (%)
1,08	1,20	1,12

V. CONCLUSIONES

El prototipo de PMU implementado contribuirá en la formación de los estudiantes, ya que este cuenta con la tecnología de los sistemas de monitoreo en tiempo real, esto permitirá que realicen pruebas como: provocar contingencias que lleven a la inestabilidad de voltaje al sistema, maniobras de control y protección en tiempo real, para conseguir una operación confiable en el sistema dentro de los márgenes eléctricos.

Los resultados que se obtuvieron en la simulación, en los cálculos matemáticos y que se adquirieron con la PMU implementada son coherentes porque los porcentajes de errores son mínimos.

Con el prototipo (PMU) se consiguió monitorear en

tiempo real el sistema de potencia mediante software y con el uso de tecnología FPGA con arquitectura RIO, detectar situaciones de riesgo de inestabilidad y controlarlas para evitar el colapso generalizado de los voltajes del sistema.

Se realizó una interfaz para el usuario desarrollada en el software LabVIEW myRIO 2013 para monitorear, controlar y proteger al sistema eléctrico de potencia implementado, el sistema de medición sincrofasorial cumple con lo estipulado en la norma IEEE C37.118:2005.

REFERENCIAS

[1] P. Kundur, *Power Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, 1994.

[2] O. Arango, "Análisis de estabilidad de voltaje en tiempo real," Eng. thesis, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, May, 2007.

[3] S. Carvajal and J. Ortega, "Herramienta Computacional básica para el análisis y contribución en la prevención de apagones," Eng. thesis, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, May, 2009.

[4] G. J. Araque and R. Barba, "Unidades de Medición Fasorial - PMU," *Revista Energía Cenace*, pp. 44–50, 2010.

[5] A. G. Phadke, "Synchronized phasor measurements - A historical overview," *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES*, vol. 1, pp. 476–479, 2002.

[6] A. Phadke and J. Thorp, *Synchronized Phasor Measurements and Their Applications*. New York: Springer, 2008.

[7] A. G. Phadke, "Synchronized phasor measurements in power systems," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 6, pp. 10–15, April, 1993

[8] J. D. La Ree, V. Centeno, J. Thorp, and A. Phadke, "Synchronized Phasor Measurement Applications in Power Systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2010.

[9] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems", *IEEE Std. C37.118-2005*, 2005

[10] M. Horinek, P. Bilik, and T. Wittassek, "Modular PMU Tester," *22nd International Conference on Electricity and Distribution.*, pp. 10–13, June, 2013.

[11] A. Phadke, H. Volskis, R. Menezes, T. Bi, R. Nayak, Y. Sehgal, S. Sen, W. Sattinger, E. Martinez, O. Samuelsoon, D. Novosel, V. Madani, and Y. Kulikov, "The Wide World of Wide-Area Measurement," *Power and Energy Magazine, IEEE Journals*, no.1, pp. 52–65, September-October 2008.

[12] S. Chakrabarti, E. Kyriakides, T. Bi, D. Cai, and V. Terzija, "Measurements Get Together," *Power and Energy Magazine, IEEE Journals*, vol. 7, no. 1, pp. 41-49, January-February 2009.

[13] S. Biswas, J. H. Kim, and A. K. Srivastava, "Development of a smart grid test bed and applications in PMU and PDC testing," *2012 North American Power Symp. NAPS 2012*, 2012.

[14] R. H. Khan and J. Y. Khan, "Wide Area PMU Communication over a WiMAX Network in the Smart Grid," *2012 IEEE 3rd International Conference Smart Grid Community SmartGridComm 2012*, pp. 187–192, 2012.

[15] C. Martinez, M. Parashar, J. Dyer, and J. Coroas, "Phasor Data Requirements for Real Time Wide-Area Monitoring, Control and Protection Applications," *CERTS/EPG, White Pap. – Final Draft*, for: EIPP – Real Time Task Team, January, 2005.

[16] J. Cepeda, P. Verdugo, and G. Argüello, "Monitoreo de la Estabilidad de Voltaje de Corredores de Transmisión en Tiempo Real a partir de Mediciones Sincrofasoriales," *Revista EPN*, vol. 33, no. 3, Quito, Enero-2014.

[17] J. Cepeda, D. Echeverría, and G. Argüello, "CENACE's Experiences on Implementing a Wide Area Monitoring System (WAMS) in the Ecuadorian Power System," *IEEE Central America and Panama Convention, CONCAPAN XXXIV*, 2014.

[18] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Cañizares, N. Hatziaargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. W. Taylor, T. Van Cutsem, and V. Vittal, "Definition and Classification of Power System Stability," *IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability:*

Terms and Definition. *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 1–15, August, 2004.

[19] L. Chimborazo and H. Arcos, "Análisis de estabilidad de voltaje del Sistema Nacional Interconectado para el Período 2010 – 2013 usando el programa DigSilent PowerFactory," *Revista Energía Cenace*, 2010.

[20] A. Ortiz and J. Játiva, "Análisis de Estabilidad de Voltaje en Estado Estable del Sistema de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito.," Eng. thesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.

[21] I. Zamora, Á. Mazón, E. Fernandez, K. Sagastabeitia, I. Albizu, P. Eguia, E. Torres, and V. Valverde, *Simulación de sistemas eléctricos*. 2005.

[22] (2011) National Instruments, "NI Single-Board RIO." [Online]. Available: <http://www.ni.com/singleboard/whatis/esa/>.

[23] B. Al-Naami, J. Chebil, B. Trabsheh, and H. Mgdob, "Developing Custom Signal Processing Algorithm with LabView FPGA and Compact RIO to Detect the Aortic Stenosis Disease," *Computers in Cardiology Conference*, pp. 193–196, 2006.

[24] (2011) National Instruments, "Introducción a la Tecnología FPGA: Los Cinco Beneficios Principales,." [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/6984/es/>.

[25] J. Falcon and M. Trimbom, "Graphical Programming for Field Programmable Gate Arrays: Applications in Control and Mechatronics," *Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis, Minnesota, USA*, pp. 1394–1400, 2006.

[26] V. Salehi, S. Member, A. Mazloomzadeh, and O. Mohammed, "Development and Implementation of a Phasor Measurement Unit for Real-Time Monitoring , Control and Protection of Power Systems," pp. 1–7, 2011.

[27] FLUKE, "Analizador de Calidad de Energía." [Online]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/eces/medidores-de-calidad-de-la-energia-electrica/instrumentos-para-solucionar-problemas-de-calidad-electrica/41b.htm?PID=54783>.

[28] T. Van Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*, First. New York, 2008.

[29] (2013) National Instruments, "NI LabVIEW Electrical Power Suite." [Online]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210502>.



Diego Ortiz Villalba recibió su título en Ingeniería Electromecánica de la Escuela Politécnica del Ejército en 2005, obtuvo el título de Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Eléctrica en la Universidad de Chile en 2011. Actualmente es estudiante de doctorado en la Universidad de Chile. Sus intereses de investigación incluyen las energías renovables, Smartgrids, sistemas SCADA y sistemas de Distribución de energía.



Álex Villamarín Jácome recibió su título en Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en 2014. Sus principales intereses de investigación incluyen la estabilidad de sistemas eléctricos y redes WAMS.



Danny Espín Sarzosa recibió su título en Ingeniería Electromecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en 2014. Sus principales intereses de investigación incluyen la estabilidad de sistemas eléctricos y redes WAMS.

Diseño y Construcción de un Prototipo de Robot Bípido Autónomo con Desplazamiento Dinámico

Marco Singaña, Jacqueline Llanos, Eduardo Morillo, Juan Portero

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga - Ecuador

masingania@espe.edu.ec, jdllanos1@espe.edu.ec, eamp2289@gmail.com, jcportero89@hotmail.com

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014

Resumen-- Este trabajo muestra la creación de un robot bípido autónomo con desplazamiento dinámico en base a cinemática, dinámica y modelado de este tipo de robots. Incluye etapas de diseño, simulación e implementación, con resultados reales y simulados. Los resultados obtenidos demuestran que es posible crear un robot bípido capaz de caminar autónomamente, detectar y evadir obstáculos. Para el modelamiento y simulación se utilizó Robotics Toolbox y SimMechanics de Matlab, mientras que para la etapa de implementación el hardware incluye: una tarjeta electrónica Arbotix-M y servomotores Dynamixel AX-12A, elementos de nueva tecnología apropiados para investigaciones en el desarrollo de aplicaciones robóticas. El sistema de comunicación incorporado posee interfaz USB, además de ser inalámbrica con tecnología ZigBee. La propuesta de control actualmente es heurística con seguimiento de trayectorias pre definidas, y está implementada en Arduino IDE. Por ser implementado, permite validar los diseños desarrollados así como también garantizar el modelamiento del mismo, siendo un punto de partida de estudios de investigaciones futuras.

Palabras clave-- Robótica móvil, robot bípido, modelamiento cinemático.

Abstract-- This paper shows the design and implementation of an autonomous biped robot with dynamic displacement based on kinematics, dynamics and modeling of this kind of robots. Include stages of design, implementation and simulation results. The results show that it is possible to create a biped robot capable of walking autonomously, detect and avoid obstacles. The Robotics Toolbox and Matlab SimMechanics were used for the stages modeling and simulation. The implementation of the hardware includes: an electronic card Arbotix-M and the servomotors Dynamixel AX-12A, all these elements have the appropriate technology for researching on the development of robotic applications. The communication's system implemented includes: USB interface and wireless ZigBee technology. The strategy of control used is heuristic method with follow-up of paths predefined; all of this was implemented in Arduino

IDE. For being implemented, allows you to validate the developed designs as well as also to ensure the same modeling being a starting point for future research studies.

Keywords-- Mobile Robotics, biped robot, kinematic modeling.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución investigativa en robótica es amplia con enfoques en; robótica industrial, robótica móvil, robótica de interacción entre humanos - robots y robótica de servicios. Como parte de la investigación de la robótica móvil se incluye a desarrollos en robots bípido. El primer robot bípido basado en controlador fue desarrollado en Waseda University, Tokio, Japón, en 1972, llamado WL-5 [1].

Las investigaciones en bípedos se enfocan en la marcha [2], en el mejoramiento de la misma [3], en diseño, control y estabilidad de bípedos. En lo que se refiere a diseño de robots bípedos se puede encontrar trabajos que han sido diseñados e implementados, entre ellos el desarrollado por F. Sun et al, que diseñaron e implementaron un bípido con 12 grados de libertad, centrado en el análisis y diseño de cinemática, considerando la forma del cuerpo del robot y la distribución de masas similar a la de un humano adulto [4]. Hay diseños de bípedos que buscan un caminado natural, como es el diseñado por la universidad de Taiwan el mismo que se basa principalmente en la utilización de amortiguador y mecanismo de enlace paralelo, este mecanismo también ofrece un mejor caminado robótico en comparación al convencional, el algoritmo diseñado usa; Series Elastic Actuation y Limit Cycle Walking [5].

C.H. Guzmán, presentan el diseño y construcción de un robot bípido basado en caminado dinámico, quienes usaron de referencia un robot construido previamente en la Universidad de Delft por Martjin Wisse. El robot fue construido bajo un

enfoque mecatrónico, con una sinergia entre las partes constituyentes mecánica, electrónica y programación, los autores presentan un modelo matemático y la cinemática de un robot bípedo [6].

Así como hay trabajos que muestran sus resultados implementados, también hay aquellos que evalúan su funcionamiento por simulación, como es el caso del presentado por Velásquez, que utilizó el software Matlab, que lo vincula con SimMechanics para simular un robot bípedo [7].

Los robots bípedos más conocidos son los humanoides, al intentar imitar el comportamiento del caminado, acciones efectuadas y apariencia del ser humano, que por excelencia es el ser vivo que mejor aprovecha la locomoción bípeda. La caminata bípeda es una de las más complicadas al momento de imitar en comparación con cuadrúpedos o hexápodos debido a la complejidad de mantener el equilibrio. Además hay que aclarar que un robot bípedo no necesariamente puede ser un robot humanoide, pero todos los robots humanoides son robots bípedos. En la Figura 1 se muestra una ejemplificación de un robot bípedo.

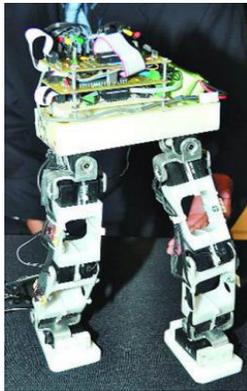


Figura 1. Ejemplo de robot bípedo [8].

A. Locomoción de robots bípedos

Es similar a la de un ser humano, es decir, mediante una concatenación de movimientos controlados en respuesta a un sistema retroalimentado en tiempo real; para los robots bípedos su locomoción se da de dos maneras. La primera como locomoción estática o caminata pasiva, esta caminata hace referencia a sistemas robóticos que caminan sin necesidad de control ni de actuadores, es así que su movimiento se genera únicamente por acción de la gravedad y a través de una pendiente en el piso. Mientras que la segunda es la locomoción dinámica o caminata activa, se la relaciona directamente con robots que poseen un sistema de control complejo, utilizan actuadores y sensores; así el robot desarrolla tareas complejas como caminar en diferentes direcciones, subir escalones o permanecer en una pierna [9].

B. Cinemática de robots bípedos

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia [10]. S. Kumar explica que la cinemática directa analiza las posiciones de las articulaciones y el problema radica en encontrar la configuración del efector final. Existen varios métodos para encontrar la cinemática directa de un robot, entre los más conocidos se tienen: las relaciones geométricas, el método por cuaternios y las matrices de transformación homogénea [11].

C. Dinámica de robots bípedos

Se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina, por lo tanto, el modelo dinámico tiene por objetivo conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas que involucran el mismo. El movimiento del robot se da en sus variables articulares o en las coordenadas de localización de su extremo y lo que provoca este movimiento son la velocidad, aceleración, fuerzas y pares aplicados en las articulaciones o en el extremo del robot. Además de los parámetros dimensionales del robot, como longitud, masas e inercias de sus elementos [10].

Este proyecto incluye etapas que muchos de los trabajos no lo abarcan de manera conjunta, incluye el diseño matemático con análisis cinemático, pero a su vez lo implementa utilizando tecnología moderna y además incluye simulaciones para poder realizar la validación de los modelos previo a la implementación.

II. DISEÑO DEL ROBOT BIPEDO

A. Diseño mecánico

Para el diseño se considera que el tamaño del robot se encuentre comprendido entre 25 y 50 [cm] de altura [12][13][14]; peso entre 0.75 y 1.5 [Kg] [13][15]; 10 Grados de libertad para las extremidades inferiores [13][14][15] [16][17]; comunicación por cable o inalámbrica, voltajes entre 3 y 12 [V], todas estas características son obtenidas por experiencias de trabajos similares.

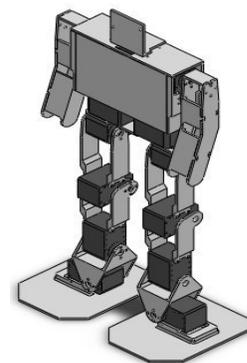


Figura 2. Ensamblaje del robot bípedo.

El diseño de las piezas de la estructura del robot bípedo nacen de la creatividad e inventiva de los autores del proyecto; basados en robots humanoides de las marcas Bioid, NAO y Kondo, que sirvieron de referencia para comprender el funcionamiento de cada uno de los grados de libertad y la forma de las extremidades, de esta manera la estructura del robot bípedo queda conformada como se muestra en la Figura 2.

B. Estudio estático de la estructura del robot bípedo

Este estudio es realizado en SolidWorks Simulation, asignando, como material ABS (Polímero Acrilonitrilo Butadieno Estireno) a las piezas que conforman la estructura del robot bípedo y a los servomotores como material un polímero, en la Figura 3, se muestran los resultados de este análisis.

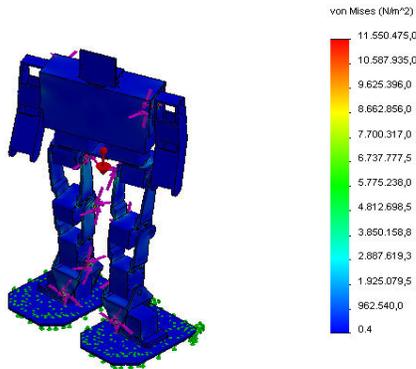


Figura 3. Estudio estático del robot bípedo.

El esfuerzo máximo que soporta la estructura es de 11.55 [MPa]; mediante la teoría de Von Mises [18] se comprueba que el material no tiene fallo ante las fuerzas y torques a los que está sometida la estructura del robot bípedo.

$$\sigma_{VonMises} < \sigma_{LímiteElástico} \tag{1}$$

$$11.55 [MPa] < 38.8 [MPa]$$

Donde $\sigma_{VonMises}$ es el esfuerzo máximo que se presenta en la estructura del robot bípedo.

Además se considera que el esfuerzo de diseño tiene que ser mayor al esfuerzo máximo que soporta la estructura para que no exista fallo en la misma [19].

$$\sigma_d \geq \sigma' \tag{2}$$

Dónde:

- σ_d : Esfuerzo de diseño.
- σ' : Esfuerzo soportado por la estructura.

A su vez el esfuerzo de diseño es:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \tag{3}$$

Dónde:

- S_y : Resistencia a la flexión.
- N : Factor de seguridad.

Al aplicar la Ec. 2 y Ec. 3 considerando un factor de seguridad de 1.5 y la resistencia a la flexión de 45 [MPa] según datos del material se obtiene.

$$\frac{S_y}{N} = \sigma_d$$

$$\frac{45 [MPa]}{1.5} = 30 [MPa]$$

$$\sigma_d \geq \sigma'$$

$$30 [MPa] \geq 11.55 [MPa]$$

De esta manera se comprueba que el esfuerzo de diseño es mayor al esfuerzo que soporta la estructura. Además se determina que el valor mínimo del factor de seguridad es de 3.36, siendo un valor óptimo para el diseño del robot bípedo.

C. Diseño Cinemático del Robot Bípedo

Se determinan los parámetros D-H (Denavit Hartenberg) de una de las piernas del robot bípedo, mostrados en la Tabla I y representados por la Figura 4. En función de estos parámetros se determina la matriz de transformación homogénea [20].

$$T = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4$$

TABLA I
PARÁMETROS D-H.

Articulación	θ	d	a	α
1	$\theta_1 + \pi/2$	l_{01}	0	$\pi/2$
2	θ_2	0	l_{12}	0
3	θ_3	0	l_{23}	0
4	$\theta_4 - \pi/2$	0	l_{34}	$\pi/2$
5	θ_5	0	l_{45}	0

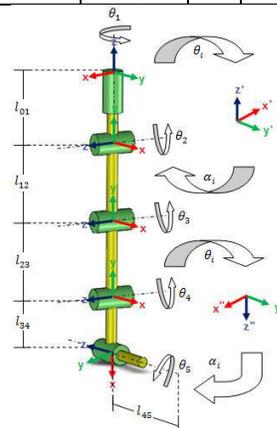


Figura 4. Parámetros gráficos D-H.

El algoritmo usado en Robotics Toolbox de Matlab permite obtener la cinemática directa del robot bípedo, el cual genera como resultado la Figura 5.

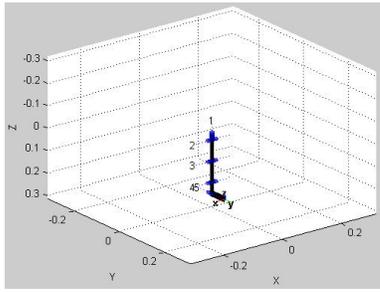


Figura 5. Cinemática directa de la pierna del robot bípedo.

D. Diseño dinámico del robot bípedo

Para resolver la dinámica de un robot se necesitan los datos de la masa, centro de gravedad y matriz de inercia de cada uno de los eslabones con respecto a la base del robot, estos valores se obtuvieron a través de SolidWorks y son usados en el Serial Link que representa al robot en Matlab que previamente se creó en el diseño cinemático.

Mediante Robotics Toolbox, se resuelve la dinámica del robot por medio de funciones que permiten su cálculo, obteniendo los torques máximos aplicados a cada una de las articulaciones del robot bípedo, que son -0.0000, 0.2892, -0.0044, -0.2331 y -0.0000 respectivamente para cada articulación. El torque mayor es equivalente a 0.3 [Nm]; por lo tanto los servomotores a seleccionar deben brindar un torque mayor a este valor para que el robot bípedo pueda soportar toda la carga (peso) y se mantenga en equilibrio [21].

E. Diseño del sistema electrónico

Este diseño se realiza en función de la energía requerida para el buen desenvolvimiento del robot, la técnica de diseño fue por sumatoria de cargas y determinado un incremento de energía, en la Figura 6. Se describe el diseño de la distribución eléctrica del robot bípedo. La fuente es de 12 [V] y de 2000 [mAh].

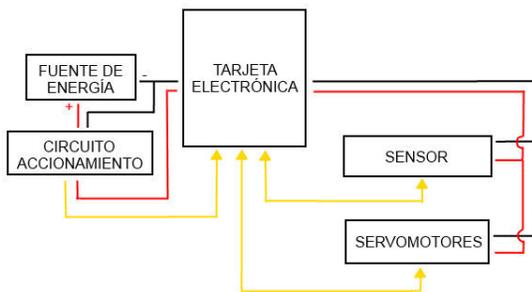


Figura 6. Diagrama del sistema electrónico.

III. MODELAMIENTO DEL ROBOT BÍPEDO

Para la modelación se usa el software SimMechanics Link para enlazar SolidWorks con el entorno de Matlab, de esta manera se convierte la estructura de las extremidades inferiores del robot bípedo en diagramas de bloques para ser utilizados por Simulink a través de SimMechanics. En el modelo se crearon subsistemas y máscaras para una mejor presentación, como se indica en la Figura 7.

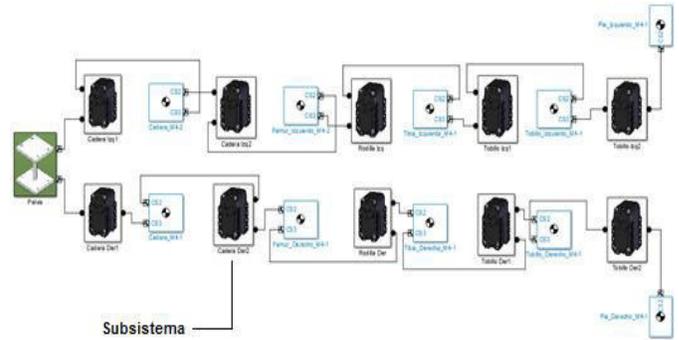


Figura 7. Modelado del robot bípedo.

Dentro de cada subsistema se encuentran los bloques necesarios para que el robot pueda leer las trayectorias desde variables externas por medio del bloque *From Workspace*, estas variables son creadas por medio del Robotics Toolbox, que incluyen las trayectorias del ser humano en el plano sagital de cada una de las articulaciones (cadera, rodilla y tobillo), se utilizan las trayectorias del ser humano para comprobar que no exista fallo en la estructura, es decir que no choquen los elementos y que no existan impedimentos de tipo estructural. La secuencia de caminado por simulación del robot bípedo se muestra en la Figura 8, mientras que las trayectorias se reflejan en la Figura 9.

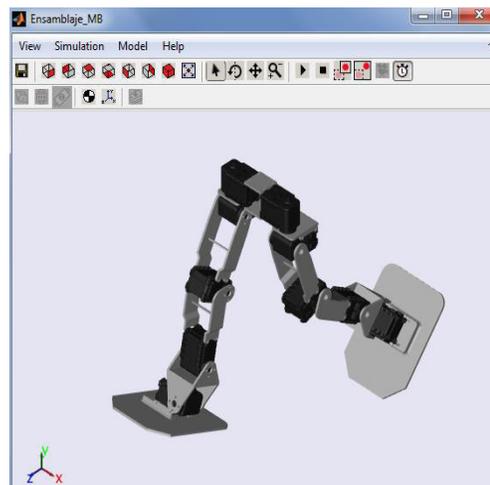


Figura 8. Secuencia de caminado en Simulink.

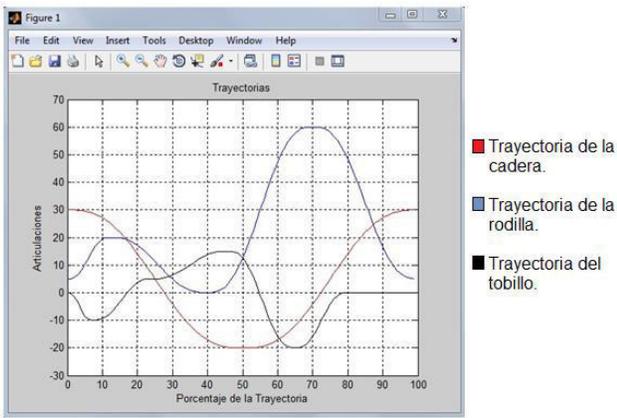


Figura 9. Trayectorias de las articulaciones.

IV. ALGORITMO DE CONTROL DEL ROBOT BÍPEDO

El algoritmo diseñado se describe en la Figura 10, donde PM representa la puesta en marcha del robot, OBJ es la variable del sensor de obstáculo. Secuencia caminata representa un subprograma que define las trayectorias para la caminata que en paralelo también verifica si el sensor detecta un obstáculo. Si el OBJ está en cero se ejecuta la rutina evitar obstáculo, que es donde se encuentra la secuencia que realiza el robot para evitar el obstáculo aquí la variable SW y la variable OBJ regresan a sus valores iniciales para continuar con la caminata. Finalmente SW es una variable que permitirá seguir con la caminata mientras no se cambie de estado el switch para terminar la marcha.

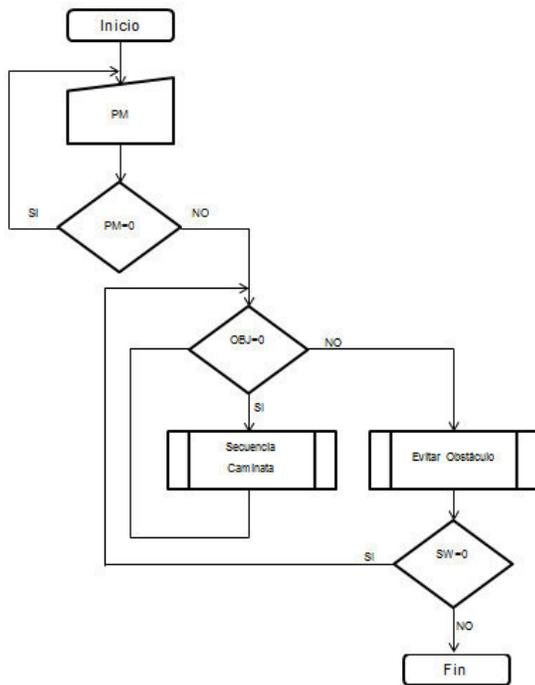


Figura 10. Diagrama de flujo del sistema de control.

El algoritmo de control fue desarrollado en el Software IDE de Arduino debido a que la tarjeta electrónica Arbotix-M Robocontroller utilizada para este proyecto es compatible con este software, brindando además bibliotecas que permiten el control de los servomotores Dynamixel AX-12A, el IDE de Arduino además incluye bibliotecas que permiten el enlace del software PyPose para la lectura de la base de datos de las posiciones almacenadas haciendo posible el caminado del robot bípedo al enviar esta información para ser ejecutada por los servomotores de manera sencilla.

V. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT BIPEDO

Las piezas se construyen en material ABS mediante una impresora 3D, en base al diseño realizado previamente en SolidWorks.

Los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico que conforman el robot bípedo se implementaron de forma secuencial, dando como resultado el ensamblaje de la Figura 11.



Figura 11. Implementación del robot bípedo.

A. Trayectorias del robot bípedo

La obtención de las trayectorias que deben seguir los servomotores Dynamixel AX-12A para realizar el caminado, se almacenan mediante la aplicación PyPose desarrollada en el software libre Python y llevada hacia una aplicación gráfica mediante WxPython. En las Figuras 12 y 13 se muestran las trayectorias que se obtuvieron para la caminata del robot bípedo tanto en el plano sagital como en el plano frontal respectivamente, que permiten la estabilidad. Las Figuras 14 y 15 muestran las trayectorias del giro hacia la derecha del robot bípedo tanto en el plano sagital como en el plano frontal respectivamente, que reduce riesgo de caídas al momento de realizar el giro. Finalmente las Figuras 16 y 17 muestran las trayectorias del giro hacia la izquierda del robot bípedo en el plano sagital y frontal; con estas trayectorias de giro el robot no corre riesgo de caídas.

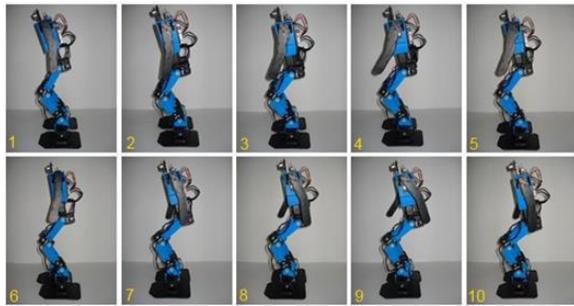


Figura. 12. Trayectorias del robot bípedo en el plano sagital.

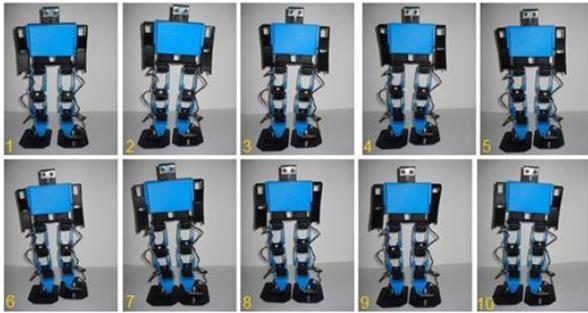


Figura. 13. Trayectorias del robot bípedo en el plano frontal.



Figura. 14. Trayectorias del giro a la derecha del robot bípedo en el plano sagital.

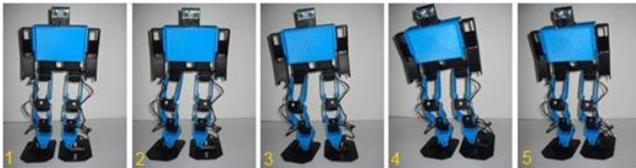


Figura. 15. Trayectorias del giro a la derecha del robot bípedo en el plano frontal.



Figura. 16. Trayectorias del giro a la izquierda del robot bípedo en el plano sagital.

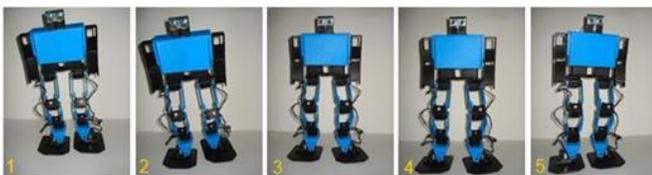


Figura. 17. Trayectorias del giro a la izquierda del robot bípedo en el plano frontal.

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

A. Pruebas de resistencia del material ABS

Se realizan pruebas en base a la norma ASTM D638-10 [22]; que consisten en someterle a tres probetas del Tipo I a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta para obtener los datos de la Tabla II.

Dónde:

- σ : Esfuerzo axial [MPa].
- δ : Diferencia de longitudes final e inicial [mm].
- ξ : Deformación convencional.
- E: Módulo de Young [MPa].

TABLA II
PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN.

# de probeta	σ [MPa]	δ [mm]	ξ	E [MPa]
1	20.40	0.49	0.010	2082.0
2	20.30	0.36	0.007	2818.1
3	20.31	0.55	0.011	1847.4

El esfuerzo máximo obtenido en las pruebas del material ABS es de 20.40 [MPa], con este esfuerzo hay una deformación de apenas 0.5 [mm]; el esfuerzo máximo del diseño del robot bípedo es de 11.55 [MPa], concluyendo que la estructura no corre riesgo de ruptura ya que está sometida a un máximo del 56.6% de todo el esfuerzo que resiste el material.

B. Posición de mayor torque

Para realizar esta prueba se coloca al robot en la posición que muestra la Figura 18.

El robot es capaz de conservar esta posición debido a que el torque generado (0.3 [Nm]) es menor al entregado por los servomotores (1.5 [Nm]). Concluyendo que la estructura no sufre ningún fallo mientras se produce el mayor torque.



Figura 18. Posición de análisis de mayor torque.

C. Velocidad de desplazamiento del robot bípedo

El primer objetivo de esta prueba es permitir determinar el rango de las velocidades a las cuales el robot mantiene el equilibrio, para lo cual se calcula la velocidad de

desplazamiento del robot varias veces variando el tiempo de ejecución de cada posición. Estas pruebas dan como resultado la gráfica velocidad vs estabilidad mostrada en la Figura 19. Se concluye que en valores menores a 1.4 [cm/s] el robot es capaz de mantener el equilibrio durante el caminado, mientras que en velocidades mayores a 1.4 [cm/s] éste tiende a perder el equilibrio.

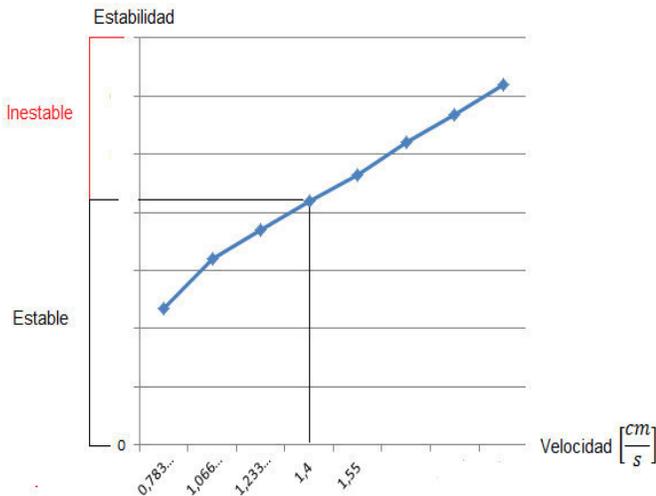


Figura 19. Gráfica velocidad vs estabilidad.

El segundo objetivo es obtener la velocidad a la que camina de forma correcta, esta prueba se realiza manteniendo las mismas condiciones de tiempo 30 [s], al medir la distancia recorrida en este tiempo y calcular la velocidad de desplazamiento se obtiene la Tabla III.

TABLA III
RESULTADOS DE LA VELOCIDAD.

Tiempo PyPose	Tiempo Prueba	Desplazamiento	Velocidad
500 [ms]	30 [s]	23.5 [cm]	0.78 $\frac{cm}{s}$
500 [ms]	30 [s]	23.7 [cm]	0.79 $\frac{cm}{s}$
500 [ms]	30 [s]	24 [cm]	0.80 $\frac{cm}{s}$
500 [ms]	30 [s]	23.45 [cm]	0.78 $\frac{cm}{s}$
500 [ms]	30 [s]	23.2 [cm]	0.77 $\frac{cm}{s}$

Realizando un promedio de las velocidades obtenidas, se tiene como resultado que la velocidad a la que se desplaza y funciona correctamente el robot bípedo es de 0.78 [cm/s].

D. Detección de obstáculos

El objetivo es poner a prueba el sensor de ultrasonido, para verificar si la constitución, el color o la textura de los obstáculos afectan la detección de los mismos. La prueba se realiza colocando al frente del robot diferentes tipos de obstáculos, en la Tabla IV se detalla si el sensor fue o no capaz de sentir los mismos. Notando que el sensor si fue capaz de sentir todos los tipos de obstáculos utilizados para las pruebas.

Además se verifica la distancia real a la cual el sensor detiene el robot bípedo para poder realizar el giro. Esta distancia se establece a través de una herramienta de medición

que se ubica en el piso entre el robot y el obstáculo; al realizar esta prueba se obtiene la Tabla V. Se realiza un promedio de los datos del error que se produce en la medición del sensor el cual es de 1.28 [cm], el mismo que para esta aplicación no es significativo.

TABLA IV
RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS.

Caso	Si detecta	No detecta
1 (pared color verde claro).	X	
2 (madera color café oscuro).	X	
3 (espejo).	X	
4 (cartulina color blanco).	X	
5 (obstáculo de color negro).	X	

TABLA V
RESULTADOS DE LA DISTANCIA DE SENSADO.

Número de Prueba	Distancia Establecida [cm]	Distancia Medida [cm]	Error [cm]
1	40	38	2
2	40	39	1
3	40	38.5	1.5
4	40	39.3	0.7
5	40	38.8	1.2

E. Pruebas generales de funcionamiento

Entre las pruebas a las que se le somete, está el encendido y verificación de posición erguida, inició de marcha, caminata hacia el frente hasta detectar un obstáculo a una distancia aproximada de 40 [cm], al detectar el obstáculo se produce un giro a la derecha 90 grados, al no tener otro obstáculo a 40 [cm] de distancia correcto caminado hacia el frente (Figura 20).

Otro tipo de prueba es cuando al robot bípedo tiene en frente y a su derecha un obstáculo, ambos a una distancia aproximada de 40 [cm]. Al detectar el obstáculo en frente, el robot procede a girar hacia la derecha 90 grados, una vez finalizado este giro detecta el siguiente obstáculo y procede a girar 180 grados hacia su izquierda, al no encontrarse con un nuevo obstáculo frente del robot continuó con la caminata (Figura 21).

Además se le somete al robot bípedo a circunstancias en las que tiene en frente, derecha e izquierda un obstáculo; los tres a una distancia aproximada de 40 [cm], al detectar el primer y segundo obstáculo el robot realiza los giros respectivos como en la prueba anterior, al detectar el tercer obstáculo el robot giró 90 grados hacia su izquierda, al no encontrar ningún obstáculo el robot bípedo continua con la caminata hacia el frente (Figura 22).

Al concluir con las pruebas realizadas a todos los sistemas del robot bípedo, se obtiene como resultado el correcto funcionamiento del robot bípedo.

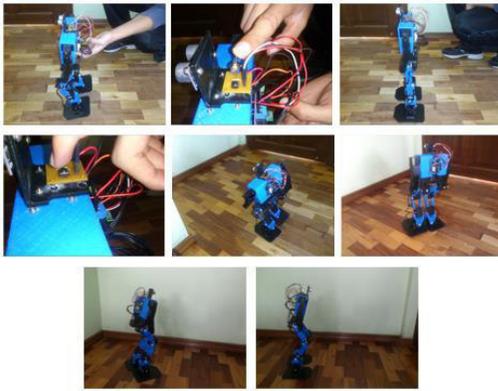


Figura 20. Primera prueba de funcionamiento del robot bípedo.



Figura 21. Segunda prueba de funcionamiento del robot bípedo.



Figura 22. Tercera prueba de funcionamiento del robot bípedo.

VII. CONCLUSIONES

La metodología utilizada en este trabajo que consiste en diseño, modelamiento e implantación fue eficiente para la construcción de este un prototipo de robot bípedo autónomo con desplazamiento dinámico de las siguientes características: velocidad de desplazamiento 0.78 [cm/s], peso 1.4 [Kg] y altura de 46.5 [cm]. El mismo que a velocidades menores a 1.4 [cm/s] no pierde el equilibrio, por lo cual se define como velocidad de funcionamiento del robot 0.78 [cm/s]. El robot funciona correctamente de forma autónoma, permitiendo garantizar que el algoritmo de control diseñado por medio del software libre de Arduino cumple los requerimientos exigidos para el desarrollo del proyecto.

El obtener trayectorias adecuadas lo más semejantes al caminar humano, permiten cumplir la concepción del diseño del robot bípedo, esta es una primera etapa, que luego se

enfocará en el desarrollo de mejoras de las estrategias de obtención de trayectorias.

El uso del material ABS permite el ahorro de tiempo en la construcción de la estructura del robot bípedo, porque realiza el prototipado rápido de las piezas, ya sea que estas tengan formas simples o complejas.

La construcción del robot bípedo usa nuevas tecnologías dándole así un realce para dejar atrás tecnologías obsoletas, de esta manera continuar acorde con el avance de la tecnología a nivel mundial. Este trabajo es un punto de partida para estudio de aplicaciones relacionadas a prótesis.

Factores como la fricción con el piso, construcción de los componentes y resolución de la impresora 3D afectan a la hora de realizar el caminado haciendo que el robot tienda a desviarse.

REFERENCIAS

- [1] E. Garcia, P. G. D. S. Maria Antonia Jimenez and M. Armada, "The Evolution of Robotics Research," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, no. Marzo 2007, pp. 90-103, 2007.
- [2] Q. Huang, K. Yokoi, S. Kajit, K. Kaneko, H. Arai, N. Koyachi and a. K. Tanie, "Planning walking patterns for a biped robot," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 17, no. 3, p. 280-289, 2001.
- [3] C. Azevedo, P. Poignet and B. Espiau, "Moving horizon control for biped robots without reference trajectory".
- [4] F. Sun, H. h. Ju and P. y. Cui, "A New 12 DOF Biped Robot's Mechanical Design and Kinematic Analysis," *International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, pp. 2396 - 2400, 2011.
- [5] R. C. Luo, Y. H. Pu, C. H. Chen, J. R. Chang and C. Y. Li, "Design and Implementation of Humanoid Biped Walking Robot Mechanism towards Natural Walking," *International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1165 - 1170, 2011.
- [6] C. G. Valdivia, A. B. Ortega, E. Q. M. Márquez and M. A. O. Salazar, "Development of a Biped Robot Based on Dynamic Walking," *Eighth International Conference on Intelligent Environments*, pp. 95 - 102, 2012.
- [7] K. Zhang, B. Tu, D. Zhao and X. Tai, "A Novel Biped Robot System Based on PMAC," *26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, pp. 5092 - 5095, 2014.
- [8] Crónica, "Crónica," 11 Febrero 2013. [Online]. Available: Fuente: <http://www.cronica.com.mx/notas/2010/535397.html>. [Accessed 14 Octubre 2014].
- [9] J. Santana, Control del equilibrio en el proceso de caminado de un robot bípedo, Guadalajara: Universidad de Guadalajara. Departamento de Electrónica, 2013.
- [10] A. Barrientos, L. Penin, C. Balaguer and R. Aracil, Fundamentos de Robótica, España: Mc Graw Hill, 2007.
- [11] S. Subir Kumar, Introducción a la Robótica, México: Mc Graw Hill, 2010.
- [12] E. Ortega and J. Contreras, "Diseño y Contrucción de un Robot Bípedo," *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 2008.
- [13] J. G. Ramírez, "Diseño y control de Kokone, un pequeño robot humanoide," *Tamaulipas*, 2009, pp. 21-24.
- [14] M. Albero, F. Blanes, G. Benet, J. Simó and P. Perez, "YABIRO: PROTOTIPO DE ROBOT BÍPEDO AUTÓNOMO.," [Online].

Available:

<http://www.ceautomatica.uji.es/old/actividades/jornadas/XXIV/documentos/ro/48.pdf>. [Accessed 13 Septiembre 2013].

- [15] E. Chavolla, "Algoritmos genéticos modificados para el balance de robots," Guadalajara, 2010, pp. 13-18.
- [16] M. Bonell, Diseño y Construcción de un Robot Humanoide, Barcelona, 2011.
- [17] Lezama, Sklar and Tejera, "A HumanDroid Prototype: Primeros pasos en robótica bípeda," *Workshop del CAFR2005*, 2005.
- [18] SolidWorks, "SolidWorks Web Help," SolidWorks Web Help, 2011. [Online]. Available: http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html?id=dab4434bf64d487d8cbbf45682c1f4ef#Pg0.
- [19] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Pearson Educación S.A, 2006.
- [20] O. Vele, "Cinémática de un Robot Bípedo," México, 2008, pp. 19-22.
- [21] P. Corke, Robotics, Vision and Control fundamental algorithms in Matlab, Queensland: Springer, 2011.
- [22] S. Chancusi and P. Navarrete, Diseño y construcción de una impresora 3D auto-replicable controlada inalámbicamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de ciencias de la Energía y Mecánica. Ingeniería Mecatrónica, 2014.



Eduardo Morillo. Es graduado de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2014. Áreas de Interés: Robótica, Domótica, Automatización de procesos, Software CAD/CAM.



Juan Portero. Es graduado de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2014. Áreas de Interés: Robótica, Instrumentación, Automatización de procesos, Software CAD/CAM.



Marco Singaña. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional en Electrónica y Control, cuenta con un Diplomado Superior en Redes Digitales Industriales, un Masterado Superior en Redes y Telecomunicaciones, está cursando un Masterado en Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente es docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.



Jacqueline Llanos. Es Ingeniera Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Eléctrica de la Universidad de Chile. Actualmente es docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sus áreas de investigación son en controladores avanzados, modelamiento de sistemas, modelos de predicción, micro-redes, energías renovables, aplicaciones de controladores inteligentes.

El Aporte de la Gestión del Conocimiento a la Ingeniería de Requisitos

Cecilia Hinojosa, Geovanny Raura, and Efraín R. Fonseca C.

Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sangolquí
Sangolquí - Ecuador

cmhinojosa@espe.edu.ec, jgraura@espe.edu.ec, erfonseca@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen— Antecedentes: La Ingeniería de requisitos (IR) es una de las fases más críticas dentro del proceso de desarrollo de software ya que en esta se definen las características del producto a ser construido. Sin embargo, está ampliamente documentado que las técnicas utilizadas en la IR no han sido lo suficientemente efectivas para asegurar la calidad de los requisitos. La gestión del Conocimiento (GC) por su parte, busca mediante un proceso sistemático administrar el conocimiento válido para la incorporación de nuevas experiencias e información, demostrando su utilidad para la acción. Tanto la IR como la GC han sido estudiadas independientemente y con enfoques diferentes. Sin embargo, al contrastar las dos disciplinas se observa que presentan elementos similares y complementarios. Objetivo: se propone una técnica para el análisis de requisitos de software basada en la gestión del conocimiento en procura de mejorar su calidad y la efectividad del proceso. Metodología: La propuesta ha sido diseñada siguiendo un método ad-hoc que se basa en el análisis de los conceptos y procesos fundamentales de las dos disciplinas para determinar sus elementos coincidentes y divergentes. Resultados: Los resultados obtenidos mediante un juicio de expertos indicaron una mejora en el proceso de análisis de requisitos, obteniendo además requisitos que cumplen un mayor número de atributos de calidad. Conclusiones: El estudio comparativo de las dos disciplinas permitió establecer un alto grado de similitud entre ellas, ampliando las técnicas de análisis de requisitos existentes e incorporando aspectos útiles de la GC que no han sido consideradas en la IR.

Keywords— Ingeniería de requisitos, Gestión del conocimiento, Análisis de requisitos, Ingeniería de Software.

Abstract— Background: Requirements Engineering (RI) is one of the most critical stages at software development process. Due to main characteristics of a software product are needed to be defined at this phase. However, it is widely known that the techniques used in RI have not been sufficiently effective ensuring the quality of software requirements. Meanwhile, knowledge management (km) proves its advantage by seeking and managing valid knowledge, incorporating new experiences and information within a systemic process. Both RI and km have been studied from different and independent approaches. However, by contrasting these two disciplines shows that there are similar and complementary elements among them. Objective: A technique for the analysis of software requirements based on knowledge management in an effort to improve the quality and effectiveness of the process it is proposed. Methodology: The proposal has been designed by following an ad-hoc method, based on the analysis of the fundamental concepts and processes of both disciplines in

order to determine their overlapping and divergent elements. Results: As a result of this research and based on some experts perspective an improvement in the process of requirements analysis was obtained. Showing that a large number of quality requirements were successfully met. Conclusions: The comparative study among RI and GC allowed establishing a high degree of similarities between them, extending the current requirements

analysis techniques and incorporating useful aspects of the GC that have not been considered in to RI.

Keywords— Requirements Engineering, Knowledge Management, Requirements Analysis, Software Engineering.

I. INTRODUCCIÓN

La IR es un proceso cooperativo, iterativo e incremental [1], en el cual se descubren, analizan, documentan, comunican, validan y gestionan [2] las características o restricciones operativas y funcionales que se esperan de un sistema software y que deben ser completas y acordadas [3] entre los stakeholders.

Está ampliamente documentado que la IR es la fase más crítica del proceso de desarrollo de software [4] [5], debido a la heterogeneidad de escenarios de donde provienen los stakeholders y la complejidad que reviste su trabajo. Según Hofman & Lehner[6]. “obtener los requisitos correctos podría ser la parte más importante y difícil de un proyecto de software”, siendo la mala calidad de los requerimientos uno de los principales factores que ocasionarían su fracaso [7] [8]. Para obtener requisitos de alta calidad, es necesario seguir un proceso bien definido, que permita asegurar que los requisitos sean: recopilados con previsión, revisados, documentados y aprobados [9]. De acuerdo a la problemática planteada, al parecer, las técnicas de análisis de requisitos conocidas, tales como: check list de análisis, matriz de interacción, modelamiento conceptual, entre otras; no han demostrado su efectividad.

La calidad de los requisitos podría mejorarse mediante una adecuada gestión del conocimiento, definida esta como un proceso cíclico [10], mediante el cual se captura, analiza, organiza, almacena, difunde y crea nuevo conocimiento, con el fin de mejorar procesos, organizaciones [11] o resolver problemas en cualquier

ámbito. El presente estudio propone una técnica para el análisis de requisitos basada en la gestión del conocimiento, como un conjunto de actividades para facilitar la comprensión de las necesidades y expectativas de los stakeholders. Del análisis comparativo entre la IR y la GC se determinó un alto grado de similitud de las características que determinan la validez y utilidad de los requisitos y los conocimientos. La técnica propuesta se sometió a una validación preliminar basada en el juicio de expertos. En términos generales obtuvo un alto grado de aceptación y fue considerada beneficiosa para el análisis de requisitos.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma. En la Sección II se presenta los antecedentes donde se abordan los fundamentos de la IR y la GC. En la Sección III se realiza un análisis comparativo de las dos disciplinas. En la Sección IV se propone una técnica para el análisis de requisitos basada en la gestión del conocimiento. La Sección V muestra los resultados obtenidos, y finalmente se presenta las conclusiones y el trabajo futuro en la Sección VI.

II. ANTECEDENTES

La GC y la IR son dos disciplinas que han sido estudiadas desde ópticas aisladas, sin que sus definiciones, procesos y características hayan sido relacionadas. A continuación se presenta algunos aportes de distintos autores.

A. Gestión del conocimiento

Según Davenport & Prusak [12] el conocimiento es una mezcla de experiencia, valores, Información y “saber hacer”; que sirve como marco para la incorporación de nuevas experiencias e información, y es útil para la acción. Para Biggs & Tang [13] “el conocimiento es el objeto de la comprensión”.

Del Moral et al. [14] proponen las siguientes cualidades para caracterizar al conocimiento:

- Validez: Para que un conocimiento sea válido debe ser exacto, consistente y cierto.
- Utilidad: Los atributos de la utilidad de los conocimientos son: Claridad, significado, pertinencia e importancia. La utilidad de un conocimiento se puede evaluar únicamente en relación con quien es el conocedor y el problema que se aborda concretamente.
- Claridad: Concierna a cuánto esfuerzo debe emplear el conocedor en la interpretación de alguna representación de los conocimientos. Si los conocimientos se representan de manera incomprensible, entonces resultan poco útiles.
- Significado: Naturalmente, lo que es claro para una persona puede resultar indescifrable para otra persona. Un elemento de conocimiento puede ser más significativo para una persona que para otra.
- Pertinencia: Que sea correspondiente al problema a resolver.
- Importancia: Actualidad, facilidad de uso, disponibilidad.

Se han encontrado en la literatura taxonomías referentes al conocimiento Declarativo / proposicional / de contenido, Procedimental, Condicional, Funcional. Para Nonaka &

Takeuchi [15], desde la perspectiva epistemológica, el conocimiento se clasifica en tácito y explícito.

El conocimiento tácito en un tipo de conocimiento que no es fácilmente visible ni expresable, está formado por las habilidades técnicas (know how) y por las dimensiones cognitivas, es decir: modelos mentales, costumbres, creencias y perspectivas enraizadas en las personas [15]. Para Leonard & Sensiper [16], el conocimiento tácito (semiconsciente o inconsciente) que está presente en la mente y en el ser de las personas, es la capacidad de la mente humana para dar sentido al conjunto de experiencias vividas, y para conectar pautas desde el pasado al presente y al futuro.

Polanyi [17] resume el fundamento del conocimiento tácito en la frase “sabemos más de lo que podemos decir”. El conocimiento tácito también se puede diferenciar entre individual y colectivo, este último se construye en la comunidad a lo largo del tiempo, mediante las interacciones entre los individuos que la conforman. Según Nonaka & Takeuchi [15] el conocimiento explícito es aquel que puede ser expresado mediante palabras, números y gráficos. Se encuentra estructurado y esquematizado, facilitando su comunicación, difusión y transmisión; ya sea en forma de datos, fórmulas u otros. Está almacenado en medios físicos y también se conoce como “conocimiento codificado”, por lo que es fácil de transmitir y almacenar. Se presume que entre el 15% y 20% del conocimiento que tiene cada individuo o en una empresa, suele resultar valioso y está capturado y codificado en forma de libros, bases de datos, vídeos y/u otros medios.

La Figura 1 muestra el continuo del conocimiento propuesto por Leonard & Sensiper [16]. En un extremo se encuentra el conocimiento completamente tácito, en el extremo opuesto se encuentra el conocimiento completamente explícito, es decir, el conocimiento codificado, estructurado y accesible a personas distintas de las que lo generaron. La mayoría del conocimiento se sitúa entre estos dos extremos. Los elementos explícitos son objetivos y racionales. Mientras que los elementos tácitos son subjetivos y basados en la experiencia.

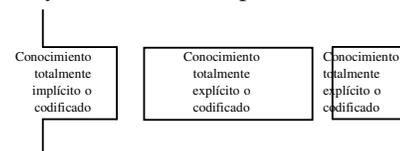


Fig. 1. Continuo del Conocimiento

La GC no es una actividad natural o innata de los miembros de una organización, es la gerencia quien debe propiciar e inspirar para que la organización cultive y explote su conocimiento [18].

Un aporte de Garvin [11] es la identificación de las fases de la gestión del conocimiento y enfatiza que su objetivo es transformar a la empresa en una organización inteligente.

Víctor Izunza [19] indica que el conocimiento puede residir en cualquier lugar y precisa de actividades para su gestión.

En base a las definiciones identificadas en la literatura que precede, se puede conceptualizar al Proceso de la Gestión del Conocimiento como el conjunto de subprocesos

interactuantes que permiten que la GC cumpla con su objetivo. Este proceso ha sido analizado por varios autores, quienes plantean propuestas similares, mas no han llegado a un consenso. En la Tabla I se presenta un compendio de varias propuestas.

TABLA I
Subproceso de la gestión del conocimiento

Autor	Año	Subprocesos
Ruggles	1997	Generación, Codificación, Transferencia
Davenport & Prusak	1998	Generación, Codificación, Uso, Transferencia
Jackson	1998	Recolección, Almacenamiento, Comunicación, Diseminación, Síntesis
Garvin	1998	Generar, Recoger, Asimilar, Aprovechar
Laudon & Laudon	1998	Creación, Captura y codificación, Distribución, Compartir
Patel et al.	2000	Generación, Representación, Recuperación, Compartir
Anumba et al.	2001	Obtener nuevo conocimiento, Ubicar y Accesar, Transferir, Mantener, Modificar

La Figura 2 muestra las fases de la gestión del conocimiento propuestas por Hinojosa et al. [10], en la que se complementan las fases de la creación de nuevo conocimiento con las fases de la gestión: planificar, hacer, verificar, actuar; también conocido como el ciclo “P-H-V-A”.

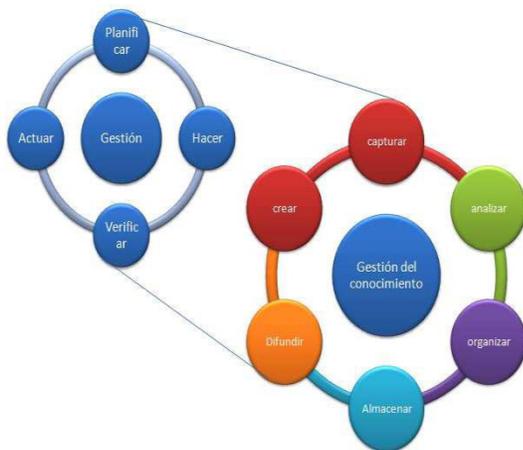


Fig. 2. Fases para la Gestión del Conocimiento

B. Ingeniería de requisitos

“Ingeniería de requerimientos es la disciplina para desarrollar una especificación completa, consistente y no ambigua, la cual servirá como base para acuerdos comunes entre todas las partes involucradas y en dónde se describen las funciones que realizará el sistema” [20].

La IR es la base para planificar el proyecto, para diseñar el software, para la entrega - recepción del producto; en resumen, se constituye en los cimientos para determinar la calidad del producto software.

Está ampliamente documentado que la IR es la fase más crítica del proceso de desarrollo de software [4]. Para Hofman & Lehner [6], “obtener los requisitos correctos

podría ser la parte más importante y difícil de un proyecto de software”.

Según (Durán, 2012) “...es necesario destacar la falta de técnicas para el análisis de los requisitos no funcionales, que son prácticamente ignorados por las técnicas de modelado conceptual y relegados para las fases posteriores de desarrollo”.

El informe “Chaos Report 2013” publicado por la consultora Standish Group, indica que si bien hay un importante incremento en la tasa de éxito de los proyectos, respecto de los datos obtenidos en su primer estudio en 1995, los datos todavía son preocupantes. Cita que el 37% de los proyectos de desarrollo de software, se pueden considerar exitosos, ya que fueron entregados a tiempo, dentro del presupuesto, con las características necesarias y la funcionalidad pactada, el 42% se entregaron fuera de plazo, excedieron su presupuesto no cubrieron la totalidad de las características y funciones y el 21% de los proyectos fueron cancelados [7]. En este mismo estudio se puntualiza que uno de los principales factores para el fracaso de un proyecto de desarrollo de software radica en de mala calidad de los requerimientos.

En este escenario resulta evidente la necesidad de un mayor esfuerzo en la investigación de la IR, tendiente a garantizar la calidad de los requisitos, especialmente por la complejidad que reviste el trabajo con los involucrados y por su heterogeneidad. El proceso de IR ha sido definido por varios autores, para Loucopoulos & Karakostas [21] las fases del proceso de IR son: adquisición / elicitación, especificación y validación. Para Kotonya y Sommerville [22], las fases del proceso de la IR son: adquisición, análisis y negociación, documentación y validación.

El “Software Engineering Body of Knowledge - SWE-BOK”(IEEE Computer Society, 2004), determina que las fases genérica del proceso de IR son: elicitación, análisis, especificación y validación, lo que se muestra en la Figura 3. Estas fases siguen una secuencia lógica y se ejecutan de manera iterativa. A continuación se realiza una breve descripción de fases del proceso de IR.



Fig. 3. Fases del proceso de IR

La elicitación de requisitos es una actividad fundamentalmente humana a la que también se la conoce como “captura de requisitos”, “descubrimiento de requisitos”, o “adquisición de requisitos”. En la fase de análisis de requisitos se realizan las actividades tendientes a asegurar la calidad de los requisitos, las cuales son: determinar la información útil, gestionar el conocimiento del dominio del problema, detectar conflictos en los requisitos, establecer las bases para el diseño. La especificación de requisitos es la

fase donde se documentan los requisitos resultantes del análisis. Finalmente, la verificación y validación de requisitos es la fase donde los interesados revisan los productos obtenidos, verifican que reflejen sus expectativas y necesidades.

C. Atributos de calidad de los requisitos

En la norma IEEE - STD830-1998 (Especificación de los Requisitos del Software) se establecen los atributos de calidad de los requisitos del software, los cuales se describen a continuación.

El requisito deber ser:

- Correcto: Debe reflejar las necesidades reales de los involucrados.
- No Ambiguo: Debe estar expresado de manera que tenga una u´nica interpretación.
- Completo: se refiere al conjunto de requisitos y debe incluir todos los requisitos significativos del software (relacionados con la funcionalidad, ejecución, diseño, atributos de calidad o interfaces externas).
- Verificable: Debe garantizar que existe algún proceso no costoso por el cual una persona o una máquina puedan chequear que el software satisface cada requerimiento.
- Consistente: Una ERS es consistente si y solo si, ningún conjunto de requisitos descritos en ella son contradictorios o entran en conflicto.
- Clasificado: Los requisitos deben estar clasificados, ya sea por importancia, estabilidad u otros criterios.
- Modificable: Debe garantizar que cualquier cambio puede realizarse de manera fácil, completa y consistente.
- Trazable: Debe permitir identificar las referencias hacia atrás, esto es el origen y hacia adelante, cuando un requisito se desglosa o deriva de otro requisito. Estas referencias son especialmente importantes, para el mantenimiento del software y evitar la degradación del mismo.
- Mantenable: Deben estar expresados de tal manera que sean utilizables durante las tareas de mantenimiento y uso, lo cual supone una correcta documentación.

El estudio de la literatura citada, permite vislumbrar que tanto la IR como la GC han sido estudiados desde perspectivas particulares y aisladas. Sin embargo, se observan niveles de similitud en distintos ámbitos que aún no han sido analizados. A continuación se contrastan estas dos disciplinas desde una visión de atributos de calidad y procesos, tendientes a determinar un mecanismo que contribuya a mejorar la calidad de los requisitos en la fase de análisis.

III. ANÁLISIS COMPARATIVO

A. Análisis de los atributos de calidad

Uno de los factores críticos para la toma de decisiones y la solución de problemas en general, es la calidad de los conocimientos [14]. La calidad de los conocimientos

depende de las fuentes y de la manera en que se procesa la información. A la hora de determinar si un conocimiento es de calidad, se deben evaluar su utilidad y su validez, lo mismo sucede al desarrollar un producto software que cumpla con las expectativas de los usuarios.

Para determinar la similitud entre los atributos de calidad de los requisitos y conocimiento y los procesos de las dos disciplinas, se estableció la correspondencia entre los conceptos en función de sus definiciones, como se indica en las Tablas II y III

Es evidente el alto grado de concordancia entre los atributos de calidad de los conocimientos y los requisitos (ver Tablas II y III). En lo que respecta a la validez, tanto los conocimientos, como se puede apreciar, tanto el proceso de gestión del conocimiento, como el proceso de ingeniería de requisitos tienen un alto grado de coincidencia. Las tres primeras fases son iguales, difieren en que la gestión del conocimiento incluye la difusión o transferencia del conocimiento y en el proceso de ingeniería de requisitos propone de manera explícita la validación como los requisitos, comparten los mismos atributos. Desde la perspectiva de la utilidad, los conocimientos y los requisitos coinciden parcialmente. Los atributos coincidentes son: exactitud, consistencia, certidumbre, organización, facilidad de uso. Los conocimientos adicionalmente especifican: claridad, pertinencia y disponibilidad. Para los requisitos se agrega completitud. La claridad se refiere al esfuerzo que debe emplear el conocedor para comprender un conocimiento. Si se encuentra representado o expresado de manera incomprensible, el conocimiento resulta de poca utilidad.

TABLE II
Atributos de Calidad de los Conocimientos y de los Requisitos de Software

Conocimiento	Requisitos
Validez, Exacto	No ambiguo
Consistente	Consistente
Cierto / Verdadero	Correcto / Verificable
Utilidad, Organizado	Clasificado
Fácil de usar	Trazable/modificable/mantenable Completo
Claro (facilidad de comprensión)	
Pertinente Disponible	

La pertinencia indica que si el conocimiento analizado no es relevante para la solución del problema, o se encuentra fuera de contexto, tampoco es de utilidad. La disponibilidad indica que si un conocimiento no se encuentra disponible, no puede ser usado. Los atributos de calidad analizados, no solo son relevantes para los conocimientos, también son atributos cuyo análisis contribuye a mejorar la calidad de los requisitos. Si un requisito no es claro, pertinente y disponible, tampoco podrá considerarse como un requisito valido y útil.

B. Análisis de los procesos

Las dos disciplinas estudiadas son procesos cíclicos, iterativos e incrementales. Esto es, mediante la repetición se

completan y mejoran los productos resultantes. En el caso de la IR, se obtienen los requisitos finales luego de varias iteraciones. En la Tabla III se presentan de manera organizada los subprocesos o fases de las dos disciplinas. Para el efecto se han recopilado los términos utilizados por diversos autores.

TABLE III
Fases de los procesos de la Ingeniería de Requisitos y Gestión del Conocimiento

Ítem	Gestión del Conocimiento	Ingeniería de Requisitos
1	Crear/Capturar/Recolectar	Descubrir/Elicitar/Educir
2	Analizar/Organizar	Analizar
3	Almacenar/Codificar/Representar	Documentar/Especificar
4	Difundir/Distribuir/Transferir	
5		Validar

IV. TÉCNICA PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE REQUISITOS

La técnica propuesta para el análisis de requisitos basada en la gestión del conocimiento, busca alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Determinar si la información recolectada en la elicitación es válida y útil.
- Gestionar el conocimiento del dominio del problema
- Establecer bases sólidas para el diseño del software

A. Actividades

La Tabla IV muestra un conjunto de actividades diseñadas para tamizar los requisitos candidatos; es decir, discriminar los verdaderos requisitos de los que no lo son. De esta manera será posible intervenir oportunamente, minimizar el trabajo duplicado y disminuir los costos del proyecto.

El análisis de los diferentes elementos considerados en la técnica, propicia desde una perspectiva holística e integradora, la comprensión global del sistema, la reflexión de los objetivos del sistema, y cómo cada requisito aporta al cumplimiento de los mismos. A continuación se detallan las actividades propuestas.

TABLE IV
Actividades para el Análisis de Requisitos

Ítem	Actividad
1	Analizar la calidad de las fuentes de información
2	Analizar el aporte de los requisitos a los objetivos del sistema
3	Verificar que el conocimiento tácito sea plasmado en explícito
4	Clasificar requisitos según afinidad
5	Contrastar la lista de requisitos resultantes de la elicitación con los mapas mentales o conceptuales
6	Difundir el conocimiento

- 1) Analizar las fuentes de información: Esta actividad tiene por objetivo determinar si se consideraron las fuentes de información pertinentes, tomando en cuenta a todos los stakeholders, de tal manera que el conjunto de requisitos demuestren unidad y coherencia. El formato sugerido se

presenta en la Figura 4.

- 2) Analizar el aporte de los requisitos a los objetivos del sistema: Esta actividad tiene por objetivo, aportar a la reflexión de los objetivos específicos del sistema y evaluar en qué medida aporta cada requisito al cumplimiento de los mismos. Además, permite de una manera objetiva priorizar los requisitos. El formato propuesto se muestra en la Figura 5.
- 3) Verificar que el Conocimiento Tácito se ha Plasmado en Explícito: Con las actividades anteriores se ha cumplido con un primer nivel de depuración de los requisitos, luego se debe pasar al siguiente nivel, el cual permitirá verificar que el conocimiento tácito se haya plasmado en conocimiento explícito, esto es que el conocimiento pertinente se encuentre documentado. Para este efecto se ha considerado utilizar organizadores gráficos, ya que son una herramienta que aporta al aprendizaje, a la comprensión y a la transmisión de ideas y conocimientos. Mediante el uso de constructores se transforma el conocimiento tácito en explícito de una manera visual y simplificada. Un ejemplo de mapa conceptual se presenta en la Figura 6.
- 4) Clasificar requisitos por afinidad: Tomando como base los mapas mentales o conceptuales, se deben clasificar los requisitos por afinidad, al realizar este paso, se pueden identificar requisitos duplicados. Luego se procede a clasificar los requisitos por prioridad. De esta manera se puede confirmar con los “stakeholders”, aquellos que realmente se mantienen como requisitos y si fuera el caso desechar algunos. Se debe recordar que para el cumplimiento de cada requisito, se utilizan recursos y tiempo. Por lo tanto, se realizará un análisis costo beneficio si es necesario argumentar una decisión. De esta manera se obtiene la lista de requisitos depurados y clasificados por afinidad.

Informantes	Actores del sistema		
	<Actor 1>	<Actor 2>	<Actor 3>
<nombre informante>			

Documentación relacionada	Ubicación	Argumentos para considerarla	
<nombre documento>			

Otras Fuentes	Ubicación	Argumentos para considerarla	

ANÁLISIS

Novedades encontradas	Acciones a tomar		
<novedad detectada>	<acción a tomar>		

Fig. 4. Formato de Análisis de Fuentes de Información

- 5) Contrastar la Lista de Requisitos Resultantes de la Elicitación con Mapas Mentales o Conceptuales: Esta actividad aporta a la completitud de los requisitos.

- 6) Difundir el Conocimiento y Retroalimentar: La lista de requisitos obtenida en la actividad anterior se debe informar a todos los involucrados y obtener sus observaciones o aprobación.

Requisitos Preliminares	Objetivos Específicos del Sistema			
	<Obj. 1>	<Obj. 1>	<Obj. 1>	Prioridad sugerida
<Código del requisito>	<valor>	<valor>	<valor>	<

0 = No aplica; 1 = Bajo; 2 = Medio; 3 = Alto

ANÁLISIS	
Novedad encontrada	Acciones a tomar
<novedad detectada>	<acción a tomar>

Fig. 5. Formato de Análisis del Aporte de los Requisitos a los Objetivos del Sistema

V. VALIDACIÓN DE LA TÉCNICA PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE REQUISITOS

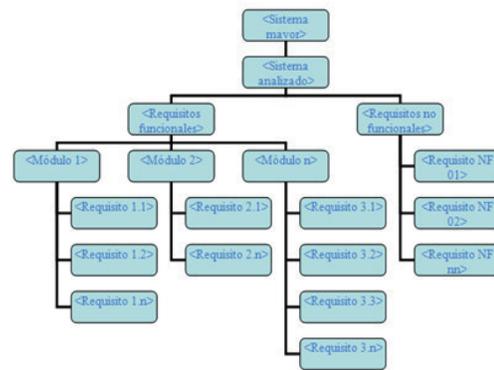
La propuesta se validó mediante el juicio de expertos, para lo cual se seleccionó un grupo de siete profesionales, quienes contaban con una experiencia promedio de seis años en el desarrollo de software. Los profesionales aplicaron la técnica a proyectos que se encontraban en la fase final de desarrollo. Luego de aplicar la técnica los profesionales fueron encuestados, con el fin de conocer su opinión respecto de la contribución de la técnica al cumplimiento de los objetivos del análisis de requisitos. Calificaron con “A” si el aporte fue alto, con “M” si el aporte fue medio y con “B” si consideraban que el aporte fue bajo. Con los datos obtenidos se procedió a valorar las respuestas y obtener el promedio. En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos sobre la percepción de los profesionales. Los profesionales expresaron que las actividades de la técnica aplicada contribuyeron de manera directa, a asegurar la calidad de los requisitos del software.

Esto se puede corroborar con el puntaje que asignaron. Se obtuvo un promedio 2.78 sobre 3 puntos en el aporte de las actividades al objetivo “asegurar la calidad de los requisitos”, respecto de los otros objetivos, se obtuvo una calificación de 2.17, 2.28 y 2.34 sobre 3 puntos.

En relación a contribución de la técnica para mejorar los atributos de calidad de los requisitos de software, los profesionales expresaron su criterio, calificando el aporte de las actividades a la consecución de los objetivos. Calificaron de 3 a 0, dependiendo del nivel en el que la actividad contribuye a la obtención de los atributos de calidad.

Como se aprecia en la Figura 8, el criterio de los profesionales es que la técnica contribuyó a mejorar los requisitos, de manera importante los criterios de calidad: “completitud” y “claridad”, estos atributos obtuvieron la calificación más alta (14/18) y (13/18) respectivamente, le siguen en importancia la “exactitud” y la “pertinencia”.

En términos generales, el criterio de los profesionales fue que la técnica aportó tanto a la consecución de los objetivos del análisis de requisitos, como a mejorar los atributos de calidad de los requisitos.



ANÁLISIS	
Novedades encontradas	Acciones a tomar
<novedad detectada>	<acción a tomar>

Fig. 6. Formato del Mapa Conceptual Propuesto

Actividades de la técnica	Objetivos del Análisis de Requisitos			
	Asegurar la calidad de los requisitos	Precisar los límites del sistema	Precisar la interacción sistema - entorno	Traducir los requisitos del usuario a requisitos del software
Analizar la calidad de las fuentes de información	A (2,7)	A (2,3)	M (1,7)	A (2,7)
Analizar el aporte de los requisitos a los objetivos del sistema	A (3,0)	A (2,3)	M (2,0)	A (2,3)
Verificar que el conocimiento tácito se ha plasmado en conocimiento explícito	A (3,0)	M (2,0)	A (2,7)	A (2,7)
Clasificar requisitos según afinidad y prioridad	A (3,0)	M (2,0)	A (2,3)	A (2,3)
Contrastar la lista de requisitos resultantes de la elicitación con los mapas mentales o conceptuales	A (3,0)	A (2,3)	A (2,7)	A (2,3)
Difundir el conocimiento	M (2,0)	M (2,0)	A (2,3)	M (1,7)
Promedio	A(2,78)	M(2,17)	M(2,28)	A(2,34)

Fig. 7. Actividades Versus Objetivos del Análisis de Requisitos

Actividades de la técnica	Atributos de calidad de los requisitos								
	Exacto - No ambiguo	Consistente	Claro - Correcto - Verificable	Completo	Organizado - Clasificado	Fácil de usar - Trazable	Claro	Pertinente	Disponible
Analizar la calidad de las fuentes de información	2	1	3	3	0	0	2	2	1
Analizar el aporte de los requisitos a los objetivos del sistema	3	2	0	2	2	1	2	1	2
Verificar que el conocimiento tácito se ha plasmado en conocimiento explícito	2	3	1	3	0	1	2	2	1
Clasificar requisitos según afinidad y prioridad	2	2	2	1	2	1	2	2	1
Contrastar la lista de requisitos resultantes de la elicitación con los mapas mentales o conceptuales	1	1	3	2	2	1	3	3	2
Difundir el conocimiento	2	1	1	3	2	3	2	1	3
Total	A	A	M	A	M	M	A	A	M
	12	10	10	14	8	7	13	11	10

Fig. 8. Actividades Versus Atributos de Calidad de los Requisitos

VI. CONCLUSIONES

Del estudio y análisis comparativo de la Ingeniería de Requisitos y la Gestión del Conocimiento, se concluye que las dos disciplinas tienen un alto grado de similitud en nivel de fases del proceso. Así también las características de calidad de los conocimientos y los requisitos son coincidentes.

Se propuso una técnica para el análisis de requisitos de software basada en la gestión del conocimiento. La técnica propuesta utiliza herramientas de uso común, tales como matrices y organizadores gráficos, las cuales resultaron efectivas para la comprensión del dominio del problema desde una visión holística e integradora, conforme lo expresado por los expertos.

Los resultados preliminares obtenidos indicaron que la integración de elementos de la gestión del conocimiento en las técnicas de análisis de requisitos, mejoran la calidad de los mismos.

VII. TRABAJOS FUTUROS

Se plantea como trabajo futuro, la validación sistemática de la técnica propuesta mediante métodos empíricos de ingeniería de software.

ACKNOWLEDGMENT

Los autores del artículo agradecen al Dr. Oscar Dieste profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, por la orientación brindada en la elaboración de este artículo.

REFERENCES

- [1] K. Pohl, "The three dimensions of requirements engineering: A framework and its applications," *Information Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 243–258, 1994.
- [2] J. D. Elizabeth Hull, Ken Jackson, *Requirements Engineering*, 3rd ed. Springer London, 2011.
- [3] K. Pohl, *Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques*. Springer US, 2010.
- [4] D. Pandey, U. Suman, and A. Ramani, "An effective requirement engineering process model for software development and requirements management," in *Advances in Recent Technologies in Communication and Computing (ARTCom)*, 2010 International Conference on, October 2010, pp. 287–291.
- [5] C. M. Zapata, G. L. Giraldo, and J. E. Mesa, "Una propuesta de meta-ontología para la educación de requisitos," *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, vol. 18, no. 4, pp. 26–37, 2010.
- [6] H. Hofmann and F. Lehner, "Requirements engineering as a success factor in software projects," *Software, IEEE*, vol. 18, no. 4, pp. 58–66, July 2001.
- [7] S. Group, "Chaos manifiesto 2013," Last visited: September 20th, 2014. [Online]. Available: <http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifiesto2013.pdf>
- [8] C. Jones, *Applied Software Measurement: Assuring Productivity and Quality*, 2nd ed. McGraw Hill, 1996.
- [9] I.-T. R. Group, "Get requirements right the first time," Last visited: October 18th, 2014. [Online]. Available: <http://www.infotech.com/research/get-requirements-right-the-first-time>
- [10] C. M. Hinojosa, K. T. Cela, and D. J. Gallego, "De las redes sociales a las redes del conocimiento," in *Innovación Tecnológica y Gestión del Talento*, vol. 16. Universidad Nacional de Educación a Distancia, July 2011.

- [11] D. A. Garvin, "Building a learning organization," *Harvard Business Review*, vol. July–August 1993, July 1993.
- [12] T. H. Davenport and L. Prusak, "Working knowledge: How organizations manage what they know," *Ubiquity An ACM IT Magazine and Forum*, August 2000.
- [13] J. Biggs and C. Tang, *Teaching for quality learning at university*, 4th ed. McGraw Hill, 2011.
- [14] A. D. M. Bueno, J. P. Sierra, E. R. Fernández, A. R.-P. Aradas, and S. S. Garbosa, *Gestión del Conocimiento*. Parainfo, March 2007.
- [15] I. Nonaka and H. Takeuchi, *La organización creadora de conocimiento: Cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación*. México: Oxford University Press, 1999.
- [16] D. A. Leonard and S. Sensiper, "The role of tacit knowledge in group innovation," *California Management Review* 40, no. 3, pp. 112–132, 1998.
- [17] M. Polanyi, *The Tacit Dimension*. Doubleday and Company INC., 1966.
- [18] P. Núñez, "Bases para la introducción de la gestión del conocimiento en cuba," *Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente CITMA, Tech. Rep. 2*, May 2002.
- [19] V. Izunza, "Gestión del conocimiento definiciones," Last visited: October 18th, 2014. [Online]. Available: <http://www.a3net.net/es/gescon/definiciones.htm>
- [20] B. W. Boehm, "Software engineering-as it is," in *Proceedings of the 4th International Conference on Software Engineering*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1979, pp. 11–21.
- [21] P. Loucopoulos and V. Karakostas, *System Requirements Engineering*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [22] G. Kotonya and I. Sommerville, *Requirements Engineering Processes and Techniques*. Wiley & Sons, Ltd., 1998.



Cecilia Hinojosa. Es Ingeniera en Sistemas e Informática, tiene una maestría en Ingeniería de Software. Se ha desempeñado como Consultora Informática, fue Presidenta de Área Sistemas Cía. Ltda. por diez años. En el ámbito docente es Profesora Titular de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de Ecuador. Entre sus temas de investigación de interés están la Ingeniería de Requisitos, los métodos de investigación en ingeniería de software empírica.



Geovanny Raura. Es Ingeniero de Sistemas e Informática con un grado de maestría en Ingeniería de Software. Es profesor investigador a tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de Ecuador. Entre sus temas de investigación de interés están la ingeniería de software empírica, la ingeniería de requisitos, y técnicas de desarrollo de software basadas en metodologías ágiles.



Efraín R. Fonseca C. Se recibió como doctor en julio de 2014. Tiene diez años de experiencia como consultor en la industria de las TI. Es profesor investigador a tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de Ecuador. Entre sus temas de investigación de interés están el proceso experimental en ingeniería de software empírica, métodos de investigación en ingeniería de software empírica, análisis y diseño orientado a objetos y representaciones ontológicas en ingeniería de software.

Diagnóstico Energético de las áreas del Taller Industrial y de Pintura del Centro de Producción de la ESPE Extensión Latacunga

Ávila Galo, Mena Luis, Castro Juan.

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga

gravila@espe.edu.ec, lemena@espe.edu.ec, jtcastro@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen— El presente trabajo de investigación, tiene por finalidad realizar un diagnóstico energético en las áreas de taller industrial y de pintura del centro de producción de la ESPE Latacunga, para ello primeramente se realiza la fase de diagnóstico de la situación actual mediante un recorrido por las áreas seleccionadas con el fin de determinar los portadores energéticos, posteriormente se realiza la fase de desarrollo que incluye mediciones y análisis de los principales parámetros, como resultado se determina el puesto clave mediante la ayuda de la herramienta del diagrama de Pareto, así como también, se utiliza una lista de verificación para detectar los problemas en lo referente a operación, mantenimiento, normas de seguridad y capacitación. Finalmente se plantean soluciones factibles para una óptima utilización de los equipos que intervienen en el puesto clave, lo que incidirá en la reducción de los costos energéticos, al conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de los recursos energéticos.

Palabras claves— Diagnóstico energético, puesto clave, portadores energéticos, diagramas de Pareto, factor de potencia, distorsión armónica.

Abstract-- This research work aims to make an energy assessment in the areas of industrial workshop and painting production center ESPE Latacunga, for this first phase of diagnosis of the current situation is via a tour selected in order to determine the energy carriers, areas subsequently the development phase including measurement and analysis of key parameters, resulting in the key position with the help of the tool is determined Pareto diagram is performed, as well as a checklist is used to detect problems regarding operation, maintenance, safety and training. Finally arise feasible solutions for optimal utilization of equipment involved in the key position, which will affect the reduction of energy costs, to achieve maximum efficiency in the supply, conversion and use of energy resources.

Keys Words-- Energy audit, as key energy carriers, Pareto diagrams, power factor, harmonic distortion.

I. INTRODUCCIÓN

Se denomina auditoría energética a la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía con el propósito de evaluar las posibilidades de ahorro de energía y de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos, así como determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas [1].

En el Ecuador se está desarrollando cambios en la matriz productiva[2], los cuales involucran el consumo energético eléctrico, para lo cual primero se debe realizar una auditoría energética, con soporte en las herramientas estadísticas básicas, como por ejemplo, el diagrama de Pareto, que son gráficos especializados que presentan la información en orden descendente, en unidades y porcentajes, y está sujeto a la ley de Pareto o Ley 80-20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier proceso[3]. También durante la auditoría energética se aplica la norma ISO 50001 que tiene por finalidad analizar los consumos de energía, basados en el principio: medir para identificar e identificar para mejorar; finalmente se debe disponer y saber utilizar diferentes equipos y herramientas con el objetivo de ejecutar una auditoría energética fiable y completa[4]. Todo este proceso, debe estar por supuesto, apoyado y respaldado por parte de las autoridades de la empresa.

II. PROCEDIMIENTO REALIZADO EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.

A. *Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones.*

En esta etapa se procede a identificar el proceso productivo y las principales áreas, por lo cual se ha seleccionado el proceso de producción de muebles metálicos, que involucra a las áreas de metal mecánica y pintura.



Fig. 1: Transformador de alimentación del Centro de Producción (80 KVA)

Luego se procede a la identificación de los consumidores de energía y capacidad instalada. Como lo demuestra la tabla I.

TABLA I.
CONSUMIDORES DE ENERGÍA Y CAPACIDAD INSTALADA.

Ord.	Equipo.	Cant.	Consumo (kw)
01	Luminarias 250w/220v	12	3
02	Torno horizontal.	1	2,23
03	Plegadora de tol.	1	5,50
04	Pulidora manual.	1	0,80
05	Cortadora de tubo.	1	1,50
06	Soldadoras mig/mag.	5	52,50
07	Soldadoras eléctricas.	2	40
08	Soldadoras de punto.	2	40
09	Esmeril de banco	1	2,23
10	Dobladora hidráulica de tubo.	1	2,23
11	Taladro vertical de pedestal.	1	0,75
12	Cortadora de acero.	1	1,50
13	Cortadora de tol.	1	11
14	Sierra para cortado de tubos.	1	1,50
15	Troqueladora	1	1,80
16	Compresor 10 hp	1	7,45
17	Equipo de sopleteo para pintura.	1	0,80
Consumo Total			174,79

Como resultado del análisis de la tabla I, se establece la línea base de los equipos instalados en el Centro de Producción, además se determinó que el promedio de horas de operación de los equipos es de 4 horas diarias. Con lo cual se procede a obtener la información histórica de las facturas suministradas por la empresa eléctrica de Cotopaxi ELEPCO SA, esto se observa en la tabla II.

TABLA II.
CONSUMO ENERGÉTICO DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN AÑO 2013-2014

Año	Mes	Consumo (kwh)	*Pit (2 %)	Cons.+ pit (kwh)
2013	1	3123	62	3185
2013	2	2432	49	2481
2013	3	3700	74	3774
2013	4	3451	69	3520
2013	5	3443	69	3512
2013	6	3055	61	3116
2013	7	1391	28	1419
2013	8	2687	54	2741
2013	9	3100	62	3162
2013	10	3357	67	3424
2013	11	3324	66	3390
2013	12	2562	51	2613

2014	1	2329	47	2376
2014	2	2169	43	2212
2014	3	1988	40	2028
2014	4	2250	45	2295
2014	5	2360	47	2407
2014	6	1850	37	1887
Promedio Consumo Enero13-Junio 14				2752,30

El factor PIT presente en el histórico se refiere a las pérdidas internas del transformador, que la empresa proveedora considera un estándar del 2%.

B. Determinación de los equipos con mayor consumo energético (puesto clave).

En base a la tabla I, referente a los datos de consumidores energéticos de los diferentes equipos de las áreas diagnosticadas, se procede a realizar el diagrama de Pareto con el fin de determinar los elementos de mayor incidencia energética y en base a los resultados, seleccionar el puesto clave, entendiéndose como el equipo específico que tiene una gran incidencia en el consumo real de energía eléctrica, como se lo puede observar en la Fig. 2.

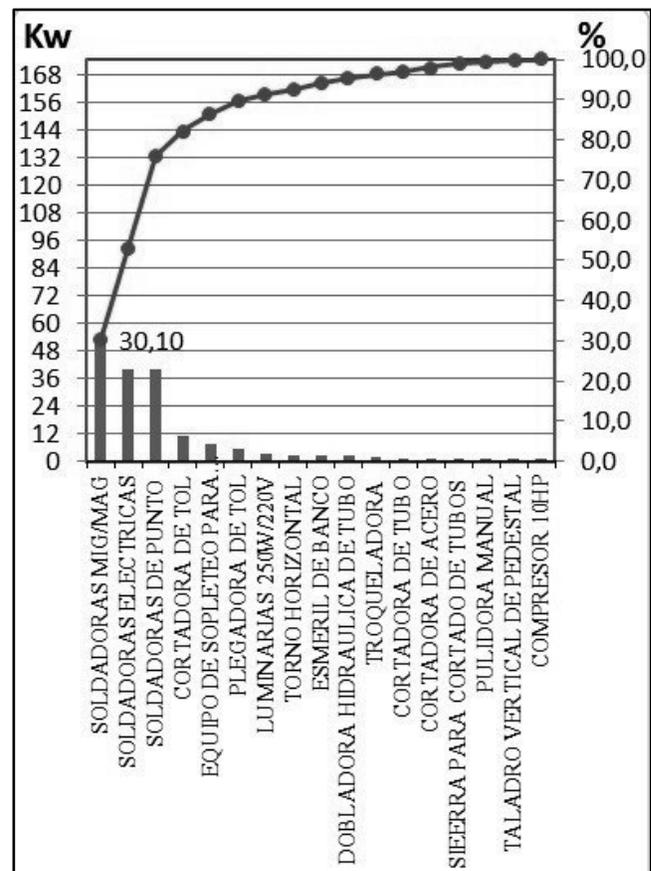


Fig.2 Diagrama de Pareto.

Se puede observar en la Fig.2, que las soldadoras MIG/MAG, soldadoras eléctricas y soldadoras de punto abarcan un consumo aproximado del 80 %. De estos tres

consumidores energéticos, las soldadoras MIG/MAG tienen un consumo aproximado del 30 % de la demanda total, por lo que han sido seleccionadas como puesto clave.

C. Determinación del potencial de ahorro de energía en el puesto clave.

Mediante una lista de verificación realizada al puesto clave, en lo que se refiere al equipo de las soldadoras MIG/MAG, se puede establecer las principales fortalezas y debilidades del mismo. Lo que se puede observar en la tabla III.

TABLA III.
LISTA DE VERIFICACIÓN DEL PUESTO CLAVE

Soldaduras MIG/MAG	Si	No
¿El personal está consciente del alto costo que significa utilizar las soldadoras?		X
¿Se cuenta con un sistema efectivo para detectar problemas en las soldadoras?		X
¿Los problemas son reportados y solucionados oportunamente?		X
¿Existe un programa regular de pruebas y reparación?		X
¿Existe cubículos separados para cada soldadora?		X
¿Consta en la sección de soldadura campanas extractoras de gases?		X
¿Hay selección técnica de las boquillas para el uso adecuado de la soldadura?		X
¿Las soldadoras con sus componentes se encuentran asegurados para que no se muevan o se derriben?	X	
¿Las soldadoras se apagan cuando no se utilizan?	X	
¿Se cuenta con luminosidad adecuada para realizar el proceso de soldadura?	X	
¿La sección de soldadura cuenta con las normas de seguridad industrial?		X
¿Cuenta la sección de soldadura con un plan de mantenimiento?		X
¿Los operarios son capacitados permanentemente?	X	
La vestimenta para soldar debe ser: guantes, polainas, mandil y capucha de cuero ¿Los operarios cuentan con la indumentaria adecuada?	X	
¿Tienen extintores de CO ₂ para utilizar en caso de incendio?	X	
¿Las soldadoras se utilizan todas al mismo tiempo?		X
¿Todas las soldadoras utilizan la misma toma energía?	X	
¿Las mesas de soldar están aisladas con cortinas y ventana con lente para protección de los rayos ultravioleta?		X

¿Las instalaciones eléctricas son apropiadas?		X
¿Las soldadoras cuentan con sistemas automáticos de control de operación?		X
¿Los cables son del calibre correcto?	X	
¿Las soldadoras cuentan con protecciones para sobre corrientes?	X	
¿Las soldadoras cuentan con reguladores y medidores de amperaje?		X

Se procedió a realizar mediciones referentes a la frecuencia de la línea, Voltajes y corrientes en las líneas de alimentación bajo carga, el factor de potencia y la Distorsión Armónica total en corriente, todo esto, utilizando el equipo analizador/registrador FLUKE 1735. Los resultados de estas mediciones, se las observa en las siguientes figuras.

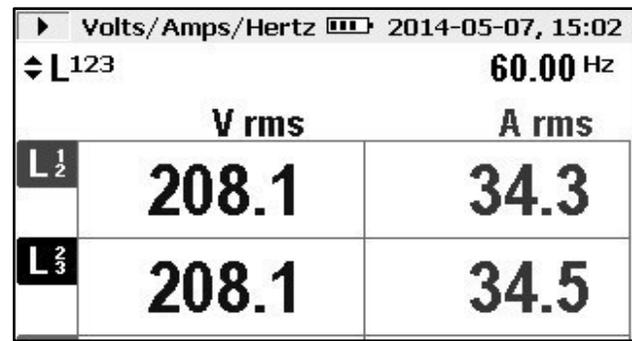


Fig.3 Mediciones de voltaje, corriente, frecuencia

En la figura 3, se observa que la frecuencia se mantiene estable, es decir, en 60 Hz. Los voltajes de las dos líneas de alimentación están balanceados, y los valores de corriente son los establecidos para la carga utilizada.

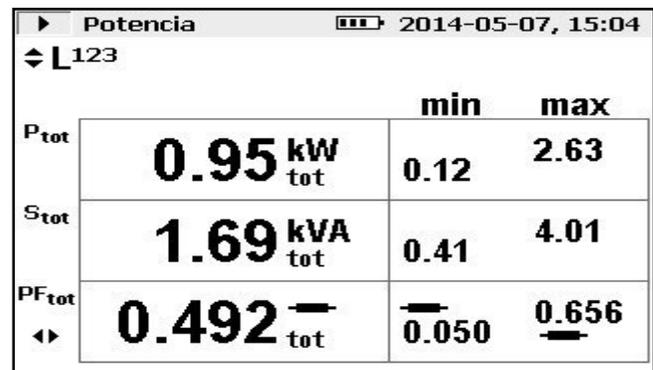


Fig.4 Mediciones del factor de potencia

La figura 4, indica que existe una considerable potencia reactiva, lo que incide tener un bajo factor de potencia. El factor de potencia recomendado por las empresas eléctricas es de aproximadamente del 0,98.

En la figura 5, se observa que se tiene en el puesto clave una elevada distorsión armónica total en corriente, aproximadamente 4 veces mayor que la admisible (20 %).



Fig.5 Medición de la distorsión armónica total en corriente

III. PLAN DE MEJORAS

A. Identificación de las medidas apropiadas de ahorro de energía.

Considerando los problemas detectados en la lista de verificación realizada en el puesto clave (soldadoras MIG/MAG) y con la ayuda de los directivos y trabajadores de las áreas diagnosticadas, se presentan medidas, las cuales están orientadas a mejorar las condiciones de operación, mantenimiento del equipo y capacitación del personal o talento humano.

TABLA IV
PLAN DE MEJORAS

Problema Detectado	Alternativa de Solución
¿El personal está consciente del alto costo que significa utilizar las soldadoras?	Planificar charlas de concientización para los trabajadores
¿Se cuenta con un sistema efectivo para detectar problemas en las soldadoras?	Implementar cursos de capacitación continua
¿Los problemas son reportados y solucionados oportunamente?	Implementar un sistema efectivo de reportes de fallas para su inmediata solución
¿Existe cubículos separados para cada soldadora?	Construir espacios modulares para cada soldadora
¿Consta en la sección de soldadura campanas extractoras de gases?	Construir sistemas de extracción de gases
¿Hay selección técnica de las boquillas para el uso adecuado de la soldadura?	Adquirir un stock variado de boquillas
¿La sección de soldadura cuenta con las normas de seguridad industrial?	Implementar normas de seguridad industrial normalizadas
¿Cuenta la sección de soldadura con un plan de mantenimiento?	Implementar planes de mantenimiento preventivo y correctivo
¿Las mesas de soldar están aisladas con cortinas y ventana con lente para protección de los rayos ultravioleta?	Construir estaciones modulares para las mesas de soldadura
¿Las instalaciones eléctricas son apropiadas?	Dar mantenimiento a las instalaciones eléctricas regularmente

¿Las soldadoras cuentan con sistemas automáticos de operación?	Implementar un sistema computacional para registro automático de consumo energético y tiempos de operación.
¿Las soldadoras cuentan con reguladores y medidores de amperaje?	Instalar medidores inteligentes para el registro de los parámetros eléctricos.
THD de corriente superior al 87.60%	Implementar filtros de armónicos de corriente.
Bajo factor de potencia.	Después de implementar los filtros de armónicos, ajustar el factor de potencia con banco de capacitores.

IV. CONCLUSIONES

Se seleccionó las áreas del Centro de Producción de la ESPE Latacunga a ser diagnosticadas, considerando el mayor índice de consumo energético y horas de funcionamiento diaria.

Mediante un recorrido al Centro de Producción, se identificó los componentes y portadores energéticos de las áreas del Taller Industrial y de Pintura; para los índices de consumo se utilizó los datos históricos proporcionados por la jefatura de mantenimiento.

Mediante la utilización de la herramienta de auditoría Diagrama de Pareto, se determinó el puesto clave, en este caso, las soldadoras MIG/MAG.

Se realizó una verificación en el puesto clave con la finalidad de detectar problemas en la instalación, operación, mantenimiento y reglas de seguridad.

En base a los resultados obtenidos en la verificación se presenta un plan de alternativas de solución orientados a mejorar los procesos productivos.

REFERENCIAS

- [1] Martínez, F.J.R. and E.V. Gómez, Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas. 2006: Editorial Paraninfo.
- [2] León, M., Cambiar la economía para cambiar la vida. El Buen Vivir. Una vía para el desarrollo, 2009: p. 63-74.
- [3] Kume, H., E. Vasco, and H. Kume, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. 2002: Editorial Norma.
- [4] León, E.r.d.e.d.C.y., Procedimientos para la realización de Auditorías Energéticas en Edificios., J.d.C.y. León, Editor. 2001, León: España. p. 204.
- [5] Auditorías energéticas y gestor energético en el medio rural, Universidad de Córdoba, 2008: p 41.
- [6] Ramírez J., Procedimientos para realizar auditorias eléctricas, caso ONG Plan Internacional-Piura., PIRHUA, Peru, 2005, p 47.



Galo Ávila, nació en Latacunga, Ecuador, es ingeniero en Electrónica e Instrumentación, sus estudios universitarios los realizó en la ESPE-Extensión Latacunga, también es Magister en Docencia Universitaria, Docente tiempo completo en la universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga, actualmente es planificador académico del departamento de Eléctrica y Electrónica, Jefe del Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos, Coordinador del área de

automática y control.



Juan Castro, nació en Ambato, Ecuador, es Ingeniero Mecánico, sus estudios universitarios los realizó en la ESPOCH, también es Magister en Docencia Universitaria, Especialista en Elaboración de Proyectos Científicos y Tecnológicos, Docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga desde 1992, actualmente es Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.



Luis Mena, nació en Quevedo, Ecuador es Ingeniero en Electrónica e Instrumentación, sus estudios los realizó en la ESPE-Extensión Latacunga. Se desempeña como docente tiempo parcial, en el departamento de Eléctrica y Electrónica.

Conversión de una Moto Scooter de Combustión Interna a Eléctrica

Mena Euro, Bonilla William, Bastidas Christian, Cabrera Enrique, Trávez Wilson, Mena Enrique

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga,
Latacunga - Ecuador

ermena@espe.edu.ec, webonilla@espe.edu.ec, wotraves@espe.edu.ec, lemena@espe.edu.ec

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen-- El objetivo del proyecto es analizar la factibilidad de convertir una moto scooter con motor de combustión interna de dos tiempos en una scooter con motor eléctrico que cuente con alimentación de energía eléctrica, para brindar una nueva alternativa de movilidad con menores emisiones contaminantes.

Los resultados de la investigación demostraron que desde el punto de vista de diseño, es aceptable realizar la transformación. Económicamente es rentable y ante todo, al utilizar energías limpias se contribuye a obtener una movilidad con menor índice de contaminación.

Palabras Claves-- Moto Scooter, moto eléctrica.

Abstract-- The project objective is to analyze the feasibility of converting a scooter bike with internal combustion engine in a two-stroke scooter in an electric motor that has power supply to provide a new alternative for mobility with lower emissions.

The research results show that from the standpoint of design, it is acceptable to perform the transformation. Economically it is profitable and foremost, using clean energy contributes to mobility with less pollution index.

Keywords-- Scooter, electric bike.

I INTRODUCCIÓN

Para la realización de este proyecto se considera que la congestión vehicular [1] [2] constituye un problema para la sociedad ecuatoriana, porque es uno de los causantes del aumento al riesgo a accidentes de tránsito, tiempo de traslado y contaminación ambiental. El aumento del parque automotor se produce porque existen facilidades para adquirir financiamiento estatal [3] o privado [4] para comprar un vehículo y un deficiente servicio del transporte público.

Como un aporte para minimizar la congestión vehicular, se demuestra que es factible económicamente como por diseño, la convertibilidad de una moto de combustión interna [5] a eléctrica, considerando la transformación de la matriz de productiva [6] en nuestro país, el alto número de motos en los patios de la Policía Judicial del Ecuador dadas en abandono, el poco espacio físico que representan para parquearlas y el menor consumo de energía para moverlas.

II DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

El proyecto estuvo enfocado en determinar la factibilidad económica y de diseño para obtener una moto scooter eléctrica de similares capacidades que uno de combustión interna de 100cc.

III PROCEDIMIENTO

Inicialmente se realizó el análisis sobre la potencia que el motor eléctrico debe tener para poder moverse en la Ciudad de Latacunga, considerando el peso vehicular más ocupante y la velocidad permitida en la zona urbana.

Para la obtención del peso aproximado se consideró los componentes a utilizar de la moto con motor de combustión interna como se observa en la siguiente tabla.

TABLA I
PESO ESTIPULADO DE LA MOTO SCOOTER.

Descripción	Peso
Chasis	55 kg
Motor	5 kg
Batería (4 x 12V – 18 Ah)	22.4 kg
Controlador, convertidor y accesorios	1 kg
Baúl de sistema de alimentación	10 kg
Persona promedio	70 kg
TOTAL	163.4 kg

Con estos datos se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la Fuerza para mover la moto scooter [7].

$$F = C_{rr} N f \quad (1)$$

$$N f = m g \quad (2)$$

Dónde:

- F = Fuerza para mover el scooter del reposo
- C_{rr} = Coeficiente de resistencia a la rodadura (0.03 para una llanta sobre asfalto) [8]. (Wikipedia, 2013)

- Nf = Fuerza normal, que para este caso esta fuerza es igual al peso,
- m = Masa del objeto a mover (tabla 1)
- g = Gravedad (9.81m/s^2).

$$F = (0.03)(163.4 \text{ kg}) (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 48.088 \text{ N}$$

El torque necesario depende del radio de las ruedas y de la fuerza de empuje [7]:

$$Tn = R \cdot F \tag{3}$$

Dónde:

- Tn = Torque necesario
- R = Radio de la llanta
- F = Fuerza de empuje

En nuestro caso se utiliza llantas de 16 pulgadas de diámetro, es decir, $R=0.203\text{m}$

$$Tn = (0.203\text{m})(48.088 \text{ N})$$

$$Tn = 9.7716 \text{ Nm}$$

Para llegar a la velocidad máxima deseada se calcula el valor de la potencia requerida; tomando en cuenta la velocidad máxima permitida en la zona urbana. Para este cálculo se consideró de 11.11 m/s : [7].

$$P_{Vmax} = F \cdot Vmax \tag{4}$$

Dónde:

- P_{Vmax} = Potencia requerida
- F = Fuerza de empuje
- $Vmax$ = Velocidad máxima.

$$P_{Vmax} = (48.088\text{N})(11.11 \text{ m/s})$$

$$P_{Vmax} = 534.318 \text{ W}$$

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima se utiliza la siguiente expresión [7]:

$$\omega = V_{max}/R \tag{5}$$

Dónde:

- ω = velocidad angular
- R = radio del neumático

$$\omega = \frac{9.72 \text{ m/s}}{0.203\text{m}}$$

$$\omega = 54.6806 \text{ rad/s}$$

Debido a que la velocidad angular está dada en RPM, en las especificaciones de los motores, es conveniente realizar la siguiente conversión [7]:

$$\omega_{\text{RPM}} = \frac{\omega(60)}{2\pi} \tag{6}$$

$$\omega_{\text{RPM}} = 522.1619 \text{ RPM}$$

Para la selección del motor eléctrico fueron determinantes los parámetros calculados de torque y de potencia. De la gama que se oferta en la industria se optó por las especificadas en la tabla II.

TABLA II
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO

Parámetro	Especificación
Tipo de Motor	Brushless CC
Velocidad sugerida	$\leq 30 \text{ km/h}$
Velocidad Máxima	45 km/h
Tipo de batería	Plomo acido en gel
Carga estipulada	$\geq 75 \text{ kg}$
Voltaje estipulado	48 v
Salida estipulada	500 w
Salida estipulada	10 Nm
Corriente máxima	$25 \pm 0,5 \text{ A}$
Voltaje mínimo	$42 \pm 0,5 \text{ v}$

Basándose en los datos de la tabla 2, se requiere una intensidad de corriente máxima de 25 A y un voltaje de 48 V con lo cual podemos calcular la autonomía teórica del scooter.

Se determinó la corriente por cada batería para la operación del motor [7].

$$I_B = I_0/n \tag{6}$$

Dónde:

- I_B = Corriente suministrada por la batería
- I_0 = Corriente de operación
- n = Número de baterías utilizadas.

$$I_B = \frac{25\text{A}}{4}$$

$$I_B = 6.25 \text{ A}$$

Cálculo del tiempo de duración de la carga [7]:

$$t_0 = Q/I_0 \tag{7}$$

Dónde:

- t_0 = Tiempo de operación a corriente continua
- Q = Carga de la batería
- I_0 = Corriente de operación.

$$t_0 = \frac{18 \text{ Ah}}{6.25 \text{ A}}$$

$$t_0 = 2.88 \text{ h}$$

Por lo tanto se estipula que con cuatro baterías de ácido plomo en gel conectadas en serie, el scooter será capaz de alcanzar una autonomía de 2.88h .

Para la selección del chasis se da prioridad a uno que haya sido desechado para contribuir a darle un nuevo uso a este tipo de automotores como una forma de reutilización. Para nuestro caso como se puede observar en la figura 1 las condiciones que presentaba inicialmente el scooter cumplían con este requerimiento.



Figura 1 Condiciones iniciales scooter HDM50E-1 100cc

Para el proceso de implementación de los componentes (el controlador, convertidor de voltaje, motor eléctrico y baterías) se delimita la zona donde irán colocados teniendo en cuenta que la mayoría de elementos van a ir conectados al controlador, se busca que el mismo se ubique en una parte de fácil acceso y que además sea segura para los accesorios del controlador.

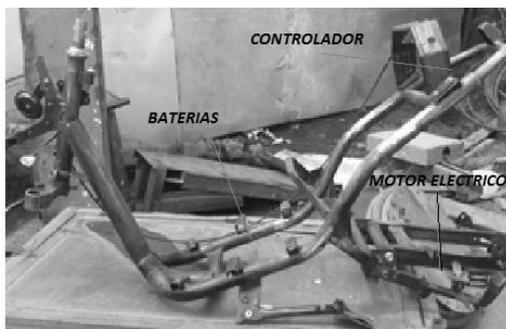


Figura 2 Disposición de los componentes en el chasis

Debido a la incorporación de nuevos componentes se analiza las cargas a las que estará sometida la estructura debido a los puntos de apoyo de los mismos.

Los criterios de diseño empleados fueron los siguientes:

- Deberán acoplarse a la geometría del chasis.
- Soportar el torque máximo del motor de 10 Nm.
- Soportar el peso de una persona promedio de 70 kg.
- Los soportes deben resistir el peso de las baterías, del controlador y del motor.
- Los soportes deben proteger la integridad de las baterías y el controlador.
- Deberán contar con un factor de diseño $N= 4.0$ o más, debido al diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente [8].

Los resultados obtenidos luego del análisis de las cargas fueron favorables debido a que, en el análisis Von Mises se

determina que los esfuerzos más grandes se ubican cerca del controlador con un valor máximo de 1.63×10^7 Pa.

Además según el análisis aplicado obtenemos que la estructura cuenta con un factor de seguridad 5.2839 lo cual nos indica su alta seguridad ante el fallo de la estructura.

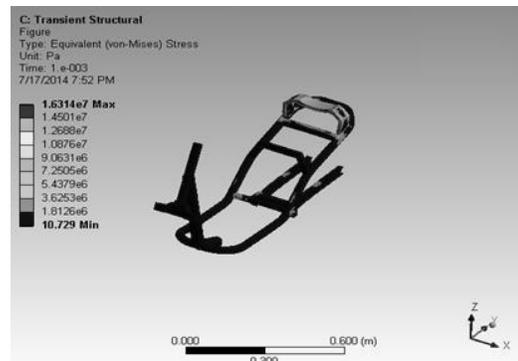


Figura 4 Equivalente de Von Mises

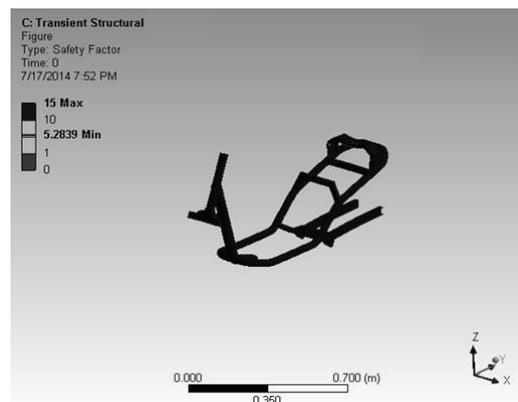


Figura 5 Factor de Seguridad

En el proceso de construcción se empieza por la colocación de las 4 baterías que tienen las características mostradas en la tabla IV, ya que son los elementos que más espacio van a ocupar, se fabrica 2 porta-baterías para que las mismas puedan ir sujetas adecuadamente y conectadas en serie. En la siguiente tabla se visualiza los datos de las baterías seleccionadas.

TABLA III
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BATERÍA

Especificaciones Técnicas	
Voltaje	12 V
Capacidad	18 Ah
Tipo	AGM
Dimensiones	181x76x166 mm
Peso	5700 g

Se ubican los porta-baterías de manera que cumplan con los requisitos preestablecidos en el diseño, considerando los estándares de seguridad.

Para la instalación del motor eléctrico se diseña una triceta considerando las cargas a las que será sometido.

Con el chasis modificado se instaló los componentes eléctricos y electrónicos. El motor eléctrico como puede observarse en la figura 8 que es parte de la llanta, lo que reduce el espacio a ocupar con los nuevos dispositivos.

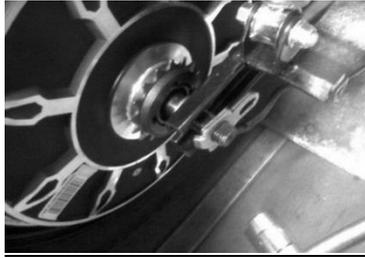


Figura 6 Instalación del motor eléctrico

Como la carga de las baterías es de 110 voltios se incorpora un convertidor; además, de realizar un circuito que permita enviar 12 voltios al sistema de accesorios de la moto. El diagrama eléctrico puede observarse en la figura 7.

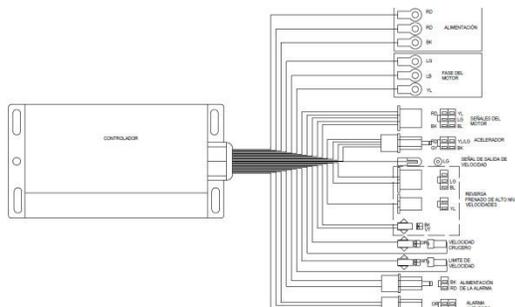


Figura 7 Controlador

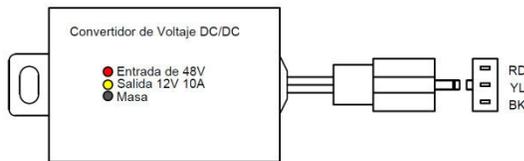


Figura 8 Convertidor de Voltaje 48DC/12DC

El convertidor de voltaje se utilizara para el sistema de accesorios puesto que este sistema funciona con 12V.

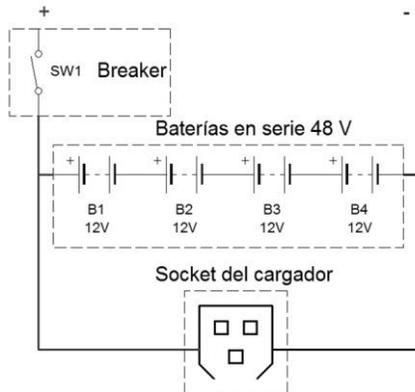


Figura 9 Circuito de carga

Teniendo todos los elementos montados en el scooter tenemos la siguiente disposición de los mismos.



Figura 10 Prototipo del scooter

El sistema de alimentación está dado por los siguientes elementos panel solar, regulador de carga, batería y consumidores es este caso el sistema de accesorios.



Figura 11 Implementación del sistema de accesorios.

Para la implementación del sistema de accesorios utilizamos el mismo cableado que existía en nuestro scooter de combustión interna con la diferencia de la entrada de corriente, la cual fue modificada como antes mencionamos tanto por el sistema de carga como por el sistema de alimentación.

Finalmente con todos los nuevos elementos montados y tras realizar pruebas de funcionamiento se procedió al montaje del carenado del scooter y accesorios teniendo en cuenta que por las condiciones iniciales del mismo se tuvo que aplicar pintura poliuretano de color negro a todo el carenado y además se procedió a arreglar las partes en mal estado.



Figura 121 Colocación del carenado.

IV RESULTADOS OBTENIDOS

Las pruebas de autonomía y velocidad máxima se efectuaron en la Ciudad de Latacunga en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas específicamente en el parqueadero el cual tiene un perímetro de 0.422 km, el día viernes 11 de abril del 2014 con una temperatura promedio de 19°C y una humedad del 64 %.



Figura 13 Parqueadero Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

La distancia total recorrida por el scooter eléctrico a una velocidad de 15 Km/h fue de 45 km, durante 3 horas en una superficie plana.

Para análisis los resultados obtenidos partimos de datos como el consumo de operación y mantenimiento de un scooter a combustión interna teniendo en cuenta parámetros como:

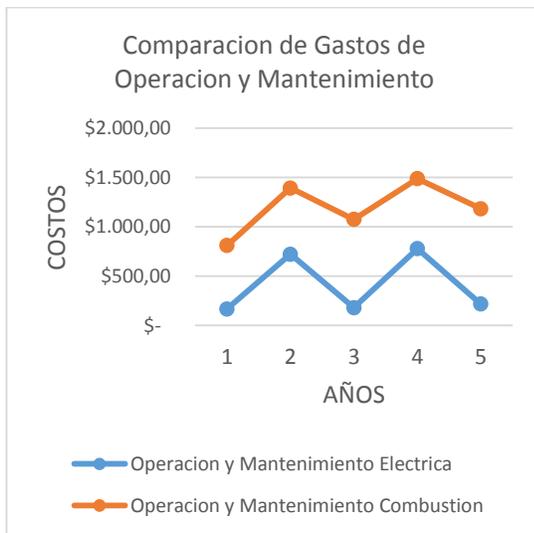


Figura 14 Comparación de Gastos de Operación y Mantenimiento

TABLA V
CONDICIONES INICIALES PARA EL ANÁLISIS

Recorrido diario requerido	45 km
Cantidad de Litros en 1	3,79 gal
Costo de la Gasolina Extra	1,48 gal
Costo Gasolina Súper	2,25 gal
Costo de Aceite 4T(1000cc) 1L	\$ 10
Consumo Combustible	35km/L

Capacidad del Tanque de Combustible	5 L
Proporción Combustible/Aceite (L combustible /1L aceite)	24
Consumo eléctrico anual	\$ 47,16
Autonomía Scooter Eléctrico (km)	45 km

Comparando los costos resultantes de operación y mantenimiento entre el scooter 100cc y el scooter eléctrico obtuvimos los siguientes resultados.



Figura 2 Porcentaje de ahorro

V CONCLUSIONES

La instalación de un motor eléctrico tipo Brushless crea el suficiente espacio para componentes como las baterías y el controlador sin que los mismos afecten a la estética del scooter.

La instalación de un sistema de energía solar para la alimentación del acumulador del sistema de accesorios ayuda notablemente a la autonomía de la misma y puede considerarse como un dispositivo de seguridad.

Debido a la potencia del motor se obtuvo una velocidad razonable para la circulación del scooter en la ciudad, sin superar el límite de velocidad estipulado por la ANT.

Se obtuvo un ahorro económico considerable en cuanto al consumo de energía del scooter eléctrico a comparación de una de gasolina con un ahorro promedio anual del 32%.

REFERENCIAS

- [1] CEPAL, Disponible en: http://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/19336/lcg2175e_bull.pdf. [2014, 16 de junio]
- [2] El tiempo, Disponible es: <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-opinion/9173-caos-vehicular-en-mercados/> [2014, 14 de julio]
- [3] BIESS, disponible en: <http://www.biess.fin.ec/quiografarios/credito-inmediato> [2014,14 de julio]
- [4] Banco del Austro, Disponible en: <http://www.creditos.com.ec/credito-para-compra-de-vehiculo-de-banco-del-austro/>, [2014,14 de julio]
- [5] Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Scooter_%28motocicleta%29 [2014, 20 de enero]
- [6] Gobierno Nacional, Disponible en: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo.pdf [2014,16 de julio]
- [7] Beceril Sandoval, J. A. (2014). Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una

moto deportiva eléctrica. Tesis de pregrado, Mexico D.F. Recuperado el 25 de Mayo de 2014, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3489>

- [8] Mott, L. R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON EDUCACIÓN.



Euro Mena, nació en Quevedo – Los Ríos – Ecuador. Es Ingeniero Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejército, Docente de la ESPE desde 1997. Coordinador de investigación del Departamento de Energía y Mecánica.



William Bonilla, nació en la ciudad de Salcedo, Ecuador. Es Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Riobamba, dispone estudios de Posgrado en Gestión de Energías, Docente tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE –Latacunga.



Wilson Través, nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional, Es docente tiempo parcial del Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad.



Luis Mena, nació en Quevedo, Ecuador es Ingeniero en Electrónica e Instrumentación, sus estudios los realizó en la ESPE-Extensión Latacunga. Se desempeña como docente tiempo parcial, en el departamento de Eléctrica y Electrónica.



Enrique Cabrera, nació en Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, presta sus servicios profesionales en asesoramiento de mantenimiento de equipo pesado.



Christian Bastidas, nació en Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, presta sus servicios profesionales en asesoramiento de sistemas automotrices.

Diseño del Sistema de Suspensión para un Vehículo de competición Formula Student

Mena Euro¹; Arteaga Oscar¹, Castro Juan¹, Iza Henry¹, Rocha Juan¹, Zambrano Víctor¹, Cruz Mauricio¹, Mena Stalin¹, Garcés Manuel¹, William Bonilla¹, Javier Condor²

¹Departamento de Mecánica y Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE Extensión Latacunga, Latacunga - Ecuador

²Universidad Técnica de Quevedo, Quevedo - Ecuador

*ermena@espe.edu.ec, jcastro@espe.edu.ec, hhiza@espe.edu.ec, jcrocha@espe.edu.ec,
vdzambiano@espe.edu.ec, gmcruz@espe.edu.ec, jsmena@espe.edu.ec, magarces@espe.edu.ec,
webonilla@espe.edu.ec*

Recibido: octubre, 2014; Aceptado: diciembre, 2014.

Resumen-- El objetivo de la presente investigación es analizar las ventajas y desventajas de los sistemas de suspensión Pull Rod y Push Rod, para implementarlos en el bastidor del vehículo prototipo Formula Student de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, considerando las dimensiones, cargas y esfuerzos a los que serán sometidos para la selección del tubo que es de producción nacional, sin olvidar lo establecido en el Reglamento de la SAE.

Otros factores a considerar es que no obstruyan el buen funcionamiento de los sistemas de dirección y frenado, así como la colocación de la carrocería.

Palabras claves-- Sistema de suspensión, formula Student, pull rod, push rod.

Abstract-- The objective of this research is to analyze the advantages and disadvantages of the suspension systems Push Rod and Pull Rod, to implement in the prototype vehicle chassis Formula Student University of the Armed Forces ESPE, considering the dimensions, loads and stresses to which will be submitted to the selection of tube that is locally produced, not to mention the provisions of the Regulations of the SAE.

Other factors to consider is that they do not obstruct the proper functioning of the steering and braking, as well as the placement of the body.

Keywords-- Suspension system makes Student, pull rod, push rod.

I INTRODUCCIÓN

La Formula Student, es un evento entre estudiantes de universidades de todos los continentes que promueven la excelencia en ingeniería, al diseñar, construir, desarrollar y competir con un vehículo monoplaza [1].

Los sistemas de suspensión Push rod y Pull rod [2], constan de dos triángulos de suspensión, una barra diagonal que trabaja a compresión o tracción según sea el caso. El eje en diagonal cuando funciona a compresión es de mayor grosor

para aguantar la fuerza y que no se rompan. Esto significa que aumenta el peso y la resistencia aerodinámica del vehículo que tiene incorporado este tipo de sistema de suspensión.

La ventaja del sistema a compresión o Push rod es que soporta mejor los baches y pianos altos por ser más robusto.

II DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Los vehículos de Formula Student se asemejan a los de Fórmula 1, por eso se copian sus sistemas inicialmente y luego de entender los principios de funcionamiento se procede a la mejora.

Para minimizar los recursos necesarios para realizar ensayos y establecer a través de prueba y error los resultados de confiabilidad de los componentes y del sistema de suspensión en sí, se ha utilizado software de ingeniería asistida por computador (CAE) [3], Manufactura asistida por computador (CAM) [4] y Diseño asistido por computador (CAD) [5].

En la construcción se utilizó herramientas de medición, corte y desbaste, los equipos fueron un torno CNC [6] [7] y suelda MIG [8] [9].

III PROCEDIMIENTO

Se realizó un análisis del diseño de suspensión Pull rod y Push rod, para establecer los puntos de anclaje de los componentes al bastidor diseñado para el prototipo según el reglamento de la SAE, como puede observarse en la figura 1.

En los tipos de suspensión estudiados, uno de los brazos que dirigen la mangueta sobre la cual se apoya la rueda y el vehículo, se encuentra casi totalmente descargado, es decir, su función principal es la de guiar el movimiento de la mangueta y no de soportar cargas, en el caso de las suspensiones push rod el brazo más cargado se apoya a la barra que transmite la fuerza hacia el conjunto resorte-amortiguador sea este el brazo

superior o inferior dependiendo de la arquitectura dada por el diseñador. De la misma manera en las suspensiones pull rod el brazo más cargado se acopla al conjunto resorte amortiguador en la mayoría de los casos por el tipo de construcción el brazo superior.

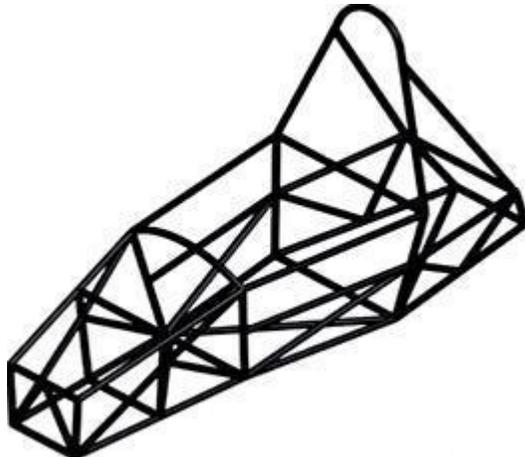


Figura 1: Bastidor del vehículo prototipo. Fuente: Los autores.

Por lo anteriormente expuesto el análisis computacional que se realizó en este trabajo fue en la suspensión delantera sobre los brazos inferiores y en la suspensión trasera sobre los brazos superiores. También sobre las manguetas, barras de tracción, barras de compresión y las bieletas.

A. Requerimientos para el diseño.

- El vehículo debe ser con ruedas descubiertas y habitáculo abierto.
- La distancia entre ejes es de 1660 mm.
- El ancho de vía es para el eje delantero de 1250 mm, y para el eje trasero 1230 mm.
- No existe límite de peso, pero se estimó de 370 Kg (300 Kg el vehículo y 70 Kg el piloto).
- Las dimensiones finales del vehículo, incluida la carrocería, serán de 3000mm de largo, 1400mm de ancho y 1200mm de alto.
- La inclinación de la mangueta del eje delantero 6°, eje trasero 6°.
- El radio de pivotamiento del eje delantero 20 mm, eje trasero 20 mm.
- El ángulo de avance del eje delantero 3°, eje trasero 3°.
- El ángulo de caída del eje delantero y trasero regulable.
- La convergencia y divergencia del eje delantero y trasero regulable
- La distancia al piso será de 50 mm, por cuanto esta es la distancia al piso mínima del reglamento F SAE 2010.
- La distancia del piso al centro de masa del chasis, es de 298 mm dato proporcionado por el equipo responsable del bastidor.
- La aceleración lineal es de 2,84 m/s², la desaceleración de 8,329 m/s², la aceleración lateral en curva de 16,677 m/s²

considerando los datos de los registros de la prueba de aceleración de la SAE.

- Considerando la aceleración, la masa, la altura del centro de masa y la longitud entre ejes, la transferencia de masa es de 188,63 (N).
- La transferencia de masas en el vehículo es de 45% adelante y 55 % atrás.
- El recorrido del sistema de suspensión por reglamento es mínimo 50,8 mm de recorrido total

De los cálculos se obtuvo la siguiente tabla.

TABLA I
TRANSFERENCIA DE MASAS DEL PROTOTIPO

	Rueda Delantera	Rueda Trasera
Sin movimiento	83.25 kg.	101.75 kg
Aceleración	76.72 kg.	108.28 kg.
Frenada lineal	108.80 kg.	76.20 kg.
Curva	144.39 kg.	177.69 kg.

Por las especificaciones del recorrido del sistema de suspensión y a las condiciones de trabajo y carga se seleccionó un amortiguador de marca Manitou, modelo Swinger SPV de distancia entre agujeros de 200 mm, recorrido de 55 mm y un resorte de 550 lbf-pulg. El esquema del amortiguador se puede observar en la figura siguiente.

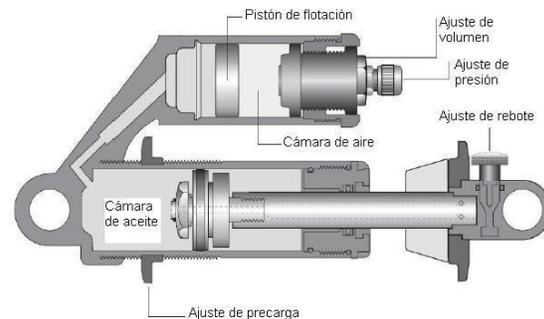


Figura 2. Esquema del amortiguador utilizado

Las bieletas son asimétricas tanto para la suspensión delantera como trasera con las dimensiones que se especifican en las siguientes figuras para obtener los valores de recorrido solicitado en el reglamento.

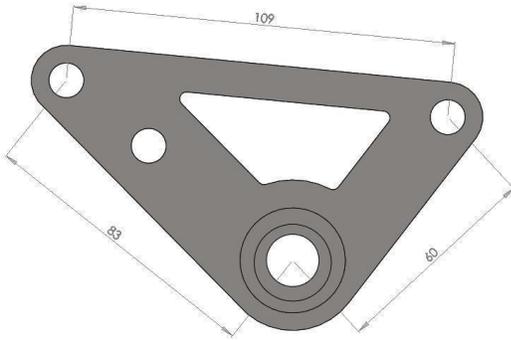


Figura 3. Bieleta delantera

El factor de seguridad será de no menos de 1,4 que es el valor recomendado para partes de vehículos de competencia. Los datos ingresados al sistema fueron de un acero AISI 1020, fuerza en la rueda de 1500 N y en el soporte de 1725 N.

Para el análisis de la bieleta delantera se consideró el acero AISI 1020, soporte del resorte de 550 lb-pulg (constante del resorte), la fuerza de la barra impulsora de 1500 N (la misma de la rueda) y la fuerza de la barra estabilizadora: 1200 N (estimada), en la figura 5, se observa el resultado de tensión de la bieleta delantera.

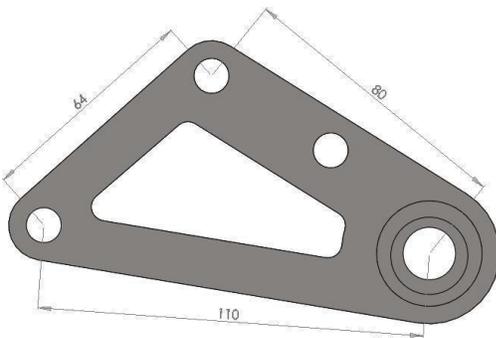


Figura 4. Bieleta trasera.

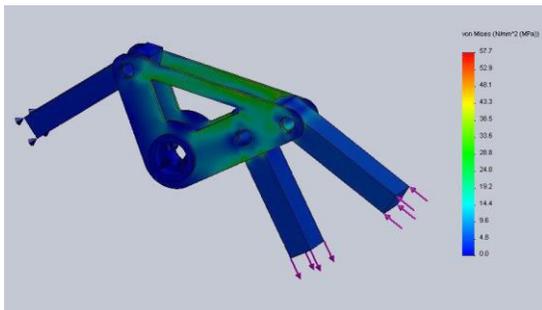


Figura 5. Resultados de la tensión en la bieleta delantera

Para el análisis de la bieleta trasera se consideró el acero AISI 1020, soporte de resorte de 550 lb-pulg (constante del resorte), la fuerza de la barra impulsora: 1750 N (la misma de la rueda) y la fuerza de la barra estabilizadora de 1400 N (estimada). En la figura 6, se observa el resultado de tensión de la bieleta trasera.

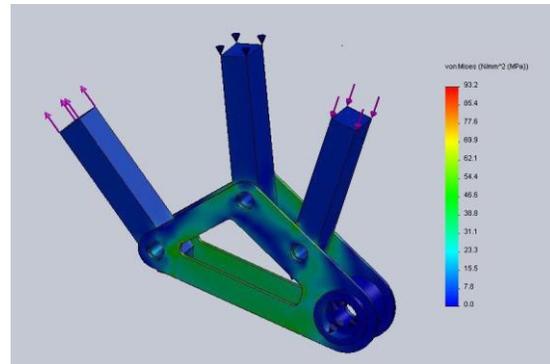


Figura 6. Resultados de la tensión en la bieleta trasera

Para analizar los elementos se consideró la fuerza que se transmite desde la rueda hacia el conjunto resorte-amortiguador. Siendo para el sistema delantero por el brazo inferior y para el eje trasero el brazo superior.

El estudio es estático colocando las uniones móviles (rótulas) como el punto fijo y como puntos de aplicación de fuerzas se utilizará el punto de conexión a la mangueta y la base del soporte de las uniones móviles hacia las barras de compresión y tracción como se observan en las figuras 7 y 8.

En la figura 7 se visualizan los resultados de la simulación de fuerzas de tensión en el triángulo delantero de la suspensión.

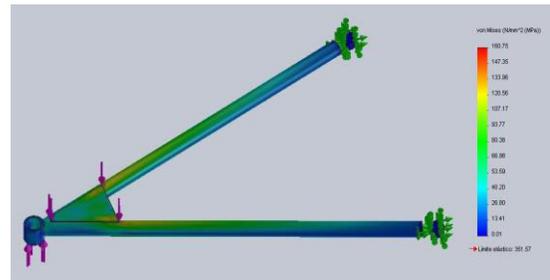


Figura 7. Resultado de la Tensión del componente delantero

En la figura 8, en cambio se observa el desplazamiento del mismo componente.

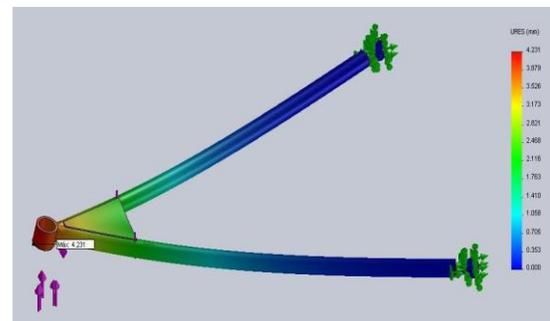


Figura 8. Resultado de desplazamiento del componente delantero

Para el triángulo de la suspensión trasera se consideró el acero AISI 1020, fuerza en la rueda de 1750 N y al soporte de 2400 N. En las siguientes figuras se puede observar el análisis realizado al componente trasero.

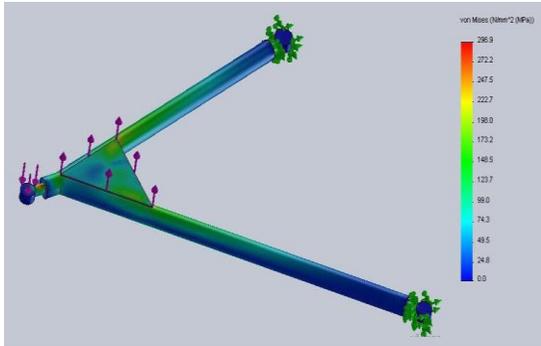


Figura 9. Resultado de la Tensión del componente trasero

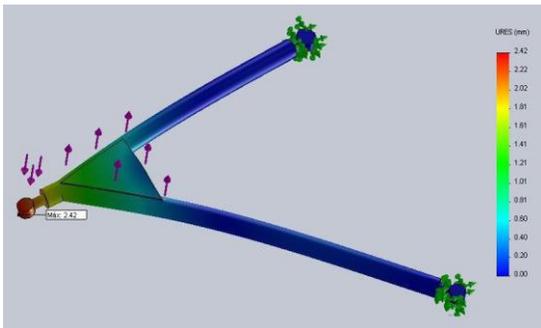


Figura 10. Resultado de desplazamiento del componente trasero.

Bajo estas mismas consideraciones, fueron construidos los diseñados y analizados componentes restantes de la suspensión.

El sistema de suspensión delantera Push rod quedo diseñado como se muestra en la figura 11 de este artículo.

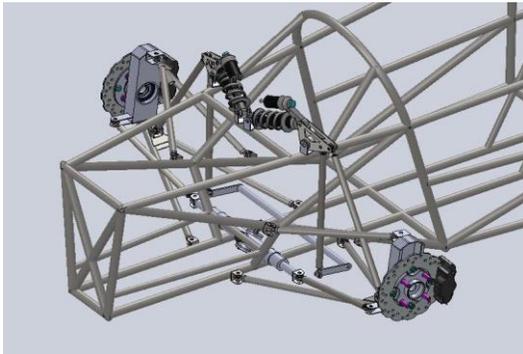


Figura 11. Sistema de suspensión delantero Push rod

El sistema de suspensión trasero Pull rod se diseñó como se muestra en la figura 12.

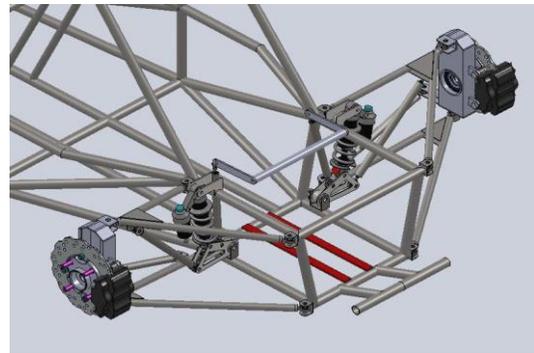


Figura 12. Sistema de suspensión trasero – Pull rod.

Finalmente se construyeron los componentes utilizando los materiales de producción nacional y que cumplían con las características cargadas al software de simulación. En la siguiente figura puede visualizarse el vehículo ensamblado, el cual fue a competir en Alemania, alcanzando superar las pruebas de diseño, acústica y Tilt Test.



Figura 13: Vehículo prototipo terminado.

IV CONCLUSIONES

Las dimensiones de los tirantes que inicialmente se construyeron fueron aumentadas, para que la distancia entre la parte baja de vehículo y el suelo sea el estipulado por el Reglamento de la SAE.

La utilización de software reduce los costos de producción y permite realizar pruebas de tensión y desplazamiento.

El factor de seguridad que se obtuvo mediante software fue de 2,37, superior al recomendado por especialistas en el área.

En la simulación y en la práctica de las pruebas realizadas, no se obtuvo pandeo o rotura de los componentes o uniones soldadas.

REFERENCIAS

- [1] Reglamento de la Formula Student. (2012). Disponible en URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Formula_Student. [2013, 15 de marzo]
- [2] Autodesk. Disponible en: <http://www.google.com/patents/US5711544> [2014, 10 de junio]
- [3] SIEMENS. Disponible en: http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml. [2014, 6 de junio]

- [4] SIEMENS, Disponible en http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cam.shtml [2014, 6 de junio]
- [5] SIEMENS. Disponible en: http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml [2014, 6 de junio].
- [6] Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_control_num%C3%A9rico [2014, 2 de junio].
- [7] Metalactual. Disponible en: <http://www.metalactual.com/revista/12/maquinariatornoscnc.pdf> [2014,2 de junio].
- [8] Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_MIG/MAG [2014, 2 de junio].
- [9] Ingemecanica. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn53.html>. [2014, 2 de junio].

Agradecimiento-- A la Universidad de las Fuerzas Armadas por creer en nosotros y apoyarnos en la construcción del vehículo FESPE.



Euro Mena, nació en Quevedo – Los Ríos – Ecuador. Graduado de Ingeniero Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejército, Docente de la ESPE desde 1997. Coordinador de investigación del Departamento de Energía y Mecánica.



Oscar Arteaga, nació en Ambato – Tungurahua – Ecuador, Graduado de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica del Chimborazo y Master en Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad Técnica de Ambato. Docente de la ESPE desde el 2000.



Henry Iza, nació en Quito Ecuador, es Ingeniero Automotriz. Dispone estudios de posgrado en Autotrónica, Docencia Universitaria, Cursando una Maestría en Sistemas Automotrices. Docente Tiempo Parcial de la ESPE Extensión Latacunga desde 2010.



Juan Castro, nació en Ambato Ecuador, es Ingeniero Mecánico. Dispone estudios de posgrado en Administración educativa en educación superior, Elaboración de proyectos de investigación científica y tecnológica, Cursando una Maestría en Gestión de la energía. Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga desde 1992.



Stalin Mena, nació en la ciudad de Ambato, Ecuador. es Ingeniero Automotriz, estudios de posgrado en Autotrónica, Gestión de la Producción, Docente Tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



Juan Carlos Rocha H., nació en Quito, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, dispone estudios de Posgrado en Sistemas Automotrices, Autotrónica, Docencia Universitaria, Docente Tiempo Parcial en la Escuela Politécnica del Ejército desde 2008. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica automotriz.



Víctor Zambrano, nació en la ciudad de Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, estudios de posgrado en Autotrónica, Sistemas Automotrices, Gestión de la Producción, Docente Tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



Mauricio Cruz, nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, estudios de posgrado en Autotrónica, Docencia Universitaria Gestión de la Producción, Docente Tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE–Latacunga.



William Bonilla, nació en la ciudad de Salcedo, Ecuador. Es Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Riobamba, dispone estudios de Posgrado en Gestión de Energías, Docente tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

REVISTA INFOCIENCIA

1. La revista “Infociencia” es de carácter científico y tecnológico, con aplicación al campo de las ciencias de la ingeniería. La revista aparece anualmente en el mes de diciembre.
2. Todo trabajo científico debe ser inédito, la revista acepta artículos escritos en idiomas español o inglés.
3. Los trabajos científicos se reciben, durante el mes de Julio, en la **Secretaría de la Jefatura de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica**, en la dirección Márquez de Maenza y Quijano y Ordóñez, o bien, vía e-mail a sie-el@espe.edu.ec
4. El editor inicialmente evaluará los trabajos científicos determinando la pertinencia del mismo para proseguir con la evaluación de los trabajos por pares.
5. Los trabajos científicos serán enviados a pares evaluadores los cuales realizarán las respectivas revisiones a través de comentarios y sugerencias que permitan mejorar los trabajos científicos en fondo y en forma.
6. Es responsabilidad del autor obtener permiso para utilizar material que aparece en otras publicaciones.
1. Los autores deberán suministrar sus trabajos científicos en formato Word. El ancho de los márgenes será de 1,78 cm inferior y superior y de 2 cm de izquierda y derecha.
2. New Times Román será el tipo de letra a utilizarse para la elaboración de los trabajos científicos.
3. El formato del título principal será: tamaño 22 centrado.
4. Se deberá incluir el nombre del autor o autores en tamaño 11, en una línea. En las siguientes se indicará la institución donde trabaja con la dirección respectiva en tamaño 11 normal. En la siguiente línea la dirección email del autor en cursiva y tamaño 11. Todo esto centrado.
5. A continuación se pondrá el Resumen y el Abstract en español y en inglés respectivamente así como sus respectivas Palabras Claves y Keywords. Las palabras Resumen, Abstract, Palabras Claves y Keywords va a la izquierda con negrilla, en tamaño 9 cursiva, seguida de dos líneas. El texto va en tamaño 9. La extensión máxima del Resumen o Abstract es de 200 palabras.
6. Los Apartados de un artículo irán escritos con letras mayúsculas, en negrita, centrado, con numeración arábiga, con tamaño 10. Los Subapartados se escribirán con letras minúsculas, de tamaño 10 en negrita, alineado a la izquierda y destacados con letras mayúsculas siguiendo el orden alfabético. El texto propiamente del artículo será escrito en tamaño 10 normal.
7. Entre el título o enunciado del Apartado o Subapartado y el número arábigo o letra debe quedar un espacio en blanco.
8. Los gráficos, figuras o fotos se enumerarán y señalarán con Figura. Los cuadros y tablas se han de enumerar independientemente de las figuras y se han de señalar con la palabra Tabla.
9. La referencias serán numeradas, entre corchetes, con números romanos y se presentan al final del artículo, siguiendo estrictamente el orden: Apellidos, Nombres, Título, Editorial, Año y Números de páginas. Toda referencia deberá tener una cita en el texto mediante el número de referencia encerrado entre corchetes.
10. Se recomienda numerar las fórmulas utilizadas entre paréntesis y con la debida alineación hacia la derecha. Dichas fórmulas o ecuaciones deben centrarse.
11. Lo no previsto en las normas señaladas será decidido por el respectivo Comité Editorial.



REVISTA INFOCIENCIA

ISSN: 1390-339X

UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSION LATACUNGA

Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara

Quijano y Ordoñez s/n y Hermanas Paez

Tel: (03)2810206 Fax: (03)2810280

<http://www.espe.edu.ec>