

ISSN 1390-6712

MASKAY



Vol. 6, No. 1

Revista MASKAY

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

DIRECTOR DEL DEEE

Ing. Evelio Granizo

EDITOR GENERAL

Dr. Enrique V. Carrera

CONSEJO EDITORIAL

Diego Benítez (USFQ)
Diego Arcos (ESPE)
Lauro Ojeda (UMICH)
Ana Guamán (ESPE)
Juan Pablo Robelly (R&S)
Vinicius Petrucci (UFBA)
José Luis Rojo (URJC)
Carlos Julio Tierra (UFRJ)
Alexis Tinoco (ITA)

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Revista MASKAY
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Av. Gral. Rumiñahui (S/N)
P. O. Box 17-15-243B
Sangolquí, Pichincha, Ecuador
Telf. +593 2 3989400 ext 1880

El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus correspondientes autores. Mayor información en <http://maskay.espe.edu.ec/>.

Presentación

El Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, consciente de su gran responsabilidad con la sociedad, busca proponer e impulsar iniciativas tendientes a fomentar el desarrollo integral de la ingeniería eléctrica y electrónica en el Ecuador. Como resultado de este compromiso, nace en el año 2011 la revista Maskay. Esta revista sintetiza de una forma documentada los esfuerzos en investigación y desarrollo que vienen realizando los profesores y estudiantes del Departamento de Eléctrica y Electrónica, así como otros investigadores de la región.

En esta sexta edición, la revista Maskay pone a consideración de la comunidad universitaria seis trabajos científicos realizados por investigadores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en conjunto con otros centros de educación superior del país. Varios de estos trabajos son el resultado de los Proyectos de Fin de Carrera llevados a cabo por estudiantes de las Carreras de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, e Ingeniería en Electrónica, Redes y Comunicación de Datos.

Enrique V. Carrera
Editor General

Contenido

Automatización del bobinado industrial de fleje plástico mediante motores eléctricos basados en algoritmos de control de movimiento <i>Marco Abril, Evelyn Lema, Hugo Ortiz</i>	1
Herramienta multiplataforma para generación automática de aplicaciones interactivas Ginga-NCL basado en plantillas <i>Carlos Pillajo, Juan Ochoa, Freddy Acosta, Gonzalo Olmedo</i>	8
Comportamiento dinámico de lámparas HID-MH al operar en alta frecuencia con onda cuadrada <i>Jaime Ayala, Eduardo Gutierrez</i>	13
Modelo de producción de contenidos digitales para la educación online <i>Evelio Granizo, Silvia Haro</i>	20
Conceptualización de SDN y NFV <i>Ramiro Rios</i>	29
Estado del arte en la detección de intrusiones en las redes 801.11i <i>Carlos Romero, Luis Balseca, Fabián Sáenz, Javier Díaz</i>	35

Comité Técnico

Darwin Alulema
Daniel Benalcázar
Diego Carrión
Esteban Inga
David Mejía
Leony Ortiz
Fausto Pasmay
David Rivas

Diego Arcos
Enrique V. Carrera
Ana Guamán
Ricardo Llugsí
Javier Ortiz
Nancy Paredes
Salomé Pérez

Automatización del Bobinado Industrial de Fleje Plástico Mediante Motores Eléctricos Basados en Algoritmos de Control de Movimiento

Automation of an industrial process for winding plastic strap using electric motors controlled by motion algorithms

Marco Abril A.¹, Evelyn Lema V.², Hugo Ortiz T.³

Resumen—En este artículo se describe el diseño e implementación de un Sistema Eléctrico y Electrónico para automatizar el proceso de bobinado de fleje plástico de polipropileno en la empresa CODIEMPAQUES del ECUADOR Cía. Ltda. , mediante el uso de motores eléctricos de inducción y motores a pasos que permitirán enrollar y posicionar el fleje plástico en un carrete para su posterior almacenamiento y distribución. En el proceso de bobinado para obtener un rollo de fleje plástico uniforme y compacto intervienen dos etapas. La etapa de enrollado realizada por el motor de inducción trifásico bajo el control del algoritmo de fuerza; la etapa de posicionamiento realizada por el motor a pasos a través de algoritmos de control de movimiento de posición, velocidad y cambio de giro. Los algoritmos son procesados por autómatas de gama alta y reciben señales provenientes de diferentes sensores; posteriormente las señales son transferidas mediante red de autómatas MODBUS para su procesamiento. La etapa de implementación se realizó bajo la norma ISO/IEC 24702 para la distribución, maniobra y conexión de los dispositivos optimizando el tiempo y recursos.

Palabras Clave: Carrete, Algoritmos, Bobinado, Modbus, Automatización.

Abstract—This article describes the design and implementation of an Electric and Electronic System to automate a process for winding polypropylene plastic strap in the factory CODIEMPAQUES of ECUADOR CIA. LTDA. The automatic process uses induction motors and stepper motors to allow winding and positioning the plastic strap on a spool for storage and distribution. The winding process that produces an uniform compact plastic strap roll is compounded of two stages. The first stage uses a three-phase induction motor controlled by strength algorithms. The second stage uses a stepping motor controlled by three algorithms of position, speed and change-rotation. The algorithms are processed by high performance controllers that receives the signals from some sensors. Then, the signals are transferred by MODBUS NETWORK CONTROLLERS in order to be processed. Finally, the implementation is developed under the ISO / IEC 24702 standard guides for distribution, switching and connection of devices, this standard guide optimizes time and resources.

Index Terms— Spool, Algorithms, Winding, Modbus, Automation.

^{1,2,3} Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, mfaa@outlook.com, eglv1989@hotmail.com, hgortiz@espe.edu.ec.

I. INTRODUCCIÓN

Las necesidades del mercado actual de productos terminados con garantías de calidad y cantidad a precios competitivos, exige modificar procesos industriales en producción, empaque y distribución, para lo cual se incluye el área de automatización a los diferentes procesos mediante instrumentos de medición y control.

En gran cantidad de procesos industriales existen ciertas variables críticas a controlar. La velocidad, desplazamiento y fuerza, es una tarea de gran importancia para el funcionamiento de sistemas de bobinado automático. [1], [2] Una de las principales dificultades que presenta el control de estas variables es la precisión y exactitud durante el proceso de bobinado de diferentes tipos de flejes y carretes.

En este trabajo se diseñó e implementó un sistema eléctrico y electrónico basado en algoritmos de control de velocidad, fuerza, posición y cambio de giro para motores paso a paso y motores de inducción. Además de una red de autómatas para la recepción y transferencia de datos desde los sensores inductivos y encoder incrementales.

II. DISEÑO DEL SISTEMA

La automatización del proceso de bobinado fue diseñado de acuerdo a los requerimientos de la empresa CODIEMPAQUES del ECUADOR en flexibilidad respecto a los distintos tamaños de fleje y carrete de cartón; seguridad y cantidad de hilos de fleje de la línea de producción anterior. Para determinar la mejor alternativa de automatización para el proceso se utilizó el análisis morfológico.

II-A. ANÁLISIS MORFOLÓGICO

Es una técnica sistemática para la obtención de una matriz de prioridades o factores, donde se enumeran las funciones, atributos o variables fundamentales del objeto a diseñar y en las siguientes columnas se relacionan todas las posibles alternativas o soluciones de cada una de las funciones. El desarrollo de la matriz morfológica consiste en seleccionar los parámetros más importantes del problema luego buscar la mayor cantidad de alternativas para cada parámetro. En una

matriz morfológica, cada función es esencial e independiente del resto.

Para el diseño del sistema de bobinado se ha dividido en los siguientes procesos:

1. Proceso de Enrollado

El proceso permite enrollar el fleje plástico de tipo PP sobre un carrete de cartón, accionado por un motor de inducción trifásico, el cual transmite el movimiento hacia la parte final de la aplicación que es el carrete mediante una reducción mecánica, de acuerdo a la figura 1. La variable a determinarse en este proceso es la fuerza o torque para enrollar en fleje.



Figura 1. Rotación de eje a velocidad variable para enrollamiento de fleje tipo PP de 12 mm

2. Proceso de Posicionamiento del guía fleje

Para este proceso se usa un motor a pasos y un husillo de bolas como actuador, el mismo que posiciona la guía del fleje a lo largo del carrete consecutivamente vuelta tras vuelta. La resolución mínima del posicionamiento es de 1 mm determinada por el husillo de bolas y el paso mínimo del motor a pasos, de acuerdo a la figura 2. Las variables a determinarse son velocidad y posicionamiento.



Figura 2. Posicionamiento de la guía a través de husillo de bolas a lo largo del carrete

3. Criterios Ponderados

Para elegir la opción más favorable dentro del estudio, es necesario tomar en cuenta aquellas variables y detalles del proceso de bobinado, para lo que realizará una ponderación de los parámetros según su importancia. En

todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios. En la tabla I se observa los parámetros de selección a considerarse según su importancia en el proceso de enrollado y posicionamiento, siendo el parámetro de precio el de mayor peso.

Cuadro I
EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Precio > Control > Disponibilidad > Alimentación = Mantenimiento							
	Precio	Control	Disponibilidad	Alimentación	Mantenimiento	$\sum +1$	Peso
Precio		1	1	1	1	5	0,33
Control	0		1	1	1	4	0,27
Disponi.	0	0		1	1	3	0,2
Alime.	0	0	0		0,5	1,5	0,1
Manten	0	0	0	0,5		1,5	0,1
SUMA						15	1

En la tabla II obtenemos el peso específico de cada alternativa de motores eléctricos, obteniendo 0,5 de 1 para el motor de inducción. Luego multiplicamos el

Cuadro II
EVALUACIÓN DEL CRITERIO PRECIO SOBRE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Motor de Inducción > Motor DC > Servomotor					
	Induc	DC	Servo	$\sum +1$	Peso
Induc		1	1	3	0,50
DC	0		1	2	0,33
Servo	0	0		1	0,17
SUMA				6	1

peso específico de los parámetros y alternativas de motor eléctrico. Se realiza este procedimiento para los parámetro de precio, control, disponibilidad, alimentación y mantenimiento, según la tabla III. Finalmente realizamos el mismo procedimiento para todos los sistemas.

Cuadro III
COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE ALTERNATIVAS Y CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MOTOR DE ENROLLADO

	Precio	Control	Disponibilidad	Alimentación	Mantenimiento	Prioridad	\sum
Inducción	0,16	0,13	0,10	0,04	0,04	1	0,48
DC	0,10	0,08	0,05	0,02	0,02	2	0,28
Servo	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	3	0,24
SUMA							1

4. Matriz Morfológica

Mediante los resultados del método de criterios ponderados se obtiene la matriz morfológica de la figura 3, en donde la alternativa A es la opción más adecuada; posteriormente se procede con el dimensionamiento de los componentes eléctricos y mecánicos.[2]

Proceso	Sistema	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Enrollado	Transmisión de Potencia			
	Transmisión de Movimiento			
Posicionamiento	Transmisión de Potencia			
	Transmisión de Movimiento			

Figura 3. Selección de alternativa para el sistema de bobinado

II-B. DISEÑO DE HARDWARE

Para realizar las adecuaciones necesarias en la puesta en marcha del sistema de bobinado compuesto por cuatro unidades de enrollamiento de acuerdo al diagrama esquemático de la figura 4, es necesario definir los rangos del tamaño de carrete (CARRETE) y fleje (FLEJE) para la operación del sistema .[3]

- CARRETE: 150-220 mm de altura
- FLEJE: 10-16 mm de ancho

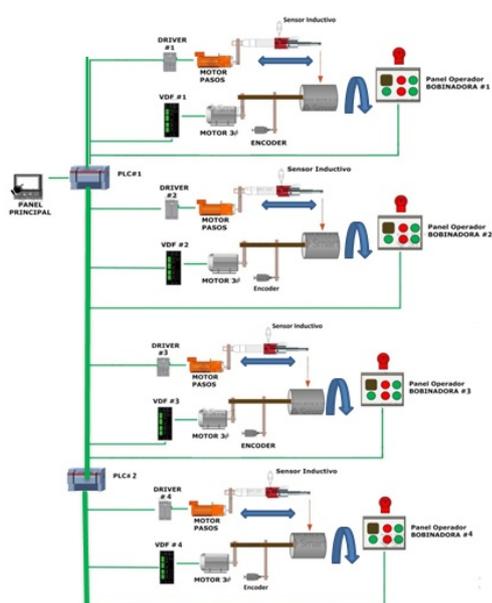


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de bobinado

- SELECCIÓN DE MOTOR DE ENROLLAMIENTO.- Los motores eléctricos son convertidores de energía para procesos cinemáticos, tomando un papel importante en la mayoría de procesos industriales y domésticos. Donde M = Torque, N = Velocidad, η =Rendimiento, P = Potencia .[4]

$$P = M \frac{N}{9,55\eta} \quad (1)$$

$$P = 4,2 Nm \frac{180 RPM}{9,55(60\%)} = 351,83 W \approx 1/2 HP$$

- SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.- Para la selección del variador de frecuencia es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones:
 - Características del motor a controlar.- Corriente Máxima (1,04 A), Voltaje Nominal (440 Vac), Frecuencia Nominal (60 Hz).
 - Tipo de carga o aplicación.- De acuerdo a la aplicación de bobinado el torque o par requerido para la aplicación es inverso, entonces a medida que la velocidad disminuye el torque aumenta.
- SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS.- Para la selección del controlador adecuado es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones.
 - Corriente del motor.- Corriente por fase del motor 3,1 A. El controlador permitirá regular la corriente en un rango establecido.
 - Configuración de bobinado.- Permitirá configurar las bobinas en serie o en paralelo.
 - Resolución de pasos por vuelta.- El controlador tendrá un mínimo de 200 pasos por vuelta.
 - Voltaje de alimentación.- Opera desde los 24 Vdc – 70 Vdc.

II-C. DESARROLLO DE SOFTWARE

De acuerdo a los requerimientos de automatización, se desarrollará un sistema que controle y comunique cada uno de los equipos, mediante algoritmos que procesan los datos provenientes de sensores y dispositivos que intervienen en el proceso de bobinado de fleje tipo PP. En la figura 5 se observa cada uno de los algoritmos desarrollados para los motores eléctricos utilizados.

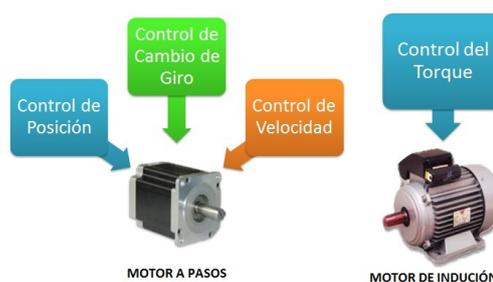


Figura 5. Controles aplicados a motor a pasos y motor de inducción

- CONTROL DE VELOCIDAD.-Para el desarrollo del algoritmo se tendrá en cuenta que ambos motores necesitan girar a velocidades proporcionales, cuyo objetivo será evitar que el fleje se solape entre vuelta y vuelta, y que el espaciado sea menor a 2 mm. Un encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico proveerá una señal que posteriormente será procesada e indicará la velocidad a la que se está bobinando. Para determinar la constante

de proporcionalidad se establece la ecuación (2).[5]

$$V_{carrete} = k * V_{guia} \quad (2)$$

$$\frac{X_{carrete}}{t_{carrete}} = k * \frac{X}{t_{guia}}$$

$$X = X_{carrete} + 2mm \quad (3)$$

Remplazndo ecuación (3) en ecuación (2)

$$\frac{X_{carrete}}{t_{carrete}} = k * \frac{(X_{carrete} + 2mm) * 80}{t_{guia}} \quad (4)$$

Dado que una revolución del carrete es 400 pulsos, reemplazamos en ecuación (4)

$$\frac{400}{t_{carrete}} = k * \frac{(X_{carrete} + 2mm) * 80}{t_{guia}} \quad (5)$$

Luego se obtiene la constante k

$$k = \frac{400}{(X_{guia} + 2) * 80} \quad (6)$$

Finalmente reemplazando en ecuación (2) se obtiene

$$V_{guia} = \frac{(X_{guia} + 2mm) * 80}{400} * V_{carrete} \quad (7)$$

Por consiguiente se realiza un escalamiento, el driver de motor a pasos recibe hasta 4500 pulsos con una configuración de 400 pulsos por revolución de acuerdo a la velocidad del fleje. Para hallar la velocidad mínima y máxima se toma en cuenta la velocidad con que se produce el fleje en la línea de producción anterior.

$$V_{max} = 150m/min = 11,3636rad/seg$$

$$V_{min} = 50m/min = 3,7863rad/seg.$$

Por tanto se obtiene

$$V_{guia} = 28,8461 * \frac{(X_{guia} + 2mm)}{5} * V_{carrete} - 126,9231 \quad (8)$$

- CONTROL DE POSICIÓN .- La posición es determinada por ancho del carrete previamente ingresada por el usuario, el objetivo del control será evitar que el fleje sea bobinado fuera del carrete. Mediante un encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico se obtiene una señal eléctrica de pulsos que será procesada e indicará la distancia recorrida por el guía fleje. La posición es determinada de acuerdo a la ecuación (9)

$$X_{carrete} = \frac{X_{cono} * 400}{5} = 80 * X_{cono} \quad (9)$$

- CONTROL DE CAMBIO DE GIRO.- De acuerdo a la aplicación, el cambio de giro del guía fleje por medio del husillo de bolas es realizado en los extremos del

carrete, el objetivo del control será mejorar la respuesta del actuador, aliviando el estrés mecánico en velocidades altas, debido a la inercia del husillo de bolas; además el estrés eléctrico se ve afectado por el elevado consumo de corriente necesario para realizar un cambio de giro en el motor a pasos. La figura 6 indica la velocidad de posicionamiento del guía fleje en los extremos de carrete.

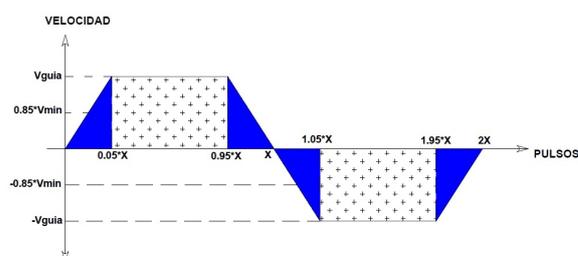


Figura 6. Curva de aceleración y desaceleración de motor a pasos

- CONTROL DE TORQUE.- El control de torque se realiza en el motor trifásico de inducción que permite el enrollamiento del fleje en el carrete, este control es usado habitualmente en bobinadoras, donde es importante mantener constante la tensión del material bobinado. Para lo cual se separa y regula la componente de corriente que crea el torque en el motor, de esta manera se podría regular el torque en el motor, no solo la velocidad. El torque del motor depende de la carga, permitiéndose cambios en la corriente de acuerdo a la variación de la misma.

$$T = \frac{5252 * Potencia(HP)}{Velocidad(RPM)} \quad (10)$$

$$T = \frac{5252 * 0,5(HP)}{1635(RPM)} = 1,6061libras-pie = 2,18Nm$$

- COMUNICACIÓN DE CONTROLADORES.- Para enviar los datos del carrete y fleje desde un panel de operador hacia dos autómatas, es necesario implementar una red de comunicación de datos; el autómata de modelo XINJE XC5-48RTE soporta comunicación Modbus y CAN. La figura 7 indica el algoritmo implementado en los controladores.[6]
- SOFTWARE DE HMI.- Para el desarrollo de HMI se utilizó el software OP20 Edit Tool. El diseño se basa en la guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS que ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control industrial. La evaluación global de los indicadores de la guía de diseño GEDIS es 4,17 de 5 puntos evaluados de acuerdo a la tabla IV; que indica que el diseño de HMI es óptimo para el manejo de los operadores. [1]

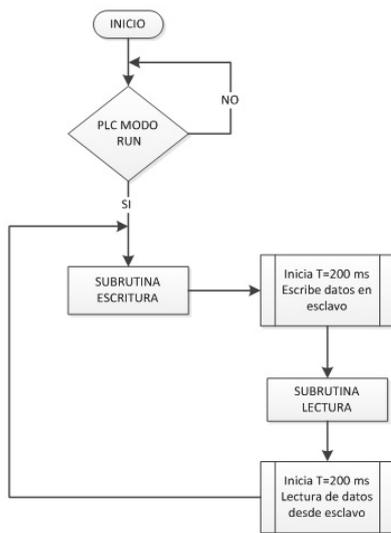


Figura 7. Proceso de lectura y escritura de datos MAESTRO-ESCLAVO

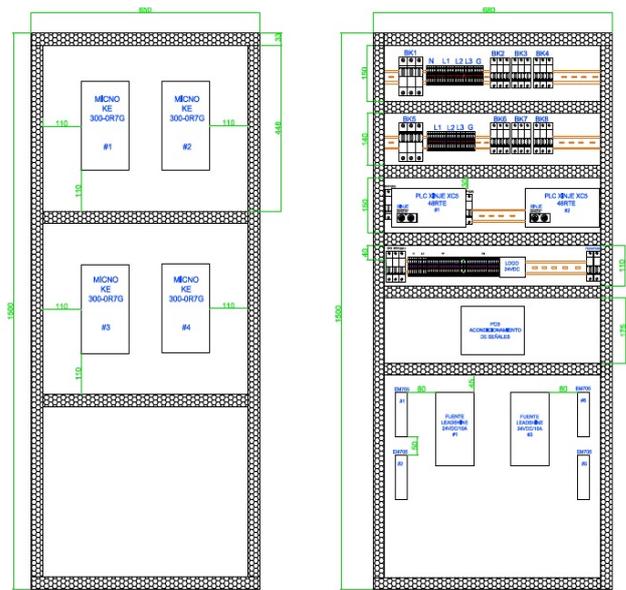


Figura 8. Distribución de equipos en de tablero posterior y frontal

Cuadro IV
RESULTADO DE INDICADORES DE LA GUÍA GEDIS

N#	Indicador	Peso	Valor
1	Arquitectura	2	4,8
2	Distribución de Pantallas	1	3,4
3	Navegación	1	5,0
4	Uso de fuentes e información textual	1	2,8
		Evaluación Global	4,17



Figura 9. Canalización externa de actuadores y sensores

III. IMPLEMENTACIÓN

De acuerdo a la norma ISO / IEC 24702 empleada para la automatización industrial, control de procesos, cableado para edificios industriales y vigilancia. Todas las conexiones deben ser aseguradas contra el aflojamiento accidental, la correcta identificación y codificación de los conductores.

Las canaletas y rieles para todos los dispositivos ubicados dentro del gabinete están distribuidos en una platina de 1500 x 650 mm, la disposición de los elementos se realizó en función a los planos de distribución física de dispositivos, los mismos que fueron realizados en Autcad Electrical en escala real.[7] El tablero de control es de doble lado, en la parte izquierda de la figura 8 se encuentra la etapa potencia (variadores de frecuencia) y en la parte derecha la etapa de control (Autómatas, controladores y fuentes de alimentación).

El diseño utilizando conectores industriales externos facilita que el transporte de la máquina se realice de forma segura evitando ruptura de los circuitos y cableado, de esta forma los sensores y actuadores pueden ser desmontados con facilidad. La figura 9 indica el sistema de bobinado en la etapa final.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Después de la fase de implementación del sistema de bobinado, es importante evaluar la confiabilidad y calidad de los carretes bobinados, para posteriormente ser distribuidos comercialmente; para lo cual se aplicó pruebas continuas

debido a que el sistema funcionará las 24 horas, 5 días a la semana, respetando todas las sugerencias y condiciones de funcionamiento.[1]En la figura 10 se indica el protocolo de pruebas y resultados realizado en el proceso de automatización para el proceso de bobinado.

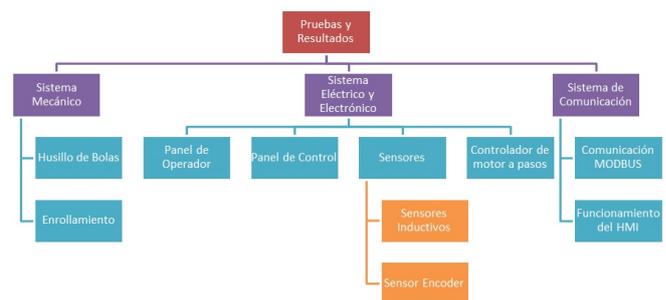


Figura 10. Pruebas y resultados aplicadas al sistema de bobinado

IV-A. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO

Se realizaron pruebas de confiabilidad de forma que los sistemas mecánicos no causen esfuerzos excesivos a los controladores electrónicos de los motores, y provoquen fallos en el transcurso de la jornada de pruebas. Los resultados del sistema

mecánico sobre el husillo de bolas y sistema de enrollamiento permiten la calibración y regulación de los controladores.

Cuadro V
PRUEBAS DE POSICIONAMIENTO PARA EL HUSILLO DE BOLAS

Día	Carrete(mm)	Correcto	Incorrecto	Total Pruebas
1	200	28	2	30
	180	37	3	40
	150	28	2	30
2	200	29	1	30
	180	38	2	40
	150	29	1	30
3	200	29	1	30
	180	38	2	40
	150	29	1	30
4	200	28	2	30
	180	37	3	40
	150	28	2	30
5	200	29	1	30
	180	38	2	40
	150	29	1	30
6	200	28	2	30
	180	37	3	40
	150	28	2	30
7	200	29	1	30
	180	38	2	40
	150	29	1	30
8	200	29	1	30
	180	38	2	40
	150	28	1	30
TOTAL		759	41	800

En el conjunto mecánico husillo de bolas se realizaron pruebas de confiabilidad y repetitividad sobre un conjunto de 800 muestras de acuerdo a la tabla V. Para un carrete de 200 mm tiene una precisión de 95,42 %; para un carrete de 180 mm una precisión de 94,06 %, para un carrete de 150 mm una precisión de 95 %.

IV-B. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMUNICACIÓN MODBUS

En la red de comunicación MODBUS el autómatas maestro recibe parámetros desde el HMI; por medio de la recepción de un número codificado (#23) enviado desde el autómatas esclavo hacia el autómatas maestro, en respuesta a la lectura de los parámetros en el autómatas esclavo.

Al finalizar las pruebas de comunicación se obtuvo un desempeño del 100 % en la transferencia de datos.

IV-C. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE BOBINADO

El sistema de bobinado fue sometido a pruebas de funcionamiento durante 2 meses, a trabajo continuo según indica en la tabla VI. En el primer mes se trabajó con un carrete de 200 mm obteniendo un total de 5 rollos reprocesados de un total de 115 rollos producidos, equivalente al 5 %, y en el segundo mes se obtuvo 6 rollos reprocesados, equivalente al 4,16 % de la producción total de un hilo de fleje.

V. CONCLUSIONES

Al finalizar las etapas de diseño, implementación y pruebas mediante la puesta en marcha del presente proyecto se ha

Cuadro VI
PRODUCCIÓN EN EL SISTEMA DE BOBINADO DE LA LÍNEA EXTRUDER #1

Semana	Carrete(mm)	Rollos reprocesados	Rollos producidos
1	200	2	27
2	200	1	29
3	200	1	28
4	200	1	29
TOTAL		5	115
5	180	2	28
6	180	2	27
7	180	1	29
8	180	1	28
TOTAL		6	114

podido observar mejoras significativas en el bobinado de fleje tipo PP tanto económicas como de productividad, en comparación con el sistema de ASIC utilizado originalmente en la empresa. Entre las ventajas más significativas conseguidas con la automatización de un sistema de bobinado, se puede destacar las siguientes:

- El reconocimiento y diagnóstico del comportamiento de cada uno de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos del sistema de bobinado permitió minimizar costos en el proceso de reingeniería identificando de forma clara componentes que deben ser reemplazados o modificados, y facilitando el levantamiento de información y planos eléctricos.
- El diseño propuesto en el control de velocidad, cambio de giro, posicionamiento y torque del sistema de bobinado actual aporta una mejora en el proceso de bobinado al obtener una separación de 1mm entre vueltas de fleje enrollado garantizando un bobinado uniforme requerido para el funcionamiento de máquinas enzunchadoras automáticas de fleje tipo PP de clientes
- A través de los criterios de selección evaluados en la matriz morfológica sobre las alternativas de los dispositivos de control y actuadores se logró implementar un sistema eléctrico de control y potencia satisfaciendo los parámetros de diseño planteados.
- La puesta en marcha del sistema mediante pruebas y análisis de resultados indica una producción del 95,83 % de rollos terminados de fleje PP para un hilo en el sistema de extrusión en cuatro semanas, en un carrete de 200mm, fleje de 12 mm, 12kg de peso del rollo. Para un carrete de 180mm y fleje de 12mm, 8kg de peso de rollo se obtuvo 95 % de rollos procesados en cuatro semanas.
- La automatización del proceso de bobinado presentó una producción de 1 rollo de 8kg en 15 min en un bobinador de cuatro implementados, con 80 rollos de 8kg con fleje 12 mm, cumpliendo con la demanda de producción de la empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR, y reduciendo de costos asociados al reproceso de fleje.

VI. RECOMENDACIONES

El sistema de bobinado automático fue diseñado para trabajar de manera confiable, sin embargo existen varias recomendaciones para su óptimo desempeño, las más relevantes se mencionan a continuación:

- El sistema fue diseñado e implementado con varios dispositivos de seguridad, sin embargo, el manejo negligente del mismo podría ocasionar daños en el sistema de bobinado. Para prevenir este tipo de situación, todos los operadores deberán leer cuidadosamente los manuales provistos de manera que comprendan el funcionamiento del equipo antes de intentar utilizarlo.
- Evitar la manipulación o acercamientos a las bandas cuando el motor a pasos y motor de inducción estén en movimiento porque existe el riesgo de atrapamiento y/o lesiones graves.
- Considerar que al producirse un corte de energía o apagar el equipo se debe volver a cargar los parámetros de ancho de fleje y carrete en la aplicación de HMI, caso contrario al poner en marcha el sistema directamente el husillo de bolas no entrará en funcionamiento.
- El uso de herramientas CAD para el diseño de los planos eléctricos de acuerdo a la norma ISO / IEC 24702 empleada para la automatización industrial, optimizó los recursos y la distribución de dispositivos en el gabinete de control cumpliendo las especificaciones técnicas de los dispositivos.

REFERENCIAS

- [1] C. A. PORRAS, *Programables, Automatas*, M. Hill, Ed. McGraw - Hill, 2009.
- [2] W. DUNN, *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*, M. Hill, Ed. McGraw - Hill, 2009.
- [3] E. CODIEMPAQUES. (2000, Octubre). [Online]. Available: <http://www.codiempaques.ec/>
- [4] L. M.P.Kostenko, *Máquinas Eléctricas*, MIR, Ed. MIR, 2008.
- [5] M. V. n. SÁNCHEZ, *Automatización Industrial Moderna*, A. omega, Ed. Alfa omega, 2011.
- [6] A. RODRÍGUEZ, *Comunicaciones Industriales*, Marcombo, Ed. Marcombo, 2009.
- [7] E. G. MORENO, *Automatización de Procesos Industriales*, A. omega, Ed. Alfa omega, 2011.
- [8] E. y. P. Ministerio de la Coordinación de la Producción. (2012, Marzo) Innova ecuador. [Online]. Available: <http://www.innovaecuador.gob.ec/index.php?module=umIntegrador&func=display&id=111>

Herramienta multiplataforma para generación automática de aplicaciones interactivas Ginga-NCL basado en plantillas

Multiplatform tool for automatic generation of interactive applications Ginga-NCL based on predesigned templates

Carlos A. Pillajo, Juan S. Ochoa, Freddy R. Acosta, *Member, IEEE*, and Gonzalo F. Olmedo, *Member, IEEE*

Resumen—El presente artículo muestra una solución al desarrollo automático de aplicaciones interactivas Ginga-NCL para la Televisión Digital Terrestre, a partir de plantillas prediseñadas. Productores de televisión y gente relacionada con este medio de comunicación masivo, no conocen o simplemente no tienen las herramientas necesarias para la creación de aplicaciones interactivas, en muchos casos ni siquiera se conoce la existencia de una plataforma para el desarrollo de las mismas. Es por esta razón que se propone una metodología totalmente nueva y amigable para el usuario, la cual permita generar aplicaciones interactivas sin tener el conocimiento técnico ni las habilidades de programación que implica su creación. La reducción del tiempo en la generación de aplicaciones, disminución de capital de inversión en la preparación y adiestramiento del personal, cambios on-air en la programación interactiva del canal de televisión, son algunos de los resultados que trae consigo este sistema.

Palabras Clave—Ginga, ingeniería de software, interactividad, NCL, middleware, software de aplicación, televisión digital.

Abstract—This article presents a solution to the automatic development of interactive applications Ginga-NCL for Digital Terrestrial Television, from predesigned templates. TV producers and people related with this mass medium, do not know or just do not have the necessary tools for creating interactive applications, in many cases not even aware of the existence of a platform for their development. It is for this reason that a whole new and user-friendly methodology is proposed, which allows to generate interactive applications without technical knowledge or programming skills involved in its creation. Some of the results that come with this system include reduced time in generating applications, reduced capital investment in the preparation and training of personnel, and changes on-air programming in interactive TV channel.

Index Terms—Ginga, software engineering, interactivity, NCL, middleware, application software, digital television.

I. INTRODUCCIÓN

LA Televisión Digital Terrestre(TDT) nace y se fortalece con la aparición de los estándares que rigen los diferentes ámbitos de su implementación y despliegue, es así

Carlos A. Pillajo, Juan S. Ochoa, Freddy R. Acosta and Gonzalo F. Olmedo are with Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Av. General Rumiñahui s/n, 171-5-231B Ecuador e-mail:<http://espetv.espe.edu.ec/webespetv/Miembros.html>

Manuscript received 9, 2016; revised August 26, 2015.

que aparece el estándar ISDB-Tb(*International System for Digital Broadcast Terrestrial, Brazilian version*) [1], el cual fue adoptado por varios países, principalmente de América Latina. Entre las principales ventajas de TDT, se encuentra la Interactividad, la cual permite la creación de aplicaciones que se enlazan y se transmiten con las señales de video y audio, permitiendo a los telespectadores transformarse de entes pasivos a entes activos en la experiencia de ver televisión.

El estándar ISDB-Tb permite la creación y ejecución de aplicaciones interactivas, gracias a la plataforma llamada middleware, particularmente conocida con el nombre de Ginga. El middleware está compuesto por dos subsistemas entrelazados, que permiten la implementación de aplicaciones interactivas empleando paradigmas de programación declarativa (Ginga-NCL), imperativa (Ginga-J) o una combinación de las dos anteriores [2]. El desarrollo de la interactividad permitirá a los broadcaster explorar nuevas formas de hacer televisión, incorporando funciones avanzadas de comunicación y participación del telespectador.

La falta de herramientas de autoría, que permitan generar aplicaciones sin el conocimiento previo que implica la programación, afecta directamente a personas en el medio de la producción multimedia de televisión, puesto que para elevar el nivel de rating de su programación, se necesita de métodos que proporcionen satisfacción al telespectador, y una de las estrategias para solventar esta necesidad es la interactividad.

En la actualidad, se han desarrollado trabajos acerca de la creación de aplicaciones interactivas mediante lenguaje de programación NCL y herramientas de autoría, como NCL Composer [3], esta es una herramienta gráfica de autoría multiplataforma utilizada para ayudar en la creación de aplicaciones para la Televisión Digital Interactiva (TVDi), desarrollado por el Laboratorio TeleMídia, no muy intuitiva en su uso, ya que es necesario tener conocimientos de programación NCL. Otra herramienta orientada al diseño de guión gráfico interactivo conocida como ISB Designer [4], herramienta centrada en el diseño de las narrativas interactivas, una de sus principales ventajas es que permite el diseño de

contenidos audiovisuales junto con sus puntos de adaptación y la intervención, lo que ayuda en la detección y corrección de inconsistencias narrativas. Además la herramienta NCL-Textual Data Mixer [5], que propone la generación automática de contenidos para aplicaciones interactivas, con la necesidad de que se tenga canal de retorno activo, e iT NEWS [6] que es una plataforma online orientada a templates para la creación de aplicaciones de Noticias.

Es así que se propone una herramienta de software que permita generar automáticamente aplicaciones interactivas personalizadas a partir de plantillas que vayan destinadas a cubrir las necesidades que día a día son más exigentes por los telespectadores, la idea es proporcionar un medio que enlace a las personas que hacen televisión con la plataforma Ginga-NCL a través de una interfaz gráfica de usuario y de esta manera difundir la Interactividad como un plus a este medio masivo de comunicación llamado Televisión. Una versión inicial con la idea básica de la propuesta fue presentada en [7].

La herramienta propuesta se encuentra escrita en lenguaje orientado a objetos *Java*, lo que la hace multiplataforma, presenta una interfaz gráfica amigable que le permite al usuario editar sus propias aplicaciones interactivas a partir de plantillas prediseñadas desarrolladas en Ginga-NCL y LUA. La clase principal de *Java* que se usa para el tratamiento de los archivos es *File*, la cual se usa para crear, eliminar y obtener información sobre archivos y directorios. Adicionalmente se incluyó un sistema para la simulación de la aplicación o la generación del flujo de transporte, donde estará montada la aplicación junto al audio y video a ser transmitido bajo la infraestructura de la TDT.

El artículo está distribuido de la siguiente manera, en la segunda sección se presenta el sistema de generación automático de aplicaciones interactivas Ginga-NCL basado en Templates, donde se explica en que consiste y como este apoyará en el desarrollo de la Interactividad. En la tercera sección se explica la herramienta Template Generator, desarrollada a partir del análisis del nuevo sistema de generación de aplicaciones interactivas. La cuarta sección muestra las pruebas de generación de aplicaciones interactivas Ginga-NCL a partir del software Template Generator. Finalmente son presentadas las conclusiones del artículo.

II. SISTEMA DE GENERACIÓN AUTOMÁTICO DE APLICACIONES INTERACTIVAS GINGA-NCL BASADO EN TEMPLATES

Las aplicaciones para TDT son comúnmente desarrolladas bajo dos paradigmas de programación: el declarativo y el no declarativo (de procedimiento). Particularmente se toma al lenguaje NCL (Nested Context Language) como referencia para el desarrollo del código fuente de las aplicaciones. NCL es un lenguaje declarativo adoptado por el Sistema Brasileño de Televisión Digital, desarrollado por el laboratorio TeleMídia de la PUC-Río de Janeiro. El lenguaje define claramente como los objetos media (elementos de

contenido multimedia: vídeo, imágenes, sonidos, texto, etc.) son estructurados y relacionados en tiempo y espacio [8]. La Figura 1, muestra la estructura del código fuente NCL, indicando las propiedades que puede ofrecer en la construcción de la aplicación.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!-- Generated by NCL Eclipse -->
<ncl id="main" xmlns="http://www.ncl.org.br/NCL3.0/EDTVProfile">
  <head>
    Región           ¿Dónde mostrar los medias?
    Descriptor       ¿Qué propiedad tiene el media?
    Conector         ¿Cuándo mostramos el media?
  </head>

  <body>
    Puerta           ¿Quién comienza?
    Media            ¿Qué mostramos?
    Link             ¿Cuándo mostramos el media?
  </body>
</ncl>
```

Figure 1. Estructura del código fuente NCL para una aplicación interactiva.

Para que se pueda generar una aplicación es necesario que diferentes factores, humanos y computacionales, cumplan sus funciones y todos convivan en un ambiente ordenado y secuencial. La Figura 2, presenta el diagrama del proceso tradicional de desarrollo de aplicaciones interactivas, con conocimientos previos en programación NCL.

Como se aprecia, el método tradicional consta de un agente humano que tenga el conocimiento en programación NCL, el cual generará un código fuente o también llamado documento NCL, el mismo que se simula hasta corregir fallas en el diseño y presentación. La aplicación es multiplexada con el contenido audiovisual, en base a las especificaciones de las normas brasileñas ABNT NBR 15606-2 [9], ABNT NBR 15606-5 [10] y ABNT NBR 15606-7 [11]. Finalmente es transmitida por la infraestructura de la TDT bajo las especificaciones de la norma ABNT NBR 15601 [1].

La propuesta apunta a un nuevo método de diseño e implementación de aplicaciones donde se presenta el sistema automático basado en templates. [7] La Figura 3, muestra el proceso de desarrollo de una aplicación Ginga-NCL, utilizando la nueva metodología.

El sistema basado en templates, permite a cualquier persona que no necesariamente tenga conocimiento en la programación NCL, genere aplicaciones. Además permite en su mismo entorno la simulación de las aplicaciones sin necesidad de salir del sistema. Una de las funcionalidades que permite que el proceso se agilice, es el montaje directo de la aplicación al multiplexor y la generación automática de la DSM-CC (Digital Storage Media Command and Control), esto se realiza a través del servidor de aplicaciones colocado en un directorio específico en la entrada ASI del multiplexor, además se configura la tabla PMT (Program Association Table) del flujo de transporte que será transmitido bajo la infraestructura de la TDT, de esta manera el usuario puede realizar cambios o mejoras a las aplicaciones en directo (on-air).

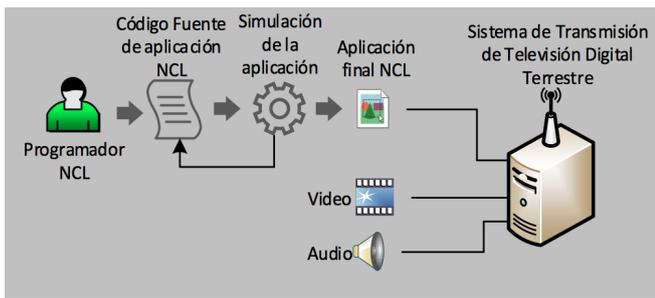


Figure 2. Proceso de desarrollo de una aplicación interactiva Ginga-NCL (Método Tradicional).

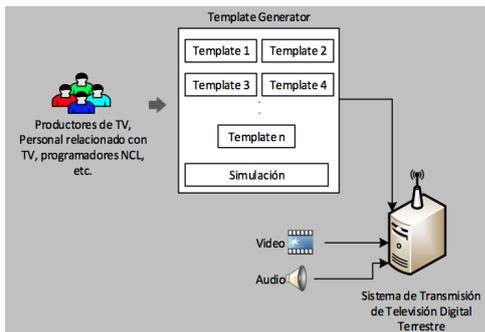


Figure 3. Sistema de generación de aplicaciones basado en Templates.

El usuario selecciona el template que más se ajuste a sus necesidades, a continuación edita el template, simula en la misma plataforma y, una vez aprobada, transmite la aplicación interactiva.

Se puede ver claramente como el proceso se desarrolla en menor tiempo y cualquier persona puede utilizarlo.

III. TEMPLATE GENERATOR

El software Template Generator fue desarrollando tomando como referencia el sistema de generación automática de aplicaciones interactivas Ginga-NCL basado en templates. [7]

1) *Diseño e implementación de plantillas para las aplicaciones interactivas Ginga-NCL:* Las plantillas seleccionadas siguen un criterio de diseño de tipo informativo, educativo y recreativo enmarcado en el entendimiento de las razones sociales y culturales asociadas al uso del televisor. Se toman diferentes criterios de usabilidad y diseño gráfico, con el objetivo de crear aplicaciones para una tarea determinada pero con el mínimo índice de estrés y el máximo de eficiencia [12]. Esto quiere decir que cualquier usuario o telespectador, aunque no tenga conocimientos previos, sea capaz de desenvolverse por la aplicación de forma intuitiva, aprovechando toda su funcionalidad.

Los patrones utilizados en la creación de las plantillas, fueron tomados de los estudios desarrollados por la Universidad Nacional de la Plata y su grupo de investigación en Televisión Digital – Lifia [12]. La Figura 4, muestra los patrones propuestos por Lifia.



Figure 4. Patrones para plantillas de aplicaciones interactivas Ginga-NCL.

Las plantillas desarrolladas para el software Template Generator, han sido desarrolladas bajo el lenguaje declarativo NCL, utilizando la plataforma Eclipse-NCL y simuladas con el software Ginga4Windows [13]. Además se realizaron pruebas reales bajo la infraestructura de la TDT. Las plantillas son las que permiten generar las aplicaciones interactivas, con la información que el usuario desee presentar, sin la necesidad de explorar ni crear código fuente. En el Cuadro I, se presenta una síntesis con las características sobresalientes de cada una de las plantillas usadas en el presente trabajo.

Table I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTILLAS DEL TEMPLATE GENERATOR

No. de Plantilla	Formato	Características	Ventaja
1	Sobre el video	Sin redimensionamiento de pantalla	Permite texto, tablas e imágenes
2	Sobre el video	Sin redimensionamiento de pantalla	Ocupa poco espacio en pantalla
3	Texto vertical con menú	Redimensionamiento de pantalla	El video se muestra por completo
4	Texto vertical con imagen	Redimensionamiento de pantalla	Permite texto, imágenes y paginado
5	Formatos combinados	Submenú principal y submenús secundarios	Flexibilidad para organizar la información

A. Manipulación de archivos con lenguaje orientado a objetos Java

La esencia del software Template Generator se basa en el manejo de archivos media (archivos multimedia: texto e imágenes) y para lo cual se utiliza las herramientas que ofrece el lenguaje de programación Java.

Las clases `BufferedInputStream`, `BufferedOutputStream`, `BufferedReader` y `BufferedWriter`, son las que permiten la manipulación directa de los archivos ya que con los métodos que ofrecen se puede crear, modificar y borrar cualquier tipo de archivo, sea este texto o imágenes. [14]

El proceso consiste en el reconocimiento de los archivos originales de la plantilla, es decir textos e imágenes primarios. Si el usuario no realiza modificaciones en los campos editables, el software tomará los datos primarios para la generación de la aplicación. En el caso donde el usuario edite los campos, el software borra los datos primarios y crea nuevos datos con la información introducida por el usuario. A continuación, genera archivos multimedia de texto e imágenes, según las modificaciones del usuario para finalmente crear el documento NCL el cual lleva el código fuente de la aplicación interactiva. El usuario al final tiene la elección de simular su aplicación y así verificar su nuevo diseño, o a su vez montarla directamente en el flujo de transporte, conjuntamente con el audio y el video, para que sea transmitida bajo la infraestructura de la TDT.

La Figura 5, muestra el diagrama de flujo para la edición de texto del software Template Generator.

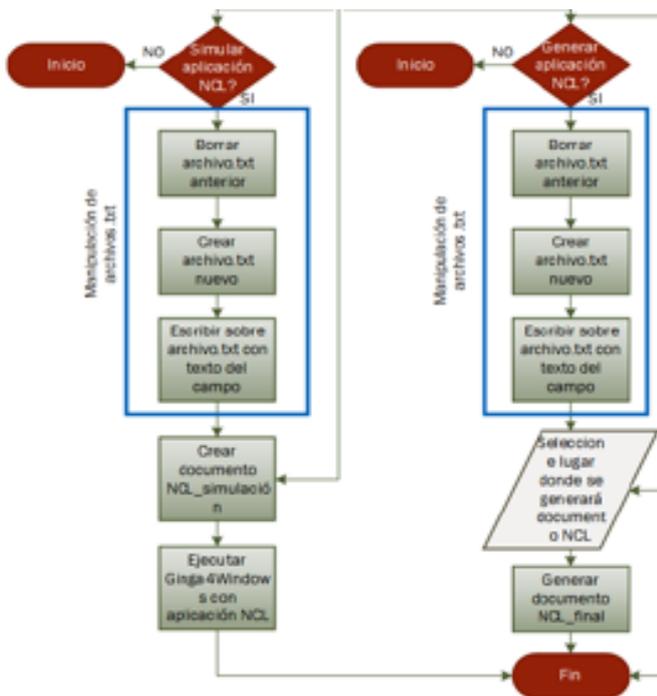


Figure 5. Diagrama de flujo para la edición de texto del software Template Generator.

B. Editor de plantillas

El editor permite la interacción entre el usuario y las plantillas, muestra los campos editables, ya sean de texto o imágenes. La interfaz se desarrolló en Java con el IDE de desarrollo NetBeans. La Figura 6, muestra la relación entre

la interfaz de edición y la plantilla de la aplicación interactiva.



Figure 6. Relación del editor con la plantilla de la aplicación interactiva.

IV. PRUEBAS DE GENERACIÓN DE APLICACIONES INTERACTIVAS GINGA-NCL A PARTIR DEL SOFTWARE TEMPLATE GENERATOR

El sistema de generación automática de aplicaciones basado en plantillas es utilizado como una nueva metodología para la implementación de las aplicaciones. Los pasos importantes a seguir en este proceso son los siguientes:

- Requerimientos visuales
- Selección de la plantilla
- Clasificación del material informativo
- Generación de la aplicación
- Mantenimiento de la aplicación

Como podemos ver en el Cuadro I, el sistema da opción para generar cinco (5) plantillas diferentes, pudiendo el usuario escoger de entre ellas con cuál realizar su trabajo acorde a sus necesidades.

En la Figura 7 se presenta la edición de la plantilla No.2 (Ticker), donde podemos observar la interfaz gráfica para el ingreso de información, con opción de habilitar cada ítem asignado a los colores presentes en el control remoto y los espacios de ingreso de información en los Ticker correspondientes, escribir el texto que acompaña a cada uno de los botones y el texto a presentarse en los Tickers respectivamente. Finalmente observamos tres botones que nos dan la opción de simular la aplicación, generar el archivo con extensión *.ncl y limpiar toda la información, en caso de que después de simular no sea del agrado.



Figure 7. Edición de la plantilla Ticker.

Mientras que la Figura 8 muestra la aplicación presentada en la pantalla de un equipo receptor de TDT, luego de ser

generada por el sistema y junto con el audio y video en un archivo BTS (Broadcast Transport Stream), transmitido en un escenario de laboratorio. Se realizaron varias pruebas de generación de aplicaciones interactivas utilizando el sistema propuesto, obteniendo los resultados esperados.



Figure 8. Transmisión de aplicación interactiva Ticker por medio de TDT.

En la Figura 9 se puede ver un ejemplo de simulación de la aplicación Acordeón, a través del sistema con el botón simular la aplicación es presentada directamente en el software Ginga4Windows.



Figure 9. Simulación de aplicación interactiva Acordeón con Ginga4Windows.

V. CONCLUSIONES

Se logró crear una nueva metodología de implementación de aplicaciones GINGA-NCL que permitirá a los desarrolladores de televisión crear aplicaciones sin necesidad de tener conocimientos en programación del lenguaje NCL, obteniendo como resultados una disminución del tiempo de desarrollo y mayor eficiencia de trabajo.

Para que la interactividad se cristalice y cumpla con todas sus expectativas, es necesario del desarrollo eficaz y eficiente de aplicaciones que permitan la interacción con el telespectador, esto se ha logrado con el desarrollo de un sistema de generación automática de aplicaciones interactivas

basado en templates (plantillas).

Se puede trabajar en el desarrollo de nuevas plantillas para las aplicaciones, tomando nuevas consideraciones de diseño y principalmente satisfaciendo las necesidades del telespectador. De esta manera se puede llegar a tener un banco de plantillas, donde los usuarios puedan seleccionar la más indicada .

REFERENCES

- [1] A. NBR, 15601, *Televisión digital terrestre – Sistema de transmisión ISDB-Tb*, vol. 1. 2007.
- [2] L. F. Gomes Soares, *TV Interactiva se hace con GINGA*, Foro del Sistema Brasileño de TV Digital Terrestre, pp.67-70, 28 Junio 2009.
- [3] R. G. A. Azevedo, E. C. Araújo, B. Lima, L. F. G. Soares, M. F. Moreno, *Composer: meeting non-functional aspects of hypermedia authoring environment*, In *Multimedia Tools and Applications*, Springer US, 2014.
- [4] L. F. Gomes Soares, *TV Interactiva se hace con GINGA*, Foro del Sistema Brasileño de TV Digital Terrestre, pp.67-70, 28 Junio 2009.
- [5] David F. Cevallos, Fernanda A. Cevallos, Iván M. Bernal, Raúl D. Mejía, *Generación Automática de Contenido para Aplicaciones Interactivas de Televisión Digital con GINGA-NCL*, Libro de JAUTI 2014, pp.114-121, Abril 2015.
- [6] Alex de Souza Vierira, Rosendy Jess F. Galabo, Hedvan Fernandes Pinto, Fernando A. B. de Araújo, Carlos de S. Soares Neto, *Plataforma Online Orientada a Templates para a Criação de Aplicativos de Telejornalismo*, Libro de JAUTI 2014, pp.102-108, Abril 2015.
- [7] Carlos A. Pillajo, Juan S. Ochoa, Freddy R. Acosta and Gonzalo F. Olmedo, *TEMPLATE GENERATOR: Software para la generación de aplicaciones interactivas para la televisión digital terrestre a partir de plantillas GINGA NCL y LUA*, Libro de JAUTI 2014, pp.109-113, Abril 2015.
- [8] L. F. Gomes Soares y R. Ferreira Rodrigues, *Nested Context Model Part 1 - NCL*, Rio de Janeiro: Pontificia Universidad Católica do Rio de Janeiro, 2012.
- [9] A. NBR, 15606-2:2007, *Televisão digital terrestre-Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital*, vol. 2, 2007.
- [10] A. NBR, 15606-5 (2008), *Televisão digital terrestre—Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital*, vol. 5, 2008.
- [11] A. NBR, 15606-7, *Televisão digital terrestre — Codificação de dados e especificações de transmissão para radiofusão digital*, vol. 7, 2011.
- [12] S. Quiroga y S. Gonzales Botasi, *Creatvdigital: Composición visual de aplicaciones interactivas*, Simposio sobre la Sociedad de la Información-SSI, La Plata, 2012.
- [13] GINGA ORG, *Site Oficial do Middleware GINGA*, GINGA, [En línea]. Available: <http://www.ginga.org.br/>. [Último acceso: 25 Enero 2016].
- [14] J. Sánchez, *Entrada y salida en java. Archivos*, CreativeCommons, 2010.

Comportamiento dinámico de lámparas HID-MH al operar en alta frecuencia con onda cuadrada

Dynamic behavior of HID-MH lamps when operating at high frequency with square wave

Jaime Paúl Ayala T., *Member, IEEE*, and Eduardo Roberto Gutierrez.

Resumen—Las características dinámicas de operación de la impedancia equivalente de lámparas de haluros metálicos cuando son alimentadas con una onda cuadrada de alta frecuencia (10 kHz a 50 kHz) son investigadas. Variables eléctricas como la tensión, corriente y potencia; así como variables físicas: temperatura e intensidad luminosa son analizadas en su comportamiento frente a variaciones de la frecuencia de operación. Se propone, además, un método que permite cuantificar la amplitud de la resonancia acústica longitudinal en cada frecuencia de funcionamiento de las lámparas HID-MH.

Palabras Clave—Frecuencia de operación, onda cuadrada, resonancia acústica.

Abstract—The dynamic operating characteristics of the equivalent impedance of metal halide lamps when fed with a high frequency square wave (10 kHz to 50 kHz) are investigated. Electrical variables such as voltage, current and power; As well as physical variables: temperature and luminous intensity are analyzed in their behavior against variations of the frequency of operation. It is proposed, in addition, a method that allows to quantify the amplitude of the longitudinal acoustic resonance in each frequency of operation of the HID-MH lamps.

Index Terms—Operating frequency, square wave, acoustic resonance.

I. INTRODUCCIÓN

LAS lámparas de descarga de alta intensidad de haluros metálicos (HID-MH) son muy empleadas en aplicaciones de iluminación; especialmente en ambientes exteriores, debido a que presentan características de alta eficiencia (lm/) [1], [2], ya que basan su funcionamiento en la radiación de energía a temperaturas superiores en relación a las lámparas incandescentes. Presentan, además, muy buena reproducción de color, lo que las hace idóneas para aplicaciones donde esta característica es crítica. Sin embargo, su comportamiento no lineal en el transcurso del tiempo y la variación caótica de sus parámetros físicos proveen un comportamiento no deseable en la presión interna del tubo de descarga, lo que a su vez puede ocasionar una interrupción del arco eléctrico y en consecuencia un posible fallo en su funcionamiento. A este fenómeno se lo conoce como resonancia acústica (RA), que se manifiesta

Jaime Paúl Ayala T y Roberto Gutierrez son profesores investigadores de los Departamentos de Eléctrica y Electrónica y Energía y Mecánica respectivamente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Av. General Rumiñahui s/n, 171-5-231B Ecuador e-mail: jpayala@espe.edu.ec
Manuscript received 9, 2016; revised sept, 2016.

visualmente como una deformación en la trayectoria del arco dentro del tubo de descarga [3]. El surgimiento de la RA, depende de varios factores, entre ellos la geometría del tubo de descarga, presión del gas de llenado, dispersión de la manufactura, potencia de la lámpara, temperatura de operación, frecuencia de operación y modos propios de RA de la cavidad, siendo que algunos de estos parámetros son cambiantes en el tiempo [4]. El conocimiento del comportamiento dinámico de los parámetros representativos de la lámpara posibilitaría el diseño y posterior desarrollo de un balasto electrónico orientado a la operación estable de este tipo de luminarias.

Por lo expuesto, es necesario detectar la presencia de RA. En este sentido, básicamente existen tres métodos de detección de RA: medición de las emisiones acústicas, eléctricamente al medir la impedancia equivalente de la lámpara y óptica al detectar desplazamientos o perturbaciones en el arco de descarga [5]. En este trabajo se emplea una mezcla de los dos últimos métodos.

Además, se presenta un análisis del comportamiento de las variables de operación significativas de la lámpara a diferentes frecuencias. Finalmente, se plantea una técnica de reconstrucción del arco de descarga en 3D al considerar fotografías ortogonales del arco y a partir de esta se propone un método que permite cuantificar la amplitud de la resonancia acústica longitudinal.

II. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El esquema de experimentación empleado para obtener datos de las variables físicas y eléctricas de las lámparas HID-MH se presenta en la figura 1, que es una adaptación del propuesto por [5]. Se parte de un balasto electrónico que consiste de un inversor en configuración puente completo, el mismo que es alimentado por una fuente de corriente directa Kepko KLP600 cuya tensión de salida es variable por software. Las señales de conmutación de los mosfets IRF740 empleados en el inversor son suministradas mediante un driver IR2130 al que se le entrega una señal de onda cuadrada de alta frecuencia en el rango de 10 a 50 kHz proveniente del generador de señales Agilent 33120A, también controlado vía software. A este esquema se añade un ignitor tipo serie que es conectado y desconectado de la lámpara mediante un relé conforme se lo requiera. En el habitáculo donde se encuentra la lámpara existen dispuestas ortogonalmente dos cámaras web Genius

iLook300 de 8 Mpixels protegidas mediante el empleo de filtros ópticos de densidad neutra y ganancia 1/1024, un sensor de intensidad luminosa DC-SS012V100 y una termocupla tipo K. La lámpara se encuentra en serie con un reóstato Terco de 1700W que se emplea como limitador de corriente debido a la característica de impedancia negativa de este tipo de lámparas [6]. Para capturar las formas de onda de la tensión y corriente en la lámpara (esta última indirectamente tomada al medir la tensión en el reóstato), se emplearon puntas diferenciales Pintek DP-25 con una atenuación de 200. Las señales atenuadas de tensión y corriente se introducen en conjunto con las señales de los sensores de temperatura e intensidad luminosa a una tarjeta de adquisición de datos PCI modelo Gage Octopus de 250Ms/s.

Tanto el generador Agilent como la fuente DC kepko son controladas vía RS232 opto-aislado por un computador. El programa que automatiza la toma de datos de tensión, corriente, intensidad luminosa, temperatura, frecuencia de operación, las capturas de las imágenes provenientes de las cámaras web y el control de los instrumentos fue desarrollado en LabView 2012.

Las señales de tensión y corriente capturadas son procesadas en el computador para obtener su valor eficaz y así disponer de los valores que se presentan en la tabla I. Las imágenes ortogonales del arco de descarga son procesadas mediante un script realizado en Matlab que en base al estándar de iluminación monocromática del Comité Nacional del Sistema de Televisión [7], dado por (1) permite la conversión de la imagen capturada en formato RGB a una escala de grises.

Tabla I: Ejemplo de datos obtenidos

Temperatura	Intensidad Luminosa	Voltage Ch2	Voltage Ch1	Potencia	Frecuencia
C	Lux	Vrms	Vrms	Wrms	Hz
22,16	15700,00	112,00	145,80	175,59	10000,00
22,10	15400,00	115,40	174,60	216,65	15000,00
22,21	14800,00	114,40	185,00	227,57	20000,00
21,98	14000,00	111,80	165,80	199,32	25000,00
22,25	13220,00	111,20	170,00	203,27	30000,00
22,46	12810,00	112,60	188,00	227,62	35000,00
22,17	12400,00	111,20	193,20	231,01	40000,00
22,10	11870,00	113,80	186,80	228,58	45000,00
22,18	11250,00	111,80	202,00	242,83	50000,00

$$Y = 0,2989R + 0,5870G + 0,1140B \quad (1)$$

Donde Y es la luminancia monocromática y R, G y B son respectivamente las luminancias de los canales rojo, verde y azul. Una vez convertida la imagen en escala de grises se procede a binarizar la imagen de tal manera que se obtenga un uno donde exista un gris y un cero donde exista un blanco, así se obtiene una matriz de unos y ceros que representa el contorno del arco de descarga. A esta matriz mediante un escaneo fila-columna se procede a identificar la ubicación en coordenadas (x, y, z) de los pixeles correspondientes a un uno, obteniéndose el borde del arco de descarga. Para determinar

las coordenadas del eje del arco de descarga se procede a determinar el punto medio entre los bordes de una columna de la matriz de la imagen. El mismo procedimiento se aplica a la imagen de la cámara ortogonal. En el procesamiento las dos imágenes tienen la misma dimensión de 1280x1024 pixels, además físicamente se han colocado las dos cámaras a la misma distancia respecto del eje entre los electrodos de la lámpara para evitar distorsiones en las imágenes.

Para la reconstrucción del arco de descarga en 3D se procedió a definir cada punto del eje del arco en sus tres coordenadas rectangulares, este punto se constituirá en el centro de una elipse que pasa por los cuatro puntos correspondientes a los bordes del arco, la misma operación se repite para todos los puntos del eje del arco de descarga como se muestra en la figura 2.

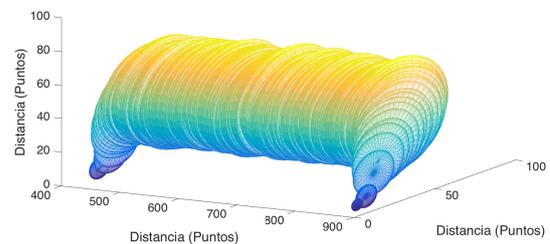


Figura 2: Modelo tridimensional del arco de descarga

III. RESULTADOS

Al alimentar la lámpara con una onda cuadrada en tensión, se obtiene una potencia constante [8] como se puede observar en la figura 3, que resulta del producto punto a punto de la tensión y la corriente.

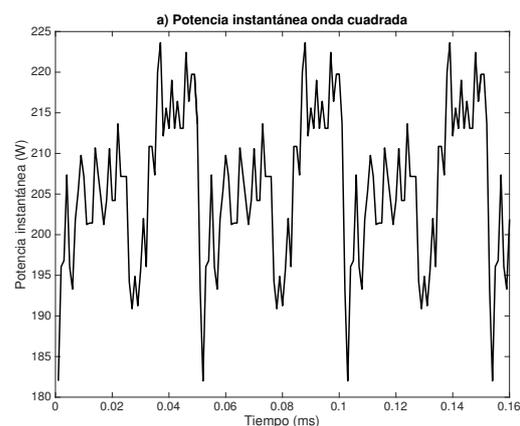


Figura 3: Potencia instantánea en la lámpara

La potencia no es modulada por ninguna frecuencia y es similar a la potencia que se entregaría por una fuente constante (CD), por ello la lámpara es inmune al problema de la RA [9] y, además la frecuencia de operación no es importante en estas

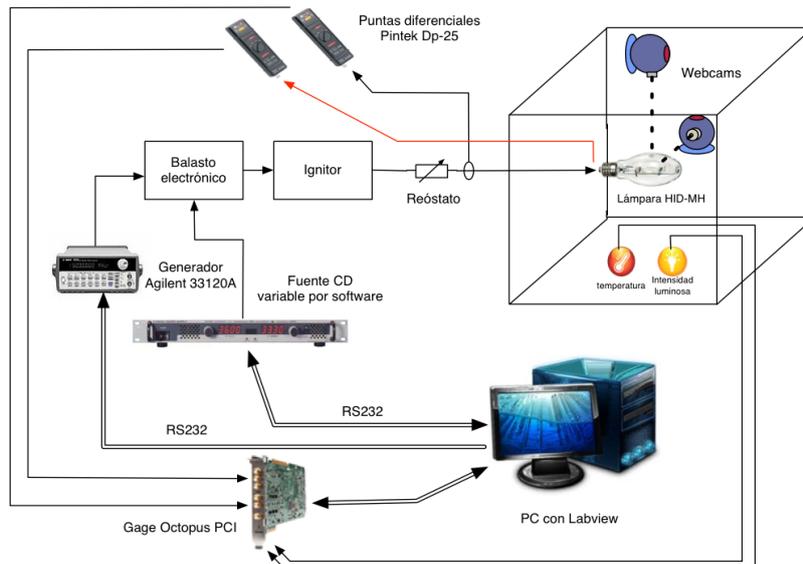


Figura 1: Esquema del experimento

condiciones, exceptuando las consideraciones de pérdidas por conducción y conmutación en los semiconductores.

Sin embargo, como se ha mencionado en [10]–[12] no es posible obtener una onda cuadrada perfecta y en consecuencia la potencia mostraría un rizado (ripple) con posibles cruces por cero, lo que podría llegar a excitar las RA. Por un lado, una manera de determinar el efecto que causa el rizado de la potencia instantánea en la existencia de las resonancias acústicas es el empleo del factor de cresta como se presenta en la ecuación (2).

$$C_p = \frac{P_m}{P_{av}} \quad (2)$$

Donde P_m es la potencia instantánea máxima y P_{av} define la potencia media en la lámpara. Si el factor de cresta es la unidad, la probabilidad de que aparezca alguna RA es mínima, por otro lado si su valor es mayor a uno y conforme se incrementa, las resonancias acústicas existirán y aumentarán [9]. Por otro lado, en cuanto a la distribución espectral de potencia en la lámpara presentada en la figura 4, esta varía considerablemente cuando la potencia media en la lámpara es reducida de su valor nominal (figura 4a) a un 20% (figura 4b). Además, se observa que la temperatura al ser una variable lenta no cambia significativamente frente a variaciones de la potencia media de alimentación de la lámpara tal como se muestra en la figura 5.

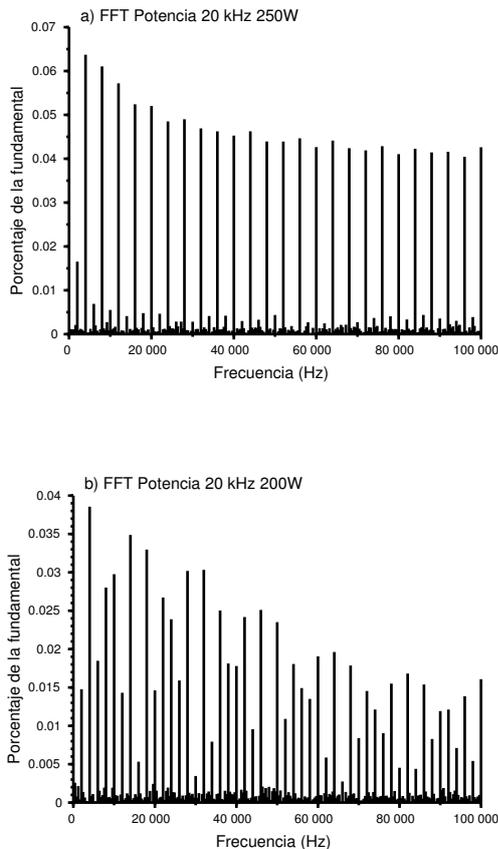


Figura 4: Distribución espectral de la variación de la potencia media en la lámpara

La radiancia luminosa de la lámpara (medida con el sensor ubicado ortogonalmente a 22,3 centímetros del eje entre los electrodos), se incrementa conforme la potencia media aumenta su valor a una frecuencia determinada de funcionamiento (10 kHz).

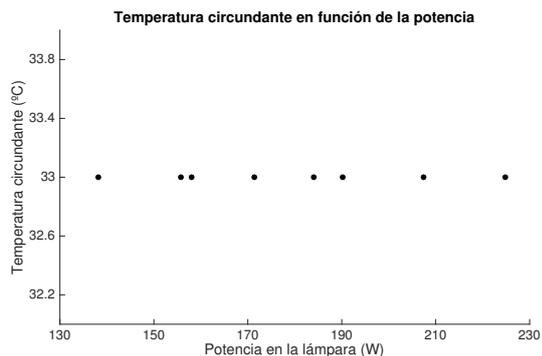


Figura 5: Variación de la temperatura en la lámpara frente a cambios en la potencia media)

Mientras se observa que la luminancia decae conforme la frecuencia de operación se incrementa (figura 6). Dentro del rango de frecuencias de análisis (10 kHz-50 kHz) la disminución de la intensidad luminosa fue del 85 %.

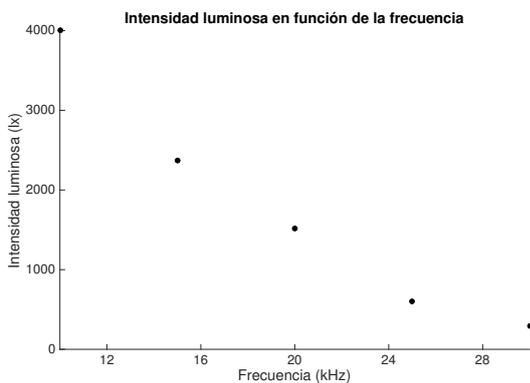


Figura 6: Intensidad luminosa en función de la frecuencia

Para la operación dimerizable [13], se observa que la intensidad luminosa decae considerablemente conforme la frecuencia se incrementa, encontrándose que para la lámpara de prueba (Philips MH/U 250W/640 E40 CL) al 10% de la potencia nominal y con 1,2 lux existe extinción del arco de descarga (figura 7). La lámpara se encendió a 10 kHz y a potencia nominal, posteriormente se decrementó la potencia hasta llegar a 35 W y 10,5 lux. Se realizó un incremento de frecuencia llegando hasta los 110 kHz, donde la lámpara se apagó al ojo humano (0,1 lux en el luxómetro), sin embargo al disminuir la frecuencia se observó un “reencendido” y un incremento de la intensidad luminosa, parte de este proceso se puede observar en la figura 8.

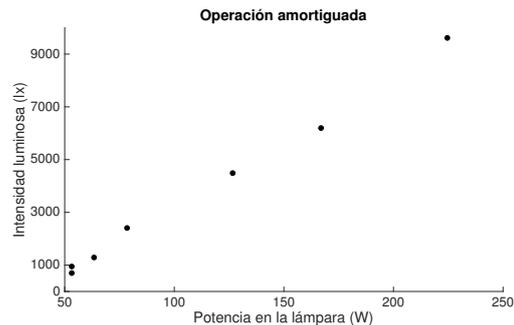


Figura 7: Intensidad luminosa en función de la potencia media

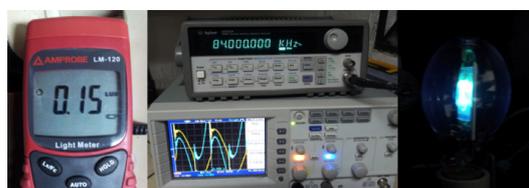


Figura 8: Proceso de variación de potencia de funcionamiento

Un comportamiento no reportado en la literatura científica sobre lámparas HID-MH trata sobre la relación de la resistencia que cumple con la función de limitar la corriente (o impedancia limitadora en el caso de tratarse de una bobina) y la resistencia equivalente de la lámpara. Como se puede observar en la figura 9, se puede afirmar que la relación es directamente proporcional y prácticamente lineal para el rango de frecuencias de operación estudiadas; es decir, mientras la resistencia limitadora aumenta, la resistencia equivalente de la lámpara incrementa su valor de forma lineal con correlación superior a 0,9 (0,9845 para el caso de la figura 9), y mantiene, prácticamente, la proporción en el divisor de tensión constituido entre la lámpara y la impedancia limitadora de corriente.

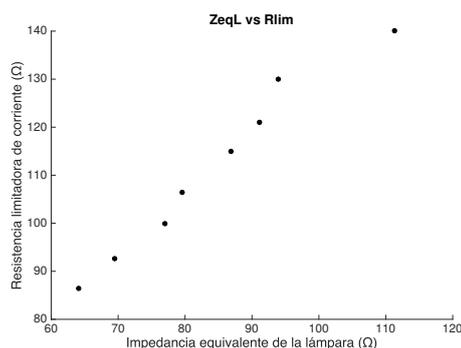


Figura 9: Resistencia equivalente de la lámpara en función de la resistencia limitadora

Para determinar el comportamiento de la lámpara, al emplear una bobina, para limitar la corriente se construyó un inductor variable de 118.63 μH a 238.17 μH y 3 A. La frecuencia de operación se mantuvo constante en 20 kHz, y al variar la inductancia en el rango indicado; se observó para las 5 lámparas

de prueba que existe una relación proporcional prácticamente lineal entre la impedancia de la bobina que limita la corriente y la impedancia equivalente de la lámpara conforme se puede observar en la figura 10. Este comportamiento corrobora lo establecido en la figura 6, ya que al incrementarse la frecuencia, la impedancia de la bobina limitadora de corriente se incrementa y en consecuencia la impedancia de la lámpara, ocasionando un decremento en la corriente, la potencia y la intensidad luminosa. Aspectos que se deben considerar en el proceso de diseño de balastos electrónicos que emplan una impedancia limitadora.

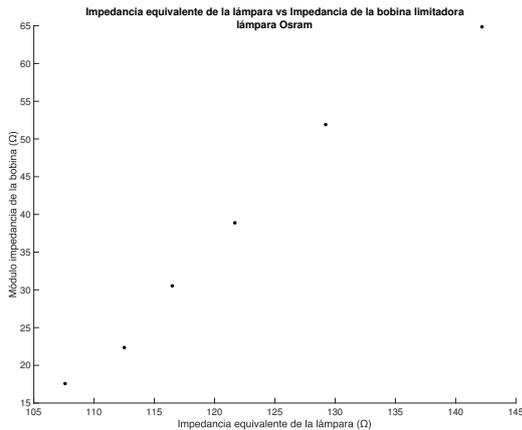


Figura 10: Módulo de la impedancia de la bobina vs Resistencia equivalente de la lámpara

Con el propósito de obtener una generalización respecto al comportamiento de la impedancia equivalente de las lámparas HID-MH, el experimento antes mencionado se ha repetido para diferentes luminarias y cuyo resultado se muestra en la tabla II, donde se puede observar la relación prácticamente lineal entre la impedancia limitadora de corriente y la impedancia instantánea de distintas lámparas.

Para establecer la longitud del arco del modelo tridimensional expuesto en la figura 2, se realiza un cálculo de distancia entre dos puntos tridimensionales consecutivos (3), igualmente se repite esta operación para todos los puntos del arco de descarga.

$$RA_L = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (3)$$

Donde RA_L es la distancia entre dos puntos tridimensionales del arco de descarga dado por las coordenadas iniciales $P_0(x_0, y_0, z_0)$ y finales $P(x, y, z)$ obtenidas mediante el método descrito en el algoritmo de la figura 11. Este cálculo se realiza en forma iterativa y acumulativa a lo largo del arco de descarga para obtener la longitud en pixeles del mismo.

Luego, se realiza una relación proporcional entre la longitud del arco en condiciones de operación sin resonancia (longitud mínima del arco de descarga) y la calculada por el método descrito y se procede a normalizar estas magnitudes. La longitud se calcula para diferentes frecuencias de operación con el objetivo de obtener una medida de la deformación del

arco de descarga o RA en su modo longitudinal, conforme se presenta en la figura 12.

Finalmente, la amplitud de la desviación del arco de descarga, figura 12, se presenta como una variación porcentual respecto a la longitud nominal del mismo. En la figura 13 se verifica la validez del método propuesto para determinar la longitud del arco de descarga por medio de la reconstrucción 3D, en contraste al comportamiento de la impedancia equivalente de la lámpara de prueba frente a variaciones en la frecuencia de operación.

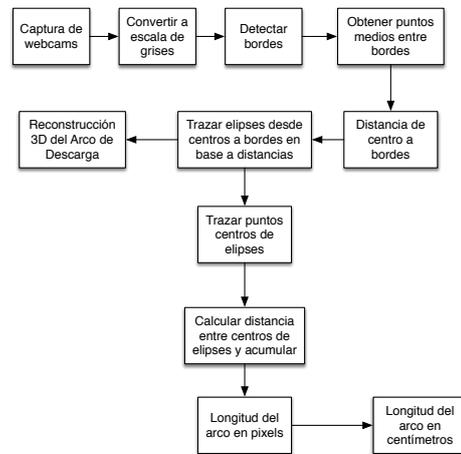


Figura 11: Porcentaje de incremento de la longitud del arco de descarga para diferentes frecuencias de operación

La validación del método propuesto, mediante la correlación entre la longitud del arco de descarga y la impedancia equivalente de la lámpara, se puede observar en la tabla III.

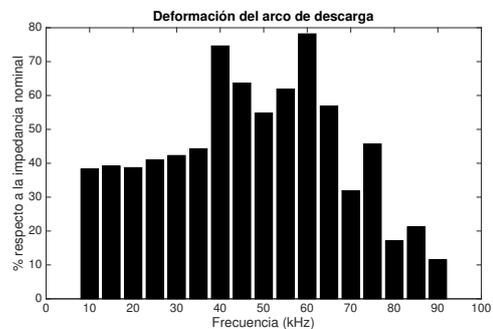


Figura 12: Porcentaje de incremento de la longitud del arco de descarga para diferentes frecuencias de operación

Tabla II: Comportamiento $R_L - Z_{lim}$

Phillips 1		Phillips 2		Osram		Sylvania	
R_L Ω	Z_{lim} Ω	R_L Ω	Z_{lim} Ω	R_L Ω	Z_{lim} Ω	R_L Ω	Z_{lim} Ω
108,1	7,454	91,69	26,41	107,6	17,60	69,94	10,18
113,9	14,91	92,24	29,81	112,5	22,36	113,9	29,81
121,1	29,81	96,82	35,21	116,6	30,53	119,2	40,71
126,6	37,27	102,7	44,89	121,7	38,91	122,3	44,01
131,8	50,88	112,2	59,86	129,2	51,88	130,0	51,88
141,4	74,82	113,3	74,82	142,2	64,85	141,0	59,86
correlación=0,9929		correlación=0,9725		correlación=0,9930		correlación=0,9698	

Tabla III: Correlación impedancia medida - impedancia calculada

Frecuencia Hz	Longitud del arco mm	Resonancia %	Impedancia medida Ω	Impedancia calculada Ω	Error %
15	48,72	39,20 %	138,70	138,34	0,36 %
20	48,55	38,71 %	135,00	138,71	2,75 %
40	61,12	74,63 %	160,22	174,63	8,99 %
45	57,28	63,66 %	154,12	163,66	6,19 %
50	54,17	54,77 %	146,93	154,77	5,34 %
55	56,66	61,89 %	148,00	161,89	9,38 %
65	54,91	56,89 %	150,60	156,89	4,17 %
70	46,17	31,91 %	135,00	131,91	-2,29 %
75	51,00	45,71 %	142,50	145,71	2,26 %
90	39,02	11,49 %	117,34	111,49	-4,99 %
Correlación impedancia medida - impedancia calculada por el método de reconstrucción del arco en 3D				0,9851	

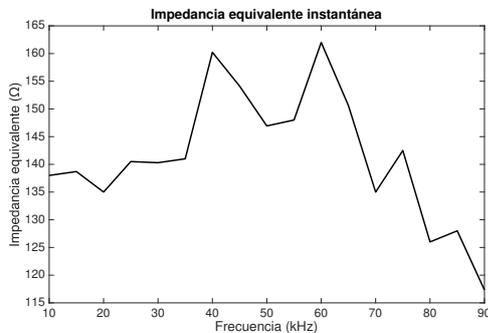


Figura 13: Comportamiento de la impedancia equivalente de la lámpara

IV. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

- El empleo de dos cámaras dispuestas ortogonalmente para capturar el arco de descarga permite obtener la información a partir de la que se puede reconstruir el mismo tridimensionalmente. Con esta información es factible el calcular una medida que represente la amplitud de RA en su modo longitudinal.
- Al variar el valor de la impedancia serie a la lámpara, se observó un cambio proporcional en la impedancia equivalente de la lámpara y el mantenimiento de la

proporción en el divisor de tensión del conjunto lámpara-impedancia limitadora.

- La temperatura de la lámpara no varía significativamente frente a cambios en la frecuencia de operación en el rango de frecuencias de estudio.
- Es posible obtener una operación amortiguada de las lámparas HID-MH incrementando la frecuencia de operación, sin embargo, es discutible la utilidad práctica de obtener una fuente luminosa que consume potencia y no entrega radiación lumínica.
- Para medir la RA en sus tres modos (longitudinal, radial y acimutal), en un trabajo futuro se propone realizar una equivalencia respecto al volumen del arco de descarga, en base a la reconstrucción del mismo en tres dimensiones partiendo de fotografías ortogonales en escala de grises y proveyendo de valores a cada tonalidad de gris en cuanto a distancia respecto al eje del arco de descarga.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE del Ecuador por brindar las facilidades tecnológicas y económicas que permitieron la consecución exitosa de la presente investigación.

REFERENCIAS

[1] B. Cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting," *J. Eng. Sci. Edu.*, vol. 9, no. 5, pp. 207-217, 2000.

- [2] H. Nishimura, H. Nagase, K. Uchihashi, T. Shiomi, and M. Fukuhara, "A new electronic ballasts for hid lamps," *J. Illum. Eng. Soc.*, vol. 17, no. 2, pp. 70–76, 1988.
- [3] L. Hua, S. Miaosen, J. Yifeng, and Q. Zhaoming, "A novel low-frequency electronic ballast for hid lamps," *Industry Applications, IEEE Transactions*, vol. 41, no. 5, pp. 1401–1408, 2005.
- [4] G. Lister, "The physics of discharge lamps," vol. 76, 2004.
- [5] W. Kaiser, R. Marques, and A. Correa, "An alternative optical method for acoustic resonance detection in hid lamps," in *Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, 2011, pp. 1–5.
- [6] Y. Wang, D. Xu, W. Wang, X. Zhang, and B. Xu, "Electronic ballast for metal halide lamps using a quasi-resonant inverter with digital control," *Industrial Electronics, IEEE Transactions*, vol. 59, no. 4, pp. 1825–1840, 2012.
- [7] *Television-Composite Analog Video Signal-NTSC for Studio Applications*. SMPTE-170M, 1994.
- [8] M. Costa, J. Alonso, J. Garcia, J. Cardesin, and M. Rico Secades, "Acoustic resonance characterization of low-wattage metal-halide lamps under low-frequency square-waveform operation," in *Power Electronics, IEEE Transactions*, vol. 22, 2007, pp. 735–743.
- [9] M. Dalla Costa, "Compensación de resonancias acústicas en lámparas de descarga en halogenuros metálicos por medio de onda cuadrada de baja frecuencia: Caracterización de lámparas y propuesta de nuevas topologías de alimentación," Ph.D. dissertation, 2008.
- [10] D. Van Casteren, M. Hendrix, and J. Duarte, "Controlled hid lamp-ballast interaction for low-frequency square-wave drivers," *Power Electronics, IEEE Transactions*, vol. 22, no. 3, pp. 780–788, 2007.
- [11] J. Vila Masot and O. Melis, *Low frequency square wave electronic ballasts for gas discharge*. USA: Patent US 5428268 A, 1995.
- [12] C. Hung Liang, M. Chin Sien, Y. Chung Sheng, and H. Chun Kai, "Analysis and implementation of an hpf electronic ballast for hid lamps with lfsw voltage," *Power Electronics, IEEE Transactions*, vol. 27, no. 11, pp. 4584–4593, 2012.
- [13] Y. Wei and S. Hui, "An analysis into the dimming control and characteristic of discharge lamps," *Power Electronics, IEEE Transactions*, vol. 20, no. 6, pp. 1432–1440, 2005.

Modelo de Producción de Contenidos Digitales para la Educación Online

Digital Content Production Model for Online Education

Evelio Granizo Montalvo, Silvia Haro Vaca

Resumen—A partir de un análisis del estado actual de la industria de contenidos digitales y del entorno normativo y legal del Ecuador, referido principalmente a temas de seguridad en internet y derechos de propiedad intelectual; y a través de una investigación de mercado, para identificar las necesidades de los usuarios y aprovechar las oportunidades y retos que presenta la educación en línea; se recomienda un modelo de producción de contenidos digitales para la educación en línea, basado en un esquema colaborativo y de ecosistema inteligente, y en un conjunto de políticas públicas para el fomento de la industria de contenidos digitales en el Ecuador.

Palabras Clave—Educación en línea, Políticas Públicas, Derechos de Autor, Clúster Industrial, Enseñanza – Aprendizaje.

Abstract—Based on the analysis of the current state of the digital content industry, and the regulatory and legal environment of Ecuador –mainly related to Internet security issues and intellectual property rights– and through a market research that identifies needs of users, and seizes opportunities and challenges of online education, a digital content production model for online education is recommended. This model is based on a collaborative and intelligent ecosystem scheme, and a set of public policies for the promotion of the digital content industry in Ecuador.

Index terms—Online education, public policies, copyright, industrial clusters, teaching-learning.

I. INTRODUCCIÓN

La industria digital genera nuevas formas de producir, distribuir y utilizar los contenidos tradicionales como: cine, video, música, televisión, publicidad, prensa, entre otros; y ha dado lugar a que nuevos sectores de la economía ingresen al mercado de contenidos digitales, tales como: el sector de

E. Granizo, es Director del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui S/N, Sangolquí, Ecuador, tel.: 593-999731340, e-mail: egranizo@espe.edu.ec.

S. Haro, es Analista Técnico en el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, Av. 6 de Diciembre N25- 75 y Av. Colón, Quito, Ecuador, tel.: 593-996603967, e-mail: lizabetharo@hotmail.com.

la educación, servicios basados en Sistemas de Información Geográfica (GIS - Geographic Information System) y los videojuegos; no obstante, las grandes empresas transnacionales han acaparado la participación en el mercado, esencialmente en la etapa de creación y producción de contenidos, lo anterior sumado a que las transnacionales se encuentran integradas verticalmente, a través de toda la cadena de valor, hace que los países en vías de desarrollo, como el Ecuador, se conviertan en consumidores de tecnología y contenidos; y, específicamente en el sector de la educación, esta situación se acentúa por falta de contenidos que respondan a las necesidades educativas específicas del país [11].

Cuando las instituciones educativas y los propios estudiantes han desarrollado contenidos, éstos no son suficientes en términos de cantidad, calidad, adecuación y apropiación, ya que no son realizados bajo una metodología o modelo que permita integrar las Tecnologías de la Información y Comunicación, como una herramienta de innovación pedagógica y generación de conocimiento, para el desarrollo de la sociedad actual, basada precisamente en la información y el conocimiento como instrumentos de crecimiento económico de un país [11].

En Ecuador el acceso a la educación sobre todo en las áreas rurales, es limitado por varios factores: disponibilidad de profesores, costos, tiempo, espacio físico, etc. La virtualización de la educación es una opción para solucionar en parte este problema, para lo cual se necesita disponibilidad de contenidos digitales de calidad.

En este sentido, el presente trabajo plantea un modelo distinto de producción de información, que busca evitar el desarrollo de contenidos dispersos y aislados, y crear un modelo coordinado y colaborativo que posibilite el crecimiento de un mercado en el que existe mucho camino por recorrer, pero que a la vez es muy cambiante y por tanto, requiere de procesos flexibles, dinámicos y participativos que integren al sector público, privado y a la academia en un marco de ecosistema inteligente y que permitan posicionar a la formación online como línea de acción estratégica para masificar el acceso a la educación.

II. ANÁLISIS Y DESARROLLO

La creación de un modelo de producción de contenidos digitales para la educación en línea en el Ecuador, se basa en tres fases:

A. Análisis del entorno internacional y nacional

B. Investigación de Mercado

C. Propuesta de Modelo

A continuación se presenta cada una de estas fases:

A. Análisis del entorno internacional y nacional

Comprende el análisis de la industria internacional de contenidos digitales tradicionales y emergentes, el contenido local generado en Ecuador, y los factores clave para el desarrollo de esta industria. También se analiza el marco normativo relacionado al tema, y se realiza una propuesta de política pública del Ecuador para el fomento de contenidos digitales [3]. En seguida se presenta el análisis realizado.

1) **Industria internacional de contenidos digitales:** se determinó que a nivel mundial para el año 2016, se espera un gran aumento de la tasa de crecimiento anual de la industria de creación y distribución, en los sectores tradicionales basados en actividades de gran consumo, como se muestra en la Figura 1.

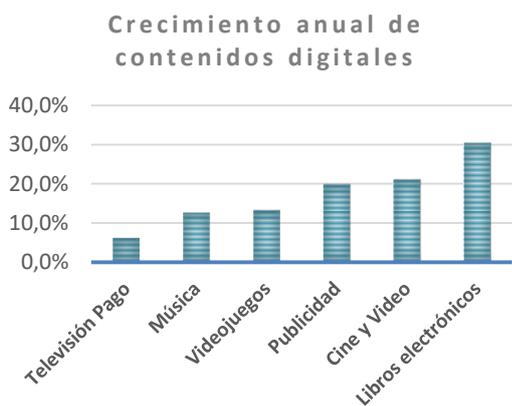


Figura 1. Crecimiento anual de contenidos digitales [1]

2) **Contenidos digitales emergentes:** con el vertiginoso desarrollo de la tecnología emergen nuevos sectores que aun cuando tienen un mercado más reducido, que los anteriores, merecen especial atención porque están adquiriendo un interés y un protagonismo creciente, entre ellos se encuentra la educación virtual o e-learning, que en América Latina tiene una importante tasa de crecimiento, principalmente en países como Brasil, Colombia, Bolivia, Chile y Bolivia, como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Crecimiento anual de e-learning [2]

3) **Contenidos Locales:** los contenidos digitales locales se pueden medir a través de indicadores como: número de dominios de primer nivel de código de país o ccTLDs¹ por cada mil habitantes, número de usuarios de Facebook por cada mil habitantes, número de periódicos online por un millón de habitantes, número de estaciones de radios online por un millón de habitantes, cantidad de fotos georeferenciadas de Flickr por 1000 habitantes, número de archivos subidos a YouTube por mil habitantes, número de páginas web, número de artículos wikipedia, número de blogs y número de twits de acuerdo al idioma [3].

Analizando los directorios de portales web [4], se determinó un gran avance de contenidos digitales locales en Ecuador en español (Figura 3); sin embargo, el desarrollo de contenidos locales no es suficiente en términos de apropiación de los usuarios, porque si se considera que el país es multiétnico y pluricultural, y que el consumo de contenidos digitales está ligado a la relevancia de información que los contenidos presentan para los usuarios, existe una gran desafío en cuanto a digitalización, traducción y creación de nuevo contenido digital en las otras lenguas que se habla en Ecuador, y en general para toda la industria; porque es necesario contar con más contenido profesional y de calidad.

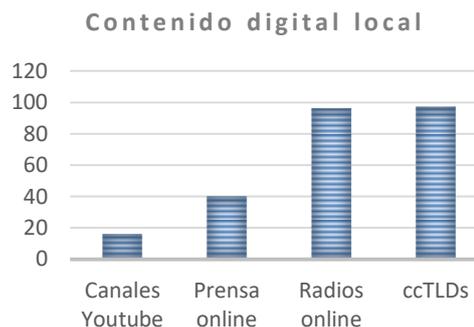


Figura 3. Contenido digital local

4) **Factores para el desarrollo:** uno de los factores principales para el crecimiento de contenidos digitales es el Internet, porque tiende hacia la ubicuidad y posibilita eliminar barreras de tiempo y espacio; sin embargo, la asequibilidad en el Ecuador es un problema, debido primordialmente a que los costos de interconexión, tránsito y terminación son altos, esto es causado por la falta de conectividad directa entre los países de la región, lo cual genera una gran dependencia de interconexión hacia el backbone de EEUU y por ende alto tránsito por sus redes para acceder a contenidos [2].

Un análisis básico sobre los veinte sitios web más visitados en el país, evidencia que los contenidos a los que se accede desde Ecuador, generan una cantidad importante de tráfico saliente internacional, principalmente hacia los Estados Unidos, porque la mayoría de contenidos se encuentran alojados internacionalmente, como se puede observar en la Figura 4.

¹ Country Code Top Level Domain

Países donde se alojan los contenidos de los sitios web más visitados

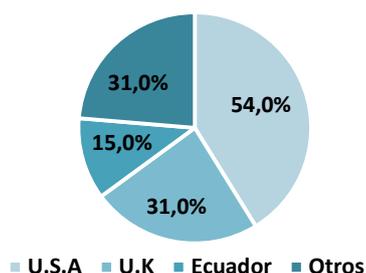


Figura 4. Veinte sitios web más visitados en el Ecuador²

5) Marco Normativo y Políticas Públicas: se describe la normativa vigente en el Ecuador sobre los aspectos más relevantes en materia de contenidos digitales; y se proponen líneas de actuación para mejorar el marco normativo y propiciar el fomento de la industria, que se detalla a continuación.

- **Marco Normativo:** para el fomento de la industria de contenidos digitales se debe considerar leyes tanto de protección de derechos de autor, como aquellas orientadas a mejorar las condiciones de los usuarios o consumidores en el ciberespacio, para minimizar el impacto negativo en la industria digital, como son la piratería y el cometimiento de delitos informáticos.

En este sentido Ecuador considera a la protección de propiedad intelectual, como un derecho fundamental que debe responder a los principios de universalidad y armonización internacional, y como un aspecto de vital importancia para el desarrollo tecnológico y económico del país. En el ámbito de seguridad cibernética, en el año 2002, se realizan reformas al Código Penal, vigente desde 1971, para tipificar infracciones informáticas [12].

No obstante, contar con normas jurídicas aisladas no implica el mejoramiento de la seguridad cibernética, más bien, por el contexto global de la red de Internet, se debe establecer estrategias y sinergias nacionales e internacionales, para mitigar con mayor efectividad el problema de la inseguridad y violación de derechos de autor en el ciberespacio.

- **Políticas Públicas:** para el impulso de la industria de contenidos digitales propios, que respondan a las necesidades específicas del país, es fundamental contar con políticas públicas que promuevan su desarrollo. La emisión de dichas políticas corresponde a los actores políticos del país, no obstante, considerando que su definición e implementación debe ser un proceso participativo de toda la sociedad ecuatoriana, a continuación se presenta una iniciativa al respecto, cuyo objetivo es

crear un ambiente propicio para el desarrollo del sector de contenidos digitales en Ecuador [12].

- Promover y robustecer los procesos de creación y producción de contenidos digitales propios.
- Incentivar la formación especializada del capital humano en producción de contenidos digitales, con énfasis en contenidos educativos para ambientes virtuales.
- Propiciar la creación de sinergias entre el sector público, privado y la academia, mediante la creación de pilotos o laboratorios donde se pueda probar los nuevos productos antes de su lanzamiento al mercado.
- Estimular la creación de nuevas empresas y a su vez fortalecer las existentes, así como también impulsar la participación de las PYMES en la industria de contenidos digitales.
- Promover la cooperación regional e internacional para construir confianza en el ciberespacio.
- Propender a la creación de espacios de debate público, donde participen todos los involucrados en temas de derechos de autor para encontrar un punto de equilibrio que permita generar conocimiento e información de dominio público, pero que también proteja los derechos de autor.
- Promover la educación virtual como línea de acción estratégica para masificar el acceso a la educación.

B. Investigación de Mercado

Se realiza un estudio de oferta y demanda para identificar las necesidades de los usuarios de educación virtual, la oferta del sector y las oportunidades y retos que presenta la educación en línea. A continuación se describe cada uno de estos temas.

1) Oferta: Para analizar la oferta de contenidos digitales para la educación en línea, se debe considerar el entorno nacional e internacional, puesto que a través de Internet se puede ofertar contenidos digitales desde cualquier lugar del mundo; sin embargo, en el presente estudio se enfocará en la oferta de contenidos digitales a nivel nacional considerando que los principales creadores de contenidos digitales, para la educación formal, son las instituciones del sector educativo a nivel público y privado; principalmente las universidades. La Figura 5 presenta la oferta de educación virtual, por parte de las universidades acreditadas [5].

² Top Sites in Ecuador [5]

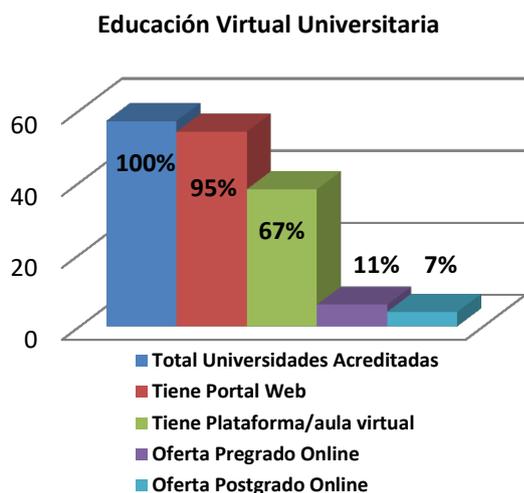


Figura 5. Oferta Universitaria de Educación Virtual³

Además, para determinar si existe producción y distribución de contenidos digitales educativos, como una oferta comercial, se analiza el ámbito empresarial del Ecuador que está vinculado con actividades económicas relacionadas a la educación; se concluye que en el sector empresarial dedicado a la enseñanza, existen 514 compañías⁴, de las cuales la mayor participación del mercado se concentra en aquellas entidades que se dedican a la enseñanza pre-primaria, primaria y secundaria, mientras la enseñanza superior apenas alcanza el 4,1% de participación, como se observa en la Figura 6.

Sector Empresarial dedicado a la enseñanza

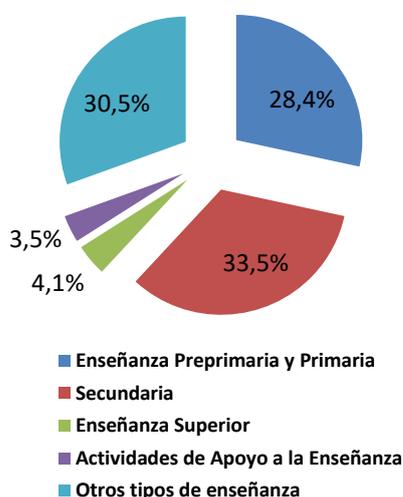


Figura 6. Sector Empresarial dedicado a la enseñanza

De lo anterior, se determina que las compañías se dedican principalmente a brindar servicios de formación y capacitación, creación y desarrollo de proyectos educativos,

³ Información obtenida de los portales web de las universidades de Ecuador acreditadas, a agosto 2014, de acuerdo a la clasificación de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) [6].

⁴ Registros publicados por la Superintendencia de Compañías y Valores en su portal web de información, a diciembre de 2012.

realización de consultorías, e instauración y administración de instituciones educativas de nivel superior.

En el campo empresarial denominado “Otros tipos de Enseñanza” (ver Figura 6) [5], se identifica que existen actividades relacionadas específicamente con enseñanza y capacitación en base al desarrollo y aplicación de las tecnologías de la información y comunicación; se observa que en este campo empresarial, el 10,2 % de empresas realizan actividades relacionadas con la elaboración, comercialización y distribución de todo tipo de material didáctico, entre ellos: diseño multimedia y producción audiovisual, y el 1,3% realiza importación y exportación de material didáctico y productos en general para el aprendizaje, como se observa en la Figura 7.

Otros tipos de enseñanza

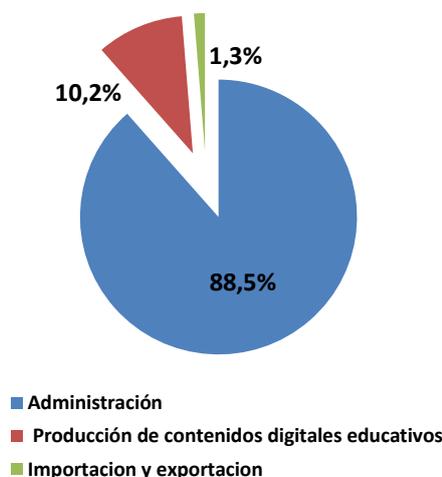


Figura 7. Actividades económicas relacionadas a los contenidos digitales educativos

Del análisis anterior, se determina que la oferta de contenidos educativos digitales comerciales es casi nula, porque la actividad central de las empresas analizadas, no es la creación, producción o distribución de contenidos educativos digitales; sino el desarrollo de servicios para instrucción académica formal y programas de capacitación. Además, se evidencia la ausencia de empresas que proporcionen soluciones de educación electrónica (e-learning) o proveedores de servicios virtuales.

2) Demanda: el análisis de la demanda se realiza a través de una encuesta denominada “Contenidos Digitales Educativos”, que fue consultada por 199 personas, de las cuales 188 encuestas se consideraron como válidas. A continuación se muestran los resultados más relevantes obtenidos.

La Figura 8 muestra el número de personas que han tenido algún tipo de formación virtual de acuerdo al nivel de instrucción de las personas encuestadas. El 66% de las personas encuestadas accedió a algún tipo de formación en línea, mientras el 34% no. Se observa que las personas que tienen tercer nivel de formación son las que en mayor medida acceden a formación virtual.

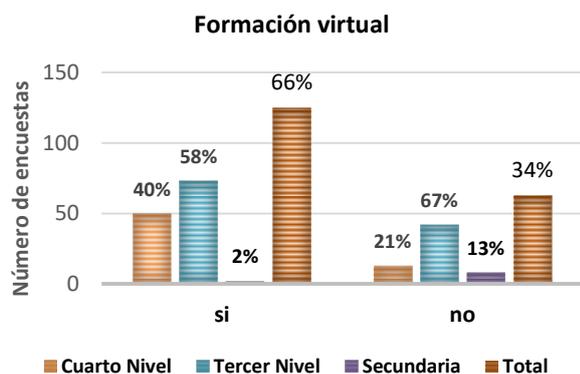


Figura 8. Personas que han tenido formación virtual

La figura 9 presenta el tipo de formación a la que accedieron las personas que tomaron algún tipo de formación virtual.

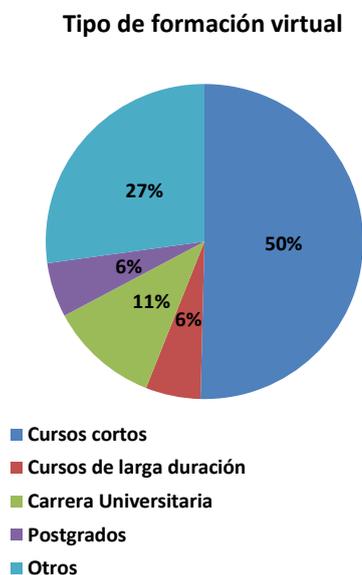


Figura 9. Tipo de formación virtual al que se accedió

La Figura 10 ilustra que del total de personas que han tenido experiencia educativa virtual (66% del total de encuestados), el 90% volvería a tomar algún tipo de formación en línea; y del total de personas que no ha tenido ninguna experiencia de educación virtual (34% del total de encuestados), al 84% le gustaría acceder a educación virtual. De lo anterior se obtiene que al 88% del total de encuestados le gustaría tomar algún tipo de educación virtual, en tal virtud se podría mencionar que existe buena predisposición para la formación en línea.

La Figura 11 muestra el tipo de educación en línea, a la que accederían las personas que optarían por una opción educativa virtual. Se aprecia que la carrera universitaria a través de sistemas en línea, no es una opción que los encuestados tomarían; no obstante, al 59% les gustaría acceder a cursos de corta duración, seguido por los postgrados con el 25% y el 16% tomarían cursos de larga duración y especializaciones.

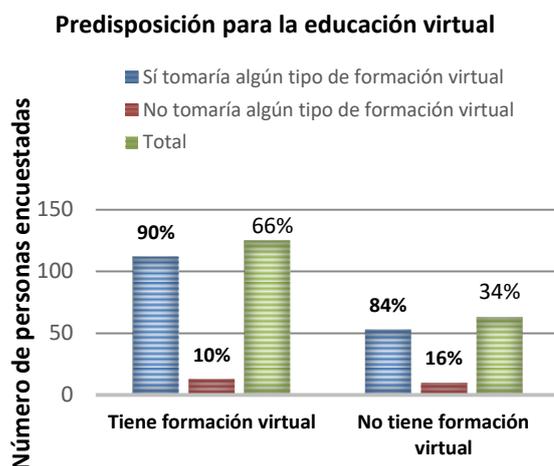


Figura 10. Predisposición para la educación virtual

Tipo de formación virtual al que accederían

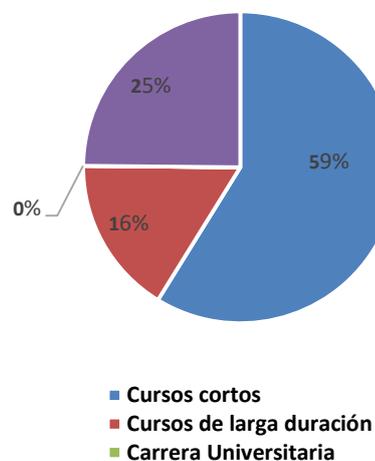


Figura 11. Tipo de formación virtual al que accederían

También se consultó acerca del nivel de confianza al momento de elegir un curso online; y se concluye que la mayor preocupación de las personas encuestadas se centra en las formas de pago, lo cual está asociado directamente a los sistemas online, pues la gente siente desconfianza sobre las plataformas de pago en sistemas en línea, ya que no existe alguna forma de acreditar las páginas web donde se ofertan los cursos y los usuarios pueden ser objeto de fraude.

Además, se preguntó sobre la percepción de calidad de la educación virtual frente a la presencial; las personas encuestadas consideran que existe bajo nivel académico en los sistemas virtuales, porque piensan que este tipo de formación no tiene un control de calidad ni alguna forma de acreditación de los contenidos digitales que se presentan como parte de la oferta de formación académica; razón por la cual, a pesar de que la educación en línea podría optimizar el tiempo para estudiar, las personas encuestadas preferirían los programas de estudio presenciales, principalmente para educación superior, como se observa en la Figura 11 ninguno de los encuestados tomarían una carrera universitaria en formato virtual.

3) **Oportunidades y retos:** Considerando que la formación educativa se ha convertido en un proceso continuo, la mayor oportunidad se centra en que la demanda del ámbito educativo es perdurable en el tiempo, además de acuerdo a la encuesta existe buena predisposición para acceder a formación académica virtual.

No obstante, para explotar el potencial de la educación virtual de la instrucción académica formal se deben superar, entre otros aspectos, los siguientes retos [12]:

- Percepción de menor calidad y nivel pedagógico de la educación virtual en relación a la educación presencial, lo cual se ve reflejado en que los encuestados no tomarían una carrera universitaria en línea.
- Crear nuevos contenidos digitales educativos con técnicas pedagógicas adecuadas para que los contenidos digitales utilizados en la educación en línea, no sean los mismos contenidos del papel simplemente transformados a un formato digital.
- Disponer de contenidos digitales educativos interactivos, donde el estudiante sea el productor de conocimiento, y no un sujeto pasivo observador de videos grabados y lector de documentos en formatos digitales.
- Contar con profesores con conocimientos y manejo de sistemas online y profesionales expertos en producción de contenidos digitales en el área tanto técnica como pedagógica.

C. Modelo Propuesto

En base a los resultados obtenidos del análisis e investigación se propone un modelo para la producción de contenidos digitales educativos que permita el impulso de esta importante industria, dicho modelo se fundamenta en 3 ejes y varios procesos [10], que se detallan a continuación:

1) **Ejes del modelo:** La creación de contenidos digitales para la educación en línea puede incurrir en costos elevados de producción, sobre todo por el personal multidisciplinario que se requiere para su elaboración, lo cual haría que su desarrollo sea insostenible en el tiempo; en este sentido, se propone un modelo para producción de contenidos educativos digitales, que genere la capacidad de interrelacionar procesos y la combinación de capacidades de todos los agentes que conforman la industria, es decir, es un modelo colaborativo enfocado en brindar servicios de producción y que permita el fomento de esta industria en el Ecuador. En la Figura 12 se puede apreciar la interrelación de tres sectores o ejes fundamentales que conforman el modelo y son: gobierno, mercado y academia.

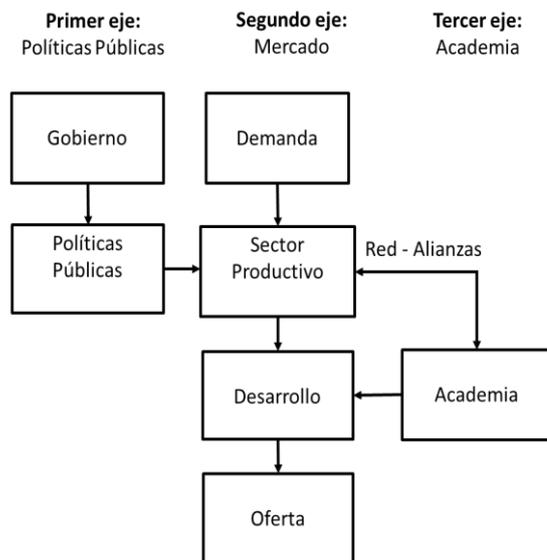


Figura 12. Modelo propuesto bajo el esquema de ecosistema inteligente

A continuación se describe cada uno de los ejes:

- **Política Pública:** la política pública crea una gran parte del poder innovador empresarial, por tanto la formulación de estrategias y políticas públicas procedentes del gobierno es una condición fundamental para el desarrollo de la industria.
- **Mercado:** el mercado está constituido por la dinámica entre la oferta y la demanda a través del sector productivo. La demanda puede ser una empresa, instituciones educativas, o la sociedad civil en general. El sector productivo está constituido por proveedores, productores y distribuidores. La oferta son todos los productos y servicios dirigidos a la educación virtual, principalmente los contenidos digitales educativos.
- **Academia:** es la encargada de realimentar al sector productivo, y tiene la función principal de proveer conocimiento, investigación y recursos humanos, pero que además genera requerimientos de contenidos digitales y aporta en su desarrollo mediante alianzas estratégicas entre las universidades y el sector empresarial público-privado para crear ambientes de redes de colaboración.

2) **Procesos del modelo:** La producción de contenidos digitales educativos, precisamente se encuentra dentro del segundo eje del modelo, explicado en la sección anterior, y para crear la dinámica de mercado es necesario implementar algunos procesos como parte del modelo, los cuales se presentan en la Figura 13.

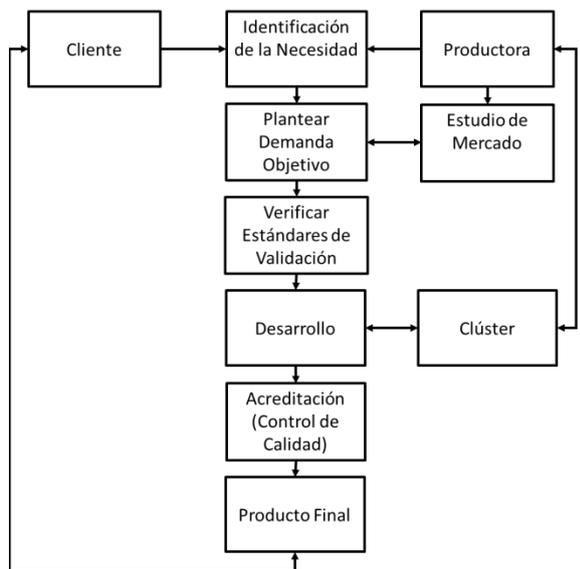


Figura 13. Procesos del modelo de producción

Seguidamente se describen los procesos que se implementan en la producción de contenidos educativos digitales y para el impulso de la industria:

- **Identificación de la Necesidad:** la identificación de la necesidad (requerimientos o problemas a solucionar) debe ser un análisis exhaustivo realizado por la productora y el cliente; para asegurar que el producto final sea el adecuado, el trabajo inicial será el más importante.
- **Estudio de Mercado:** también, se puede definir las necesidades a cubrir partiendo de un estudio de mercado que además ayudará a conocer a la demanda, los recursos disponibles, empresas, proveedores y sobre todo las oportunidades de mercado.
- **Plantear Demanda Objetivo:** Para definir los tipos de recursos digitales que se requiere producir se debe plantear la demanda objetivo, en base a la necesidad identificada o estudio de mercado, y caracterizarla considerando factores como: grupo etario, factores culturales y lingüísticos, formas de interacción de esta población con los contenidos digitales en Internet, niveles de enseñanza al que se dirige (primaria, secundaria, universidad, o capacitación de empresas), modelos educativos, aspectos curriculares, estrategias institucionales de los centros educativos, métodos de estudio utilizados, uso y apropiación de las TIC de los estudiantes, hábitos de estudio, estilos de aprendizaje, plataformas de educación virtual utilizadas, entre otros aspectos.
- **Estándares de Validación:** En base a la demanda objetivo se deberá verificar los estándares técnicos y pedagógicos, que se crearán como parte de la política pública.

- **Desarrollo:** acorde a la propuesta de política detallada anteriormente, para la producción de contenidos educativos digitales, se propone establecer un clúster industrial de desarrollo. Para determinar la estructura del clúster, se debe identificar a cada uno de los actores que intervienen en la cadena de valor de la producción de contenidos digitales educativos y a las industrias relacionadas. En la Figura 14 se ilustra una propuesta posible de estructura del clúster para producción de contenidos.

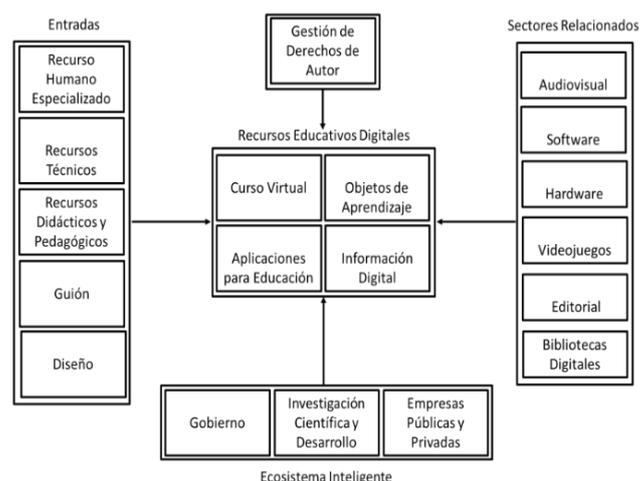


Figura 14. Clúster de Desarrollo

- **Control de Calidad:** Al existir estándares y criterios de calidad para los contenidos digitales educativos, una consecuencia inmediata es un proceso de acreditación, que al igual que en la educación presencial, garantice la calidad técnica y pedagógica de la educación virtual sobre todo en la producción de contenido para cursos en línea, lo cual impactará directamente en el aumento de demanda ya que se mejoraría la percepción de lo virtual frente a lo presencial. Para el efecto se considera el modelo denominado “Demand-Driven Learning Model”⁵.
- **Producto Final:** una vez concluidos los procesos anteriores se obtendrá el producto final que será implementado en las plataformas del cliente. Para mejorar este producto, se recomienda establecer un proceso de retroalimentación desde los usuarios, como por ejemplo a través del modelo DeLone and McLean⁶, que permite establecer un seguimiento más cercano del producto elaborado. Es decir, lo que se necesita es crear una interacción directa entre usuario y productor.

⁵ Modelo que permite medir la calidad de la educación en línea (e-learning), en base a cinco factores que son: estructura contenido, distribución, servicio y resultado [7].

⁶ Modelo ampliamente utilizado para evaluar el éxito de los sistemas de información en general, relacionando seis dimensiones críticas que son: calidad de la información, calidad del sistema, calidad del servicio, utilización del sistema, satisfacción del usuario y beneficios netos del sistema [8].

III. RESULTADOS

Puesto que el modelo propuesto aún no ha sido implementado, es difícil estimar cuánto costaría producir un contenido digital educativo, además el costo variará en función del tipo de contenido, duración, cantidad requerida, nivel educativo al que se dirige, currículo, entre otros aspectos. En base a la Figura 12, se presentan algunos costos referenciales asociados a la producción de los recursos educativos digitales: Cursos Virtuales, Aplicaciones Educativas, Objetos de Aprendizaje e Información Digital (Tabla 1).

Tabla 1. Costos de recursos digitales [9]

Recurso Digital		Costos USD	Horas de Trabajo
Curso Virtual		15.000 – 30.000	40 – 80
Objeto de aprendizaje		10.000 – 15.000 ⁷	5
Aplicaciones		35.000	40
Información digital	Video profesional	1.000 – 3.000 (minuto terminado)	-
	Audio profesional	25 – 150 (por minuto)	

Los costos referenciales presentados son altos porque son calculados en base a producciones realizadas en Estados Unidos, país en el que los costos de la mano de obra son elevados en relación a lo que costaría en Ecuador; no obstante, proporcionan una buena referencia para evaluar cuáles recursos digitales tendrían menor costo de producción.

De acuerdo a la información presentada, producir objetos de aprendizaje abarata los costos de producción de cursos virtuales (50%) y es más práctico porque en base a ellos se puede estructurar cursos de manera más eficiente. En consecuencia para fomentar el consumo de contenidos digitales educativos se recomienda producir objetos de aprendizaje, a través de los cuales se puede alcanzar un equilibrio técnico y económico de producción.

IV. CONCLUSIONES

- Del análisis de mercado de contenidos digitales educativos realizado, se evidencia que la oferta comercial de contenidos digitales educativos es casi nula, de acuerdo a la categorización de las Superintendencia de Compañías y Valores del Ecuador, porque las actividades centrales de las empresas que se encuentran dentro del sector de educación, son mayoritariamente el desarrollo de servicios de administración para instituciones y centros de educación formal, y la estructuración de programas de capacitación; más no es la creación, producción o distribución de contenidos educativos digitales. Además, se evidencia la ausencia de empresas que proporcionen soluciones de educación electrónica (e-learning) o proveedores de servicios virtuales.

- Del análisis de la demanda se determina que el porcentaje de personas que tienen un nivel de instrucción de pregrado y postgrado, a nivel nacional, es muy baja; por lo que se debe impulsar el aprendizaje en línea a través de Internet, como una herramienta estratégica para la masificación del acceso a la educación, y de ayuda para mejorar los índices de instrucción superior; porque la educación virtual permite romper las barreras de tiempo y espacio que limitan a las personas a tomar una carrera universitaria, además de la consecuente reducción de costos en los que se incurre en la educación presencial, inherentes a: materiales, logística, transporte, espacio físico, etc.

- El modelo propuesto integra los factores y actores en el proceso de la producción de contenidos educativos digitales, a través de la implementación de un clúster industrial que abarata los costos de producción, porque al estar las empresas concentradas geográficamente interactuando entre sí, con el sistema educativo, y con las instituciones públicas, se optimiza recursos humanos, técnicos y económicos para generar servicios especializados de alta calidad.

- El modelo propuesto establece que se debe innovar el proceso de enseñanza-aprendizaje, adoptando esquemas pedagógicos que permitan la producción de conocimiento precisamente para el desarrollo de la Sociedad de la Información y el Conocimiento. Esto bajaría los costos de los cursos o programas virtuales que en la actualidad son realizados por un tutor con gran trayectoria académica que dirige dichos cursos, aun cuando los contenidos digitales son textos digitalizados sin ninguna relevancia pedagógica importante, lo cual impacta negativamente en la satisfacción del estudiante

- De acuerdo a la encuesta realizada, las dos condiciones principales que limitan la adopción de educación virtual, y por ende el desarrollo de contenidos digitales educativos, son las siguientes: la percepción de menor calidad de lo virtual frente a lo presencial, y la inseguridad en el uso de las plataformas online para realizar transacciones financieras; razón por la cual, se plantea un modelo de producción de contenidos que considera la implementación de estándares de calidad, tanto técnicos como pedagógicos, y que busca la integración de los actores de la industria, bajo el paradigma de un ecosistema inteligente, que contribuye a la construcción de procesos coordinados y colaborativos para el crecimiento sostenible de un mercado en el que existe mucho camino por recorrer.

REFERENCIAS

- [1] Pricewaterhouse Coopers S.L – PWC. (2012). Global Entertainment and Media Outlook: 2012-2016.
- [2] Docebo S.p.A. (March 2014). E-Learning Market Trends & Forecast 2014 – 2016: A report by Docebo.

⁷ Costo de un curso virtual en base a objetos de aprendizaje.

- [3] Organization for Economic Co-operation and Development – OECD. (2012). Internet Economy Outlook, 2012 - 2016.
- [4] Directorios de portales web,
<http://www.publicidad.enlinea.ec/>
(Consultado enero de 2013).
- [5] Top Sites in Ecuador,
<http://www.alexa.com/topsites/countries/EC>
(Consultado enero de 2013).
- [6] Listado de Universidades y Escuelas Politécnicas a Nivel Nacional
<http://www.senescyt.gob.ec/UNIVERSIDADES.pdf>
f. (Consultado agosto de 2014).
- [7] Portal de Información de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros,
http://appscvs.supercias.gob.ec/portalInformacion/sector_societario.zul (Consultado agosto 2014).
- [8] McGorry, S. (2003). Measuring quality in online programs. The Internet and Higher Education.
- [9] Costos de aprendizaje e-learning
<http://www.nwlink.com/~donclark/hrd/costs.html>
(Consultado marzo de 2015).
- [10] Lee-Post, A. (2009). e-Learning Success Model: an Information Systems Perspective. Electronic Journal of e-Learning.
- [11] Fagerberg, J. and Godinho, M.M. (2005). Innovation and catching up. The Oxford Handbook of Innovation.
- [12] Plan Avanza 2. Plan de Impulso de la Industria de Contenidos Digitales 2011-2015.

Conceptualización de SDN y NFV

Conceptualization of SDN and NFV

Ramiro A. Ríos

Resumen—Frente a la creciente adopción de los servicios ofrecidos por computación en la nube y con el advenimiento del Internet de las cosas, así como la conexión de más y más dispositivos a la red, es necesario explorar las nuevas soluciones que se vienen planteando para disponer de plataformas tecnológicas más flexibles y de fácil expansión que soporten los actuales y nuevos servicios. La exploración de esas nuevas propuestas tecnológicas, necesariamente debe partir de sus fundamentos teóricos, razón por la cual en este documento se pretende clarificar en los lectores los conceptos de SDN y NFV, términos que a menudo se confunden. Para la conceptualización de estos dos términos, se han planteado tres preguntas directrices: ¿Qué significan SDN y NFV? ¿Por qué son necesarios SDN y NFV? y ¿Qué ventajas ofrecerían SDN y NFV para las redes de datos? Sus respuestas, basadas en un análisis selectivo de documentos relevantes, proporcionarán la información suficiente para comprender y diferenciar el ámbito de estos dos temas; y, ayudarán a identificar las características de la nueva arquitectura de redes que será implantada en el futuro próximo, en las redes de los operadores de telecomunicaciones, con la finalidad de hacer frente a los desafíos tecnológicos originados por el aumento de la demanda en los servicios de red.

Palabras clave: NFV, SDN, virtualización

Abstract—Due to the increasing demand of cloud computing services, along with the advent of the Internet of Things and the growing number of network connected devices, it becomes compulsory to explore different forthcoming solutions in order to have more flexible, easy-expandable technology platforms available and also capable of tolerating and supporting new and current services. Exploring these technological approaches must necessarily start off from theoretical foundations. Consequently, this document intent is to clarify the concepts of SDN and NFV, which are usually misinterpreted, among the readers. Three leading questions have been established in order to conceptualize these terms: What do SDN and NFV mean? Why are SDN and NFV necessary? What kind of advantages do SDN and NFV offer for data networking? The answers, based on selectively analyzing relevant documentation, will provide enough information to understand and distinguish the scopes of both terms. Additionally, clarifying these terms will aid in the effort to identify the features of a new network architecture, which might as well be implanted within mobile network operators. This new network architecture will be considered to face the technological challenges that resulted by the increasing demand of network services.

Keywords: NFV, SDN, virtualization

Ramiro A. Ríos is with Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Av. General Rumiñahui s/n, P.O.BOX:171-5-231B Ecuador
e-mail: rarios@espe.edu.ec

Manuscript received September 19, 2016; revised October 12, 2016.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente los proveedores de servicios tecnológicos buscan mantener a sus clientes satisfechos y leales, procurando responder apropiadamente, con sus plataformas tecnológicas, lo que los usuarios demandan de sus proveedores de telecomunicaciones: la calidad esperada de redes y servicios, y la posibilidad del lanzamiento, lo más rápido posible, de servicios solicitados.

Por otro lado, es importante reconocer que “La masividad de los dispositivos móviles, el nuevo contenido audiovisual, la virtualización de servidores y la integración de los servicios en la nube son algunas de las tendencias que están impulsando a la industria a repensar las arquitecturas tradicionales de red ...que fueron diseñadas basadas en una arquitectura jerárquica, que tiene sentido en un ambiente cliente- servidor, ... este tipo de arquitectura no se adapta bien a las necesidades dinámicas de las soluciones de cómputo y almacenamiento requeridas por los actuales Centros de Datos, en los que el patrón de tráfico ha cambiado de forma significativa, porque el acceso a las aplicaciones es diferente, las bases de datos y servidores están creando un fuerte tráfico de máquina a máquina (Este-Oeste) antes de enviarle la información al cliente final creando el conocido patrón (Norte-Sur). Al mismo tiempo, los usuarios están modificando el patrón de tráfico presionando para ingresar con cualquier tipo de dispositivo al contenido y a las aplicaciones de las empresas, conectándose a toda hora y desde cualquier lugar. Adicionalmente, muchos administradores de Centros de Datos están empezando a adoptar modelos de computación como Computación en la Nube, pensando en armado de nubes privadas, ya sea tomando recursos de una nube pública o trabajando en un mix entre privado y público. Como resultado de esto, surge un tráfico adicional sobre los vínculos WAN. Además, hoy el manejo de la Big Data o Mega Datasets requiere un procesamiento en paralelo de cientos de servidores y todos estos requieren estar conectados entre sí, ... lo que está constantemente demandando nuevos recursos en la red del Centro de datos.”[1]

La solución propuesta para cubrir las demandas citadas se encuentra enmarcada con el nombre genérico de redes inteligentes, y se fundamenta en SDN y NFV.

Este documento servirá para clarificar en los lectores los conceptos de SDN y NFV, y permitirá comprender que se tratan de términos con significados y connotaciones diferentes, desvaneciendo la confusión existente en algunas personas, tal como se declara en [2] “Para muchos, los dos términos son intercambiables, pero la realidad es que representan dos aspectos diferentes del futuro de las redes”; y en [3] “Cuando se habla de redes basadas en software, se confunde a menudo

entre NFV y SDN, dando lugar a un intercambio erróneo de los dos términos”.

La conceptualización de esos dos términos se inicia con el planteamiento de tres preguntas orientadoras: ¿Qué significan SDN y NFV? ¿Por qué son necesarios SDN y NFV? y ¿Qué ventajas ofrecerían SDN y NFV para las redes de datos?; las respuestas que nacen del análisis selectivo de los documentos relevantes que constan en las Referencias, brindan la información suficiente para comprender y diferenciar el ámbito de estos dos temas; y, ayudan a caracterizar una nueva arquitectura de redes cuyos beneficios serían costos reducidos de gestión y mantenimiento de red; aumento de las capacidades de servicio; y agilidad en el despliegue de servicios logrando un menor tiempo de comercialización de nuevos servicios para clientes finales.

II. MARCO TEÓRICO

Para conceptualizar SDN y NFV, es necesario comenzar presentando las definiciones de términos básicos relacionados con ellos, como son: virtualización, red virtual, y virtualización de red.

II-A. Virtualización

“La virtualización es la emulación transparente de un recurso de TI (los consumidores del recurso de TI no pueden hacer una distinción entre los recursos emulados y sus contrapartes físicas) que proporciona a sus consumidores beneficios que no estaban disponibles en su forma física.

La virtualización permite ejecutar múltiples máquinas virtuales sobre una única máquina física. Estas máquinas virtuales comparten los recursos físicos a través de múltiples ambientes.”[4]

II-B. Red virtual

“La red virtual encamina información entre las interfaces de red de las instancias VM (Máquina Virtual) y las interfaces de red físicas, proveyendo la conectividad necesaria.”[5]

II-C. Virtualización de Red (Network Virtualization)

Es la capacidad de simular en software una plataforma de hardware, en este caso un dispositivo de red, con la cual se “... proporcionan redes de extremo a extremo que se abstraen de los detalles de la red física subyacente de una manera similar a cómo la virtualización de servidores proporciona recursos informáticos que son abstraídos de los detalles de los servidores subyacentes basados en x86.” [6]

El hardware físico relativamente no cambia, pero el software computacional o “instancia virtual” reside en un servidor en otro lugar en la red. La ventaja es que una sola plataforma de hardware puede soportar múltiples dispositivos o máquinas virtuales, que son fáciles de activar o desactivar según sea necesario, consecuentemente una solución virtualizada sería más portátil, escalable y rentable que una solución tradicional basada hardware.

III. RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DIRECTRICES

III-A. ¿Qué significan SDN y NFV?

III-A1. SDN: Es la sigla de la denominación inglesa de Redes definidas por Software: Software Defined Networking. SDN significa la destrucción del paradigma de la red tradicional de datos que ha estado en gran medida centrada en hardware, requiriendo configuración dispositivo por dispositivo; y, de la arquitectura tradicional de los dispositivos de red, mostrado en la Figura 1(a), en el cual “... los controles están en el nivel de los elementos de red, y, por tanto, basados en sistemas propietarios desarrollados por los fabricantes de equipos” [7]; y, la propuesta de uno nuevo, representado en la Figura 1(b), en el que se “prevé una separación entre los planos de control (la inteligencia de un elemento de red, por ejemplo, el software responsable de definir los procesos de enrutamiento, políticas de seguridad, ingeniería de tráfico) y el plano de datos (responsable por realizar el encaminamiento de los paquetes, esto es, la base del envío de información); es decir, el principal cambio que trae es una alteración de la capa de red en la cual se controla el tráfico, que pasa a estar distribuida entre el hardware y la capa de software. Así, los elementos de red pasan a ser responsables, tan solo del encaminamiento físico de los paquetes, en tanto que todo el control del enrutamiento es ejecutado por medio de software, en una capa superior”[7].

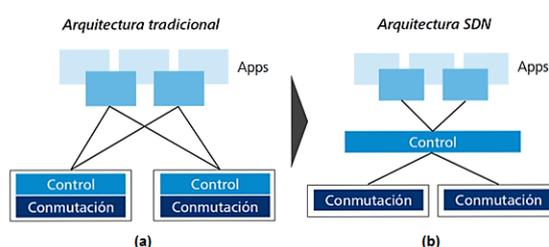


Figura 1. Desacoplamiento de la capa de control y datos - Fuente: [8]

Con este nuevo modelo, se esperan obtener “... redes menos complejas y al mismo tiempo más flexibles, cuyas políticas de tráfico puedan ser redefinidas rápidamente en la capa de control conforme surjan las demandas de negocios, sin la necesidad de la configuración de cada switch y enrutador individualmente. Se hace factible la interacción de los aplicativos con los elementos de red, permitiendo que el comportamiento de la infraestructura se defina automáticamente con base en la aplicación.

La Open Networking Foundation (ONF) define SDN de la siguiente forma: “Software-Defined Networking (SDN) es una arquitectura emergente que es dinámica, manejable, rentable y adaptable, haciéndola ideal para la naturaleza de banda ancha dinámica de las aplicaciones actuales. Esta arquitectura desvincula las funciones de control y reenvío de la red, permitiendo al control de la red hacerse programable directamente y quedando abstraída la infraestructura subyacente para las aplicaciones y los servicios de red.”[9]

Por tanto, se crea el concepto de redes programables. A partir de esa arquitectura, los elementos de red (routers,

switches, firewall, etc.) pasan a tener APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) en su sistema operativo que crearán la posibilidad de que las aplicaciones no desarrolladas por los fabricantes de hardware interactúen con el plano de control del sistema, tomando decisiones de ingeniería de tráfico basados en patrones no usuales, como temperatura, costo del enlace, consumo de energía, entre otros.”[7]

Y así, “en el contexto de SDN la frase virtualización de red se refiere a la creación de redes virtuales, lógicas que son desvinculadas del hardware de red subyacente y que pueden ser controladas mediante programación.”[9]

III-A.2. NFV: Es la sigla de la denominación inglesa de Virtualización de Funciones de Red: Network Functions Virtualization, concepto que cobró impulso en 2012, cuando un grupo de 13 operadores de telecomunicaciones de todo el mundo escribió un informe que fue publicado por el European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

“NFV introduce una serie de diferencias en la forma en que se realiza la provisión de servicios de red en comparación con la práctica actual en redes no virtualizadas, en las que las NFs¹ son implementadas como una combinación de software y hardware específico de proveedor, a menudo referido como nodos de la red o elementos de red.”[10] El modelo de red actual se muestra en la Figura No. 2(a).

“NFV está orientada a desacoplar las funciones de la red del hardware subyacente.”[11]. “Se trata de la implementación en software de las funciones de red, que se puede ejecutar sobre una amplia gama de hardware estándar de la industria de servidores, y que se puede mover a, o instanciar en, varios lugares de la red como se requieran, sin la necesidad de la instalación de nuevos equipos. La premisa básica de la virtualización de las funciones de red es la migración de estas funciones de hardware dedicado hacia dispositivos genéricos - como servidores x86 comunes - y la concentración de diferentes funciones en un dispositivo único versátil.”[12] La nueva propuesta que trae NFV se esquematiza en la Figura No. 2(b).

Con NFV es posible que las funciones de red virtualizadas - VNF (Virtualised Network Function)², se instalen en distintos puntos de la red, de acuerdo con la criticidad y los requisitos de rendimiento exigidos por las aplicaciones del cliente y según la conveniencia del proveedor de servicios”[5]

Los beneficios que acarrea el desacoplamiento del software respecto al hardware propuesto en NFV, sintetizando a [10], son:

1. Las evoluciones del hardware y software son independientes uno de otro. Esto le permite progresar al software por separado del hardware, y viceversa.
2. Ayuda a reasignar y compartir los recursos de infraestructura, por lo que juntos, el hardware y el software, pueden desempeñar diferentes funciones en diversos mo-

¹Network Function (NF) - Función de red (NF): Según [5], bloque funcional dentro de una infraestructura de red que tiene interfaces externas bien definidas y comportamiento funcional bien definido.

²Virtualised Network Function (VNF): Función de red virtualizada (VNF): Según [5], aplicación de una NF que se puede implementar en una Infraestructura de virtualización de funciones de red (NFVI).

mentos. Suponiendo que el conjunto de hardware o de recursos físicos ya está en marcha e instalado en algunos NFVI-PoPs³, la instanciación de software de la función de red actual puede llegar a ser más automatizada. Dicha automatización aprovecha las diferentes tecnologías de nube y de red disponibles en la actualidad. Además, esto ayuda a los operadores de redes a desplegar nuevos servicios de red más rápido sobre la misma plataforma física.

3. El desacoplamiento de la funcionalidad de la función de red en componentes de software instanciables proporciona una mayor flexibilidad para escalar el rendimiento real de VNF de una manera más dinámica y con granularidad más fina, por ejemplo, de acuerdo con el tráfico real para el cual el operador de red necesita capacidad de provisión.

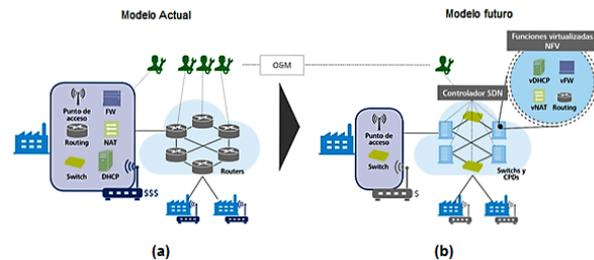


Figura 2. Evolución del modelo de red hacia SDN-NFV - Fuente [8]

III-B. ¿Por qué son necesarios SDN y NFV?

Son numerosas las razones, tanto de índole técnico como de índole económico, que hacen de SDN y NFV tecnologías atractivas para las nuevas arquitecturas de redes de los operadores de telecomunicaciones y tecnologías de información, entre las que se destacan las siguientes:

1. El nuevo escenario que se aproxima rápidamente, planteado por la gran transformación que está viviendo el mercado de telecomunicaciones y la tecnología de información, caracterizada por el crecimiento explosivo del uso de dispositivos móviles, la adopción cada vez más frecuente de la computación en la nube, y el Internet de las cosas (IoT Internet of Things); demanda de arquitecturas de redes ágilmente escalables que no son ofrecidas por el paradigma actual, con el cual se ha alcanzado alta robustez de la arquitectura de las redes disponibles. [7] [12]

Así por ejemplo, una de las fuentes de presión sobre las organizaciones de networking para ser más eficientes y ágiles, es la adopción generalizada de virtualización de servidores. Como parte de la virtualización de servidores, las máquinas virtuales (VMs) se mueven dinámicamente entre servidores en cuestión de segundos o minutos. Sin embargo, si el movimiento de una

³NFVI-PoP - NFV Infrastructure Point of Presence: Según [5], N-PoP donde una función de red es o podría ser desplegada como función de red virtual (VNF).

VM cruza un límite de capa 3, puede tardarse varios días en reconfigurar la red con enfoque tradicional de networking, para dar soporte a la máquina virtual en su nueva ubicación; es por eso que se dice que dicha red no es lo suficientemente ágil, es relativamente estática como para reprogramarse, reconfigurarse y reajustarse a los nuevos despliegues, y tiene relativamente un alto nivel de gastos de operación (OPEX).[6]

Otro ejemplo de la necesidad de mejorar la agilidad de la red se tiene en la concepción de que “las aplicaciones no son solo software. Las aplicaciones dependen de los servidores y de la interacción entre los servidores y la red de suministro. Cuando se implementan nuevas aplicaciones o se mueven servidores virtuales o aplicaciones dinámicas ponen en marcha nuevas instancias, las redes deben responder inmediatamente y proporcionar el tipo de conectividad adecuado.”[9]

2. Lo complejo y desafiante que representa para los operadores de redes activar y desactivar servicios de una manera rápida, ante una demanda en aumento, gran diversidad de servicios y complejidad cada vez mayor de las infraestructuras. [11]
3. La reducción de Gastos de capital [13] (CAPEX⁴) debido a:
 - a) La reducción de los costes de hardware por el uso de servidores comerciales que pueden ser ofrecidos por una amplia variedad de proveedores, incrementada por la competencia en el mercado por el aumento del volumen de la demanda de este tipo de equipos.
 - b) La eliminación de la prima que las organizaciones podrían estar pagando a los vendedores de hardware propietario especializado en ejecutar las funciones de red, a causa de la implementación en software de los servicios de red.
 - c) La supresión de la necesidad de las organizaciones de comprar y almacenar repuestos para mantener un equipo especializado costoso; tomando en cuenta que en un ambiente SDN - NFV, una sola arquitectura de servidor común puede ser usada para construir en las organizaciones la redundancia y disponibilidad que se requiera dentro de su entorno de centro de datos, así, en el caso de un fallo, la infraestructura virtualizada compartida simplemente puede mover cargas de trabajo para asegurar la capacidad y el rendimiento en curso.
 - d) La capacidad de utilizar una infraestructura compartida desde proveedor(es) en la nube para ejecutar las funciones requeridas por una organización convierte el gasto de capital en un operativo para incrementar la eficiencia del capital. Al alquilar en vez de comprar el equipo directamente, las organizaciones pueden aprovechar las ventajas de

⁴CAPEX Capital Expenditure (Gasto de Capital): Coste asociado a la compra de algo que se convertirá en un Activo financiero (por ejemplo: diseño, desarrollo, adquisición, instalación, entrenamiento staff, manuales, documentación, herramientas y facilidades para mantenimiento, repuestos de aseguramiento).

los modelos de pago por uso como se crece y evitar un excesivo, costoso y despilfarrador aprovisionamiento.

- e) Un beneficio adicional de la utilización de hardware comercial menos costoso, consiste en que una organización puede potencialmente tener ciclos de cambio de hardware más cortos para mejorar el rendimiento global de la red. Al actualizar la red cada 2 a 3 años, en lugar de la tradicional 5 a 7, una organización puede seguir abordando eficazmente las cambiantes demandas en su red e incrementando el valor captado durante la vida útil de esos servidores.
4. La reducción de Gastos operacionales [13] (OPEX⁵) a consecuencia de:
 - a) La eliminación de la necesidad de implementar, administrar y mantener hardware especializado para funciones especializadas, en razón de que el Software permite a las organizaciones moverse con rapidez y facilidad, y escalar la funcionalidad para hacer frente a las necesidades cambiantes y maximizar la utilidad del hardware básico. Un solo servidor puede ser utilizado para proporcionar una variedad de capacidades.
 - b) La reducción en los costos de espacio, energía y refrigeración que las organizaciones pueden tener con el uso de un hardware más eficiente, estandarizado, que a menudo aprovecha las técnicas perfeccionadas por los proveedores de servicios en la nube para sus centros de datos masivos, y que agiliza sus operaciones.
 - c) La simplificación y mayor flexibilidad del despliegue, y la menor complejidad en la gestión que las funciones virtuales proporcionan a las organizaciones a través de hardware y software estandarizados, permiten rápida y fácilmente desplegar plantillas y procedimientos de automatización y de operación para mover o redistribuir funcionalidad ágilmente a lo largo de la organización.
 5. Acelera la prestación de servicios y en consecuencia la salida al mercado [13], en virtud de que:
 - a) Las funciones virtualizadas se pueden instalar y suministrar fácilmente para permitir a una organización desplegar rápidamente servicios cuando y donde más se necesitan.
 - b) Las funciones virtualizadas son propicias para permitir a las organizaciones probar nuevos servicios, sin incurrir en mucho riesgo. Frameworks estandarizados y la capacidad de recuperación dinámica de fallas utilizando un framework de orquestación permite a las organizaciones reducir drásticamente el riesgo de la implementación de nuevos productos de los vendedores. Los bajos costes y la flexibilidad de poder mover y escalar la funcionalidad, según

⁵OPEX - Operational expenditure (Gastos operacionales): costos operacionales del activo (por ejemplo: mano de obra, operaciones, mantenimiento, almacenamiento, contrataciones, penalizaciones).

sea necesario, impulsa la innovación de servicios. Pruebas de Conceptos y ensayos se pueden ejecutar más rápido en ambientes de menor escala; se puede activar el prototipado de “falla rápida”, por lo que la organización puede ajustar y afinar sus ofertas para tener confianza en los despliegues a gran escala.

- c) La capacidad de ejecutar servicios virtuales en la parte superior de las capas físicas de las redes significa que las organizaciones no tienen que incurrir en tiempo o costes de actualizar sus sistemas existentes para agregar nuevos servicios.

6. Agilidad y flexibilidad para atender los requerimientos de los clientes [13]:

- a) Debido a que las organizaciones no tienen que amortizar el costo de equipos costosos o manejar adquisiciones de bienes de capital, se puede rápida y fácilmente abordar las demandas de los clientes. Ahora, se pueden suministrar un par de servidores para ofrecer servicios que se utilizarán una sola vez o por un corto plazo.
- b) La capacidad de reducir, mover, escalar y configurar servicios con facilidad, conforme las demandas de los clientes o los cambios del negocio, ofrece a las organizaciones la capacidad de crear servicios en cualquier parte del mundo y a cualquier hora.

III-C. ¿Qué ventajas ofrecerían SDN y NFV para las redes de datos?

Resumiendo lo citado en [7] y [12]:

1. Identifican una nueva arquitectura de redes, con estándares abiertos, considerada significativamente menos compleja, más flexible, más eficiente y potencialmente más barata, propuesta por los diferentes actores del sector de telecomunicaciones y la tecnología de información: fabricantes, investigadores y entidades de estandarización.
2. Mejoran el rendimiento, simplifican la compatibilidad, y también facilitan los procedimientos de operación y mantenimiento de la red, ya sea virtual o no, cuando esos dos conceptos complementarios, sin ninguna relación de dependencia, se combinan.
3. NFV:
 - Brinda más agilidad, versatilidad y elasticidad a las redes de datos.
 - Conceptualmente, reduce el costo total de propiedad y los costos operativos relacionados a la implementación, gestión y mantenimiento de la infraestructura de la red.
4. Según [11]:
 - Las redes definidas por software (SDN):
 - a) Son fundamentalmente una manera de simplificar las redes.
 - b) Brindan a los operadores de redes un control centralizado más flexible y aparentemente más receptivo del tráfico de la red a través de una red programable, por la abstracción del control de los reenvíos.

■ La Virtualización de Funciones de Red (NFV):

- a) Facilita opciones de implementación más flexibles y optimizadas, y un control más dinámico.
- b) Genera gran expectativa respecto de la Optimización de la red, el dinamismo del servicio y los ahorros operativos y de capital, por el concepto de administración de los servicios de la red con una respuesta más rápida a las demandas.

5. En [13] se asegura:

- a) NFV es complementaria a SDN, trabajando juntas mejoran la capacidad de gestión global de la red.
- b) NFV y SDN tienen ligeramente diferentes objetivos y se basan en diferentes métodos para alcanzarlos. SDN separa los esquemas de control y reenvío (forwarding) para ofrecer una visión centralizada de la red, mientras que NFV se centra principalmente en la optimización de los propios servicios de red.
- c) La tecnología SDN permite el encaminamiento flexible del tráfico dentro de una infraestructura, NFV mejora la eficiencia y maximiza la agilidad global de la red.
- d) Las arquitecturas NFV habilitan funciones de red que se definen de forma dinámica, permitiendo la construcción y gestión de la(s) función(es) que mejor soporta(n) el entorno de la organización. Las funciones de red virtualizadas (VNFs) pueden ser implementadas y reasignadas para compartir diferentes recursos de la infraestructura física y virtual para adaptarse a los requerimientos de crecimiento, rendimiento y capacidad de una organización. Esto hace que sea fácil para los proveedores de servicios y empresas desplegar más rápidamente nuevos servicios, al tiempo que maximiza sus inversiones en las plataformas existentes
- e) NFV desacopla servicios de red desde el hardware que los distribuye. Como resultado, las funciones, tales como la Network Address Translation (NAT), firewalls, detección de intrusiones, servicio de nombres de dominio (DNS) y el almacenamiento en caché, se pueden generar en software e implementarse en dispositivos de uso general. Esto les da a las organizaciones mucha más flexibilidad en la forma de diseñar, implementar y administrar sus servicios de red.

IV. DISCUSIÓN

1. Las redes actuales de los operadores de red están pobladas con una amplia y creciente variedad de dispositivos de hardware propietarios, lo que conlleva una serie de aspectos adversos al querer poner en marcha un nuevo servicio de red, tales como:
 - a) Necesidad de encontrar espacio y energía para dar cabida a otra variedad de equipos propietarios, lo que cada vez es más difícil; agravada por los crecientes costos de la energía.

- b) Se requieren habilidades especiales para diseñar, integrar y operar equipos basados en hardware cada vez más complejo.
 - c) Los equipos basados en hardware alcanzan rápidamente el final de la vida útil, por lo que es necesario que el ciclo de planeación-diseño-integración-implementación se produzca con mayor frecuencia, con poco o ningún beneficio de ingresos.
 - d) Los ciclos de vida de hardware son cada vez más cortos ya que la innovación de la tecnología y los servicios se aceleran, impidiendo la implantación de nuevos servicios de red que generen ingresos, y limitando la innovación en un mundo cada vez más conectado por las redes.
2. NFV y SDN representan un cambio de paradigma en la creación de redes, representa un paso adelante para los diversos grupos de interés en el entorno de red de telecomunicaciones, apunta a transformar la manera en que los operadores de red estructuran redes.
 3. Este nuevo paradigma se fundamenta en la evolución de la tecnología de virtualización de TI estándar, mediante la cual se consolidan muchos tipos de equipos de red sobre una industria estándar de gran cantidad de servidores, switches y almacenamiento, los cuales estarían localizados en centros de datos, nodos de red y en las instalaciones del usuario final.
 4. La Virtualización de las Funciones de Red plantea grandes desafíos tecnológicos que deberán ser atendidos conforme se van migrando las funciones de red actuales hacia la nube NFV, tales como:
 - a) Desafíos de escalabilidad: Se estima que cientos de miles de dispositivos virtualizados necesitan ser soportados. Una sencilla implementación asignando una máquina virtual por dispositivo requeriría una enorme cantidad de recursos de la nube.
 - b) El reto de mantener la noción de cliente, cuando las funcionalidades que le corresponden están dispersas a través de diferentes grupos de servidores.
 - c) El desafío de que las funcionalidades requeridas por el cliente sean instanciadas coherentemente sobre una base bajo demanda y en diferentes grupos de servidores.
 - d) Protección del flujo de contenido que sea emitido por un servicio desde la red, a través de cifrado, por cada cliente.
 - e) Garantía de la existencia de un aislamiento completo entre los clientes.
 - f) La necesidad de una capacidad de procesamiento significativa de la Infraestructura NFV.

V. CONCLUSIÓN

Ha quedado evidenciado que SDN y NFV son dos conceptos diferentes, que definen un nuevo paradigma, que se complementan para ofrecer a los operadores de servicios de telecomunicaciones y tecnologías de información, grandes ventajas frente al modelo actual. Desde un punto de vista tecnológico, dan la alternativa de disponer arquitecturas de

redes ágiles en su despliegue, crecimiento y gestión, con las cuales se puede enfrentar con éxito el nuevo escenario de demanda de servicios y acceso de múltiples equipos de usuario final; y desde el punto de vista económico, atractivos ahorros de recursos monetarios relacionados con la energía consumida, los espacios requeridos para la infraestructura, los costes de adquisición de equipos y más. Sin embargo, aún existen desafíos que deberán ser solventados, como son la escalabilidad, el manejo de la noción de cliente, y principalmente aquellos relacionados con la seguridad de los datos sensibles que manejan las organizaciones, cuando se contraten servicios de nubes públicas para la implantación de estas nuevas tecnologías.

REFERENCIAS

- [1] C. Spera, "Software Defined Network: el futuro de las arquitecturas de red," *Logicalis Now*, pp. 42–45, 2013. [Online]. Available: <http://www.la.logicalis.com/globalassets/latin-america/logicalisnow/revista-20/lnow20-nota-42-45.pdf>
- [2] I. Brocade Communications Systems, "NFV AND SDN ARE NOT THE SAME . HERE ' S WHY ." 2014. [Online]. Available: <https://www.brocade.com/content/dam/common/documents/content-types/whitepaper/brocade-sdn-nfv-defined-wp.pdf>
- [3] Y. Gittik, "White Paper Distributed Network Functions Virtualization An Introduction to D-NFV," no. March, 2014. [Online]. Available: <http://crezer.net/Newsletter/archivos/Distributed-NFV-White-Paper.pdf>
- [4] G. A. A. Santana, *Data Center Virtualization Fundamentals*. Indianapolis: Cisco Press, 2014.
- [5] ETSI European Telecommunications Standards Institute, "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework," vol. 1, pp. 1–21, 2013.
- [6] Citrix.es, "SDN 101 : Introducción a Software Defined Networking," 2014. [Online]. Available: https://www.citrix.com/content/dam/citrix/en_us/documents/oth/sdn-101-an-introduction-to-software-defined-networking-es.pdf
- [7] PromonLogicalis, "Como o novo universo trazido pelas redes definidas por software ira impactar os negócios," 2013. [Online]. Available: http://www.br.promonlogicalis.com/globalassets/latin-america/advisor-sdn_websafe.pdf
- [8] Deloitte, "Predicciones de Tecnología, Medios de Comunicación y Telecomunicaciones 2015," 2015. [Online]. Available: http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/tecnologia-media-telecomunicaciones/Deloitte_ES_TMT_Predicciones-2015.pdf
- [9] Citrix.es, "SDN 102 : Software Defined Networks y el papel de los servicios de red en la entrega de aplicaciones," 2015. [Online]. Available: https://www.citrix.com/content/dam/citrix/en_us/documents/products-solutions/sdn-102-software-defined-networks-and-the-role-of-application%2ddelivery-network-services-es.pdf
- [10] ETSI European Telecommunications Standards Institute, "GS NFV 002 - V1.2.1 - Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework," vol. 1, pp. 1–21, 2014. [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf
- [11] Cisco, "Can Software-Defined Networking (SDN) Enhance Operator Monetization ?" pp. 2013–2015, 2014.
- [12] PromonLogicalis, "NFV: Los beneficios y los desafíos que acompañan el proceso de virtualización de funciones de red.pdf," 2014. [Online]. Available: <http://www.br.promonlogicalis.com/globalassets/latin-america/advisors/pt/advisor-nfv---final---cuadros.pdf>
- [13] SDN Central LLC, *SDx Central Network Functions Virtualization Report*, 2015. [Online]. Available: <https://www.sdxcentral.com/wp-content/uploads/2015/04/SDxCentral-NFV-Report-2015-A.pdf>

Estado del Arte en la detección de intrusiones en las redes 802.11i

The state of the art in intrusion detection in 802.11i networks

Carlos G. Romero, Luis A. Balseca, Fabián Sáenz, Javier Díaz

Resumen— En este artículo se presenta un análisis de los diversos mecanismos de seguridad existentes que agregan diferentes niveles de seguridad en las redes inalámbricas. Así también se describe una herramienta altamente empleada para la detección de intrusiones de red, los llamados sistemas de detección de intrusos inalámbricos (WIDS), finalmente se recopila información significativa y actualizada para identificar las diferentes técnicas desarrolladas para la detección de intrusiones en redes 802.11.

Palabras Clave— Wifi, 802.11i, WIDS, detección de intrusiones, WPA2

Abstract— In this paper an analysis of existing security mechanisms that improve security levels in wireless networks is presented. A highly used device for detecting network intrusion, called detection systems wireless intruders (WIDS) is also described, finally, meaningful and updated information is presented to identify different techniques developed for intrusion detection 802.11.

Index Terms— Wifi, 802.11i, WIDS, Intrusion Detection, WPA2

I. INTRODUCCIÓN

Con el amplio y rápido despliegue de las redes y de los dispositivos inalámbricos, han ido en aumento los retos concernientes a su seguridad. Con el anexo 802.11i de la IEEE [1], publicado en el año 2004, se lograron solventar en gran medida algunos problemas de seguridad en el ámbito de la confidencialidad y la integridad, pero los problemas asociados a la disponibilidad aún no han sido investigados con profundidad [2][3]. Adicionalmente, aparecen nuevas vulnerabilidades inherentes a la operación y la implementación de este estándar [4] [5], las cuales dan a lugar a posibles nuevos ataques.

El uso de IEEE802.11i RSN (*Robust Secure Network*) conlleva significativas mejoras en seguridad (Xing, Shakshuki, Benoit, & Sheltami, 2008) y el empleo de CCMP (*Counter Mode with Cipher Block Chaining MAC Protocol*) agrega confidencialidad e integridad a la comunicación,

Carlos G. Romero, Luis A. Balseca, Fabián Sáenz are with Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Av. General Rumiñahui s/n, 171-5-231B Ecuador. Javier Díaz is with Universidad Nacional de la Plata UNLP La Plata.

acompañado de 802.1x [7], permite la autenticación mutua entre el AP (*Access Point*) y la STA (*Station*).

Desafortunadamente, este estándar no ofrece protección a las tareas para la operación de la red que utilizan las tramas de control y de gestión, y no trata el tema de la disponibilidad para ninguno de los tres tipos de tramas (control, gestión y datos). Debido a que la información contenida en los paquetes de gestión y de control de la capa de enlace de datos o capa MAC (*Medium Access Control*) no está encriptada [1], se puede extraer y explotar la información de los protocolos y sus implementaciones para provocar ataques a la disponibilidad [8] [5], y al funcionamiento de la red.

II. DETECCIÓN DE INTRUSIONES

A través del análisis del tráfico de la red se pueden detectar posibles ataques, especialmente aquellos que buscan alterar la disponibilidad de la información y de los servicios, para lo cual se han desarrollado herramientas de software y hardware llamadas Sistemas de Detección de Intrusiones (IDS). Estos sistemas pueden ser divididos en dos grandes categorías, dependiendo de la estrategia de análisis y detección de dichos eventos: los IDS basados en la detección de uso indebido y los basados en la detección de anomalías [9].

III. SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSIONES EN REDES 802.11

Un sistema inalámbrico de detección de intrusiones (WIDS) está basado en un conjunto de sensores y un núcleo que recibe toda la información proporcionada en todas las áreas de cobertura de los sensores inalámbricos.

A. Arquitectura

Un WIDS puede ser:

1. Centralizado

Basado en la combinación de sensores individuales los cuales recopilan y remiten todos los datos 802.11 a un analizador central, donde los datos son almacenados y procesados.

Ventajas.-

- Permite una fácil administración de protección a áreas grandes de redes 802.11. Expansiones a la red afectan solamente a él analizador.
- Permite una gran visión de lo que ocurre en todas las partes de la red 802.11.

Desventajas.-

- Si el analizador falla, los sensores se vuelven inútiles y toda la red queda sin la protección.

2. Distribuido

Suele incluir uno o más dispositivos que se encargan tanto de la recolección y procesamiento de la información de los IDS.

Ventajas.-

- No hay un solo punto de fallo

Desventajas.-

- El costo de sensores con alta capacidad de procesamiento puede llegar a ser exagerado cuando muchos sensores son requeridos.
- La administración de múltiples sensores de procesamiento de información puede ser más difícil que la de un modelo centralizado.
- Expansiones en la red provocará una reprogramación en todos los sensores.

IV. TÉCNICAS EN LA DETECCIÓN DE INTRUSIONES EN REDES 802.11

A. Detección de uso indebido

La estrategia más utilizada para la detección de intrusiones consiste en la detección de uso indebido (patrones) para reconocer ataques previamente conocidos. La mayoría de los IDS disponibles en el mercado son de este tipo [10], donde algunos de los más populares son SNORT [11] y BRO IDS [12]. Dentro de este grupo se pueden destacar investigaciones como [13], donde se expone un método para la selección de las características más relevantes de las tramas para la detección de intrusiones basada en patrones, en redes con el estándar 802.11. Además, se muestra cómo emplear un número muy grande de características puede conllevar a una degradación de la razón de detección del IDS. En [14] [15] se describe cómo a través de modelos de transición de estados se puede representar intrusiones específicas y los autores implementan una herramienta llamada STATS (*State Transition Analysis Tool*) para la detección de intrusiones. Sin embargo, la detección de uso indebido puede acarrear varios problemas como la incapacidad de detectar los ataques nuevos y sus variantes.

La detección de usos indebidos se puede implementar de las siguientes formas:

1. Firmas Simples

La detección de firmas compara los eventos que ocurren, con las cadenas o firmas almacenadas en una base de datos de escenarios de ataque en busca de coincidencias. Su principal inconveniente es la necesidad de desarrollar e incorporar a la base de datos una firma nueva para cada nuevo tipo de ataque o vulnerabilidad descubierta.

2. Análisis de Transición de Estados

Se crean a partir de la construcción de una máquina de estados finitos. Los escenarios de ataques se representan como una secuencia de transiciones que caracterizan la evolución del estado de seguridad de un sistema. Cuando el autómata alcanza un estado considerado como una intrusión, se lanza la alarma. Algunas ventajas son las siguientes:

- Las transiciones ofrecen una forma de identificar una serie de patrones que conforman un ataque.
- El diagrama de estados define la forma más sencilla posible de definir un ataque. Así, el motor de análisis puede utilizar variantes del mismo para identificar ataques similares.
- El sistema puede detectar ataques coordinados y lentos.

Sin embargo, presentan algunas desventajas:

- El lenguaje utilizado para describir los ataques es demasiado limitado, y en ocasiones puede resultar insuficiente para recrear ataques más complejos.
- El análisis de algunos estados puede requerir más datos del objetivo, por parte del motor. Esto reduce el rendimiento del sistema.

3. Sistemas Expertos

Los sistemas expertos tienen el conocimiento codificado mediante reglas de implicación (condición-acción) de tipo "if-then-else" para examinar los datos. Realizan análisis mediante funciones internas al sistema, de forma completamente transparente al usuario.

Una de las ventajas más importantes de utilizar reglas "if-then" es que mantiene separados el control de razonamiento y la formulación de la solución del problema.

La principal desventaja que se plantea es que los patrones no definen un orden secuencial de acciones.

B. Detección de Anomalías

Los IDS basados en anomalías, por otro lado, detectan desviaciones en el comportamiento esperado o normal de los sistemas y las redes, las cuales pudieran constituir intentos de ataques. Por tal motivo, los IDS basados en el descubrimiento de anomalías son potencialmente capaces de detectar los ataques existentes y los nuevos, sin la necesidad de ser pre-configurados o actualizados de ninguna manera [16].

Los eventos de interés para los IDS basados en anomalías pueden estar definidos de dos maneras: por modelos estadísticos y por modelos *specification-based* [17][18].

1. Modelos Estadísticos

Los modelos estadísticos hacen uso de variables o características para estimar el comportamiento de la red, pero necesitan de un periodo de entrenamiento para determinar cuál es el comportamiento esperado o normal de la red.

Dentro de este tipo se pueden destacar las investigaciones de [19] y [20], donde se proponen modelos que consideran la variación temporal de ciertos parámetros del tráfico para determinar el comportamiento de un posible atacante en la red, aunque no hacen uso de ningún parámetro de control o de gestión. En [19] los autores se enfocan en múltiples comportamientos no esperados en WLAN 802.11 pero ponen énfasis en la detección del parámetro de *backoff*. El algoritmo de detección calcula y estima un tiempo promedio de *backoff* y genera una alarma si la estimación es sospechosamente baja.

En [21] Rong *et.al.* realizan una aproximación estadística, usando SPRT (*Sequential Probability Ratio Test*) desarrollan un algoritmo para detectar estaciones fraudulentas que modifican sus tiempos de *backoff*. En [22] consideran el problema de un atacante que puede modificar su estrategia de intrusión (con inteligencia), por medio de la técnica “*min-max robust detection*”, basándose en un número requerido de observaciones para la decisión, lo cual introduce demoras.

2. Modelos basados en la especificación

La detección de intrusiones *specification-based* fue sugerida inicialmente por Ko [23] y más recientemente aplicada en [17] [24] [25]. Este método se basa en describir el comportamiento normal y expresarlo a manera de especificaciones. Las desviaciones a estas especificaciones son tratadas como un evento anormal, pudiéndose tratar de una intrusión. Una especificación puede estar basada en la transición de estados que puede ocurrir durante el comportamiento normal y/o por una expresión específica basada en políticas de seguridad previamente declaradas.

Sekar *et.al.*[17] proponen un IDS para redes cableadas basado en modelación de la máquina de estados de los protocolos, combinado con técnicas estadísticas. En [18] Gill basa su investigación en redes WLAN IEEE802.11 tipo infraestructura y se centra en el esquema RSN, no toma en cuenta pre-RSN (sin el esquema de autenticación de 4 vías de RSN) ni técnicas de respuesta y no se basa en modelos estadísticos o matemáticos para la detección. Proponen como trabajo futuro extraer los modelos de transición de estados de manera automática desde los datos de entrenamiento y desarrollar un extensible y comprensible lenguaje de especificación para incorporar los modelos de transición de estados en una especificación.

En [17] y [26] los autores realizan un análisis temporal de la máquina de estados de redes WLAN 802.11i para la detección de intrusiones, pero aplicado a ataques conocidos.

V. EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE IN WIDS

Dada la naturaleza de las redes inalámbricas, detectar intrusiones en WLAN 802.11 se convierte en un reto muy

grande porque tanto los APs y como las STAs en la red se comportan de manera no determinada, dependiendo el tráfico que envíe o reciba cada nodo, así como la interferencia en el medio debido al número de nodos conectados o a fallas en la transmisión. El WIDS debe poder detectar eventos que se desvíen del comportamiento normal y determinar si ese comportamiento inusual se debe a una posible intrusión o a la interferencia en el medio de comunicación. Adicionalmente, debe detectar ataques en los protocolos usados en la red inalámbrica, por lo cual necesita concentrarse en protocolos de la capa física y de enlace de datos para detectar potenciales ataques[27] [28][3].

Para evaluar el desempeño de los IDS se utilizan varios criterios, pero si se requiere determinar su efectividad de un modo cuantitativo se han definido los términos de falsos positivos y falsos negativos [9].

Los IDS tradicionales como Snort [11] y su solución comercial Sourcefire [29], RealSecure [30], Cisco Intrusion Detection System [31] o Dragon [32], analizan en los paquetes la información correspondiente a la capa 3 (capa de red) y superiores, a diferencia de los WIDS (*Wireless IDS*), que además utilizan la información de la capa de enlace de datos (capa MAC).

Dentro de los WIDS existentes en el mercado se pueden destacar AirDefense [33], AirTight [34] y algunos de tipo académico como Kismetwireless [35] o Widz [36] los cuales, además de los análisis tradicionales en capa 3 y superiores, integran ciertos filtros que utilizan información la capa MAC para detectar ataques específicos en WLAN como son los APs no autorizados, el *WarDriving*, y las inundaciones.

La limitación de este tipo de herramientas es que, al basarse en la detección de mal uso, no detectan ataques nuevos o desconocidos [37].

Hasta aquí se puede concluir que han sido realizadas varias investigaciones con respecto a métodos y técnicas para la detección de intrusiones en redes WLAN [38]. Utilizando estrategias de detección de usos indebidos y de anomalías o una mezcla de ambas, se logra cierta efectividad en la detección de ataques específicos, previamente conocidos, mostrando bajas tasas de falsos positivos, pero con una incapacidad clara en la detección de ataques nuevos o no conocidos.

Además, dentro del campo de la modelación del comportamiento normal en redes 802.11i para la detección de intrusiones y más específicamente, con los paquetes de gestión y control de la capa MAC, es poco el trabajo realizado [39] [40] [41].

Adicionalmente, de los modelos que estiman el comportamiento normal de una red WLAN utilizando alguno o algunos parámetros de paquetes de gestión y control de la capa MAC, no se han obtenido resultados concluyentes. Ataques de denegación de servicios que afectan a la disponibilidad de las redes y los sistemas son todavía muy difíciles de detectar por los sistemas existentes.

Se ha identificado que para la detección de intrusiones en entornos inalámbricos, se requiere el uso de información de la capa MAC [13] [27] [28].

Por estas razones se hace necesario encontrar una solución científica mediante la cual se pueda estimar el comportamiento normal y anómalo en una red WLAN, en presencia o no de interferencia, utilizando los parámetros de paquetes de control y de gestión de la capa MAC, logrando detectar los ataques nuevos y los conocidos, y reducir el número de falsos positivos y negativos, permitiendo mejorar la efectividad del sistema de detección de intrusiones.

VI. CONCLUSIONES

Además de las vulnerabilidades existentes en los protocolos implementados para la seguridad en redes 802.11, tales como las de los protocolos WEP, WPA y WPA2, existen vulnerabilidades inherentes a la naturaleza del tráfico en una red inalámbrica que hacen posible la explotación de estas vulnerabilidades a través de ataques de denegación de servicio (DOS)

Se ve necesario la generación de mecanismos para detectar ataques de denegación de servicios en redes WLAN 802.11i, desde sus tramas básicas, es decir utilizando los parámetros de paquetes de control y gestión de capa MAC.

El desarrollo de WIDS que detectan intrusiones en la capa de enlace constituiría un gran avance en la solución de los problemas de seguridad de las redes inalámbricas, ya que la capa de enlace es la que caracteriza el acceso al medio inalámbrico.

VII. REFERENCIAS

[1] "IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and Information Exchange Between Systems- Local and Metropolitan Area Networks- Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements", *IEEE Std 802.11i-2004*, pp. 0_1 -175, 2004.

[2] Bell Labs. (2007) The Bell Labs security framework: Making the case of End to End Wifi Networks. [En línea]. http://www.forsitegroup.com/pdf/wp_lucent_wifi_security.pdf

[3] A. Tsakountakis, G. Kambourakis, y S. Gritzalis, "Towards effective Wireless Intrusion Detection in IEEE 802.11i", en *Security, Privacy and Trust in Pervasive and Ubiquitous Computing, 2007. SECPerU 2007. Third International Workshop on*, 2007, pp. 37-42.

[4] Songhe Zhao, C.A. Shoniregun, y C. Imafidon, "Addressing the vulnerability of the 4-way handshake of 802.11i", en *Digital Information Management, 2008. ICDIM 2008. Third International Conference on*, 2008, pp. 351-356.

[5] Jing Liu, Xinming Ye, Jun Zhang, y Jun Li, "Security Verification of 802.11i 4-Way Handshake Protocol", en *Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 1642-1647.

[6] Xinyu Xing, E. Shakshuki, D. Benoit, y T. Sheltami, "Security Analysis and Authentication Improvement for IEEE 802.11i Specification", en *Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. IEEE*, 2008, pp. 1-5.

[7] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Port-Based Network Access Control", *IEEE Std 802.1X-2010 (Revision of IEEE Std 802.1X-2004)*, pp. C1 -205, 2010.

[8] Li Wang y B. Srinivasan, "Analysis and Improvements over DoS Attacks against IEEE 802.11i Standard", en *Networks Security Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC), 2010 Second International Conference on*, vol. 2, 2010, pp. 109-113.

[9] C. F., & Pflieger, S. L Pflieger,. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2003.

[10] Urko ZURUTUZA, *Estado del Arte: Sistemas de detección de intrusos.*: Universidad Politécnica de Mondragón, Departamento de Informática, 2004. [En línea]. http://www.criptored.upm.es/guiateoria/gt_m399a.htm

[11] Snort IDS. (2010) [En línea]. www.snort.org

[12] BRO Intrusion detection system. (2010) [En línea]. <http://www.bro-ids.org/>

[13] M. Guennoun, A. Lbekkouri, y K. El-Khatib, "Selecting the Best Set of Features for Efficient Intrusion Detection in 802.11 Networks", en *Proc. 3rd Int. Conf. Information and Communication Technologies: From Theory to Applications ICTTA 2008*, 2008, pp. 1-4.

[14] K. Ilgun, R.A. Kemmerer, y P.A. Porras, "State transition analysis: a rule-based intrusion detection approach", *Software Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 21, no. 3, pp. 181-199, 1995.

[15] Bin Dong y Xiu-Ling Liu, "An Improved Intrusion Detection System Based on Agent", en *Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference on*, vol. 6, 2007, pp. 3164-3167.

[16] H. Debar and J.Viinikka, "Intrusion detection: Introduction", en *FOSAD 2004/2005*, 2005.

[17] R. Sekar et al., "Specification-Based anomaly detection: a new approach for detecting network intrusions", *ACM CCCS*, pp. 265-274, 2002.

[18] Rupinder Gill, Jason Smith, y Andrew Clark, "Specification-Based Intrusion Detection in WLANs", en *Proc. 22nd Annual Computer Security Applications Conf. ACSAC '06*, 2006, pp. 141-152.

[19] I Aad M. Raya, "DOMINO: a system to detect greedy behavior in IEEE 802.11 hotspots", en *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems applications and services*, 2004, pp. 84-97.

[20] E. Sithirasanen y V. Muthukkumarasamy, "Detecting Security Threats in Wireless LANs Using Timing and Behavioral Anomalies", en *Networks, 2007. ICON 2007. 15th IEEE International Conference on*, 2007, pp. 66-71.

[21] Y. Rong, S.-K. Lee, y H.-A. Choi, "Detecting Stations Cheating on Backoff Rules in 802.11 Networks Using Sequential Analysis", en *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, 2006, pp. 1-13.

[22] A. Cardenas, S. Radosavac, y J. Baras, "Evaluation of Detection Algorithms for MAC Layer Misbehavior: Theory and Experiments", *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 17, no. 2, pp. 605-617, 2009.

[23] C. Ko, "Execution Monitoring of Security-Critical Programs in a Distributed System: A Specification-based Approach", U.C. Davis, California, PhD Thesis 1996.

[24] C. Ko, H. Tseng, P. Balasubramayan, A. Chaudhary, K. Levitt T. Song, "Formal Reasoning About a Specification-Based Intrusion Detection for Dynamic Autoconfiguration Protocols in Ad Hoc Networks", *Formal Aspects in Security and Trust*, pp. 16-33, 2005.

[25] C. Tseng, T. Song, P. Balasubramayam, C. Ko, y K. Levitt, "A Specification-based Intrusion Detection Model for OLSR", en *RAID 2005*, vol. 3858, 2005.

[26] S. Fayssal, S. Hariiri, y Y. Al-Nashif, "Anomaly-Based Behavior Analysis of Wireless Network Security", en *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking Services, 2007. MobiQuitous 2007. Fourth Annual International Conference on*, 2007, pp. 1-8.

[27] Zhiqi Tao y A.B. Ruighaver, "Wireless Intrusion Detection: Not as easy as traditional network intrusion detection", en *TENCON 2005 2005 IEEE Region 10*, 2005, pp. 1-5.

[28] K. El-Khatib, "Impact of Feature Reduction on the Efficiency of Wireless Intrusion Detection Systems", *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, no. 8, pp. 1143-1149, 2010.

[29] Openfire CyberSecurity. (2010) [En línea]. <http://www.sourcefire.com/>

[30] RealSecure. (2010) IBM, Internet Security Systems. [En línea]. <http://www.iss.net/>

[31] Cisco Intrusion Prevention System. (2010) [En línea]. <http://www.cisco.com/en/US/products/sw/secursw/ps2113/index.html>

- [32] Dragon IDS. (2010) [En línea]. <http://www.enterasys.com/products/ids>
- [33] Motorola Airdefense Security Solutions. (2010) [En línea]. <http://www.airdefense.net/>
- [34] AirTight Networks. (2010) [En línea]. <http://www.airtightnetworks.com/>
- [35] Kismet IDS. (2010) KismetWireless. [En línea]. www.kismetwireless.net
- [36] WIDZ. (2010) Fat-Loud-Blokes-Word-Of-Wierd. [En línea]. <http://www.loud-fat-bloke.co.uk/tools.html>
- [37] Huan-Rong Tang, Rou-Ling Sun, y Wei-Qiang Kong, "Wireless Intrusion Detection for defending against TCP SYN flooding attack and man-in-the-middle attack", en *Proc. Int Machine Learning and Cybernetics Conf*, vol. 3, 2009, pp. 1464-1470.
- [38] Hongyu Yang, Lixia Xie, y Jizhou Sun, "Intrusion detection for wireless local area network", en *Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on*, vol. 4, 2004, pp. 1949 - 1952 Vol.4.
- [39] R. Gunasekaran, V. Rhymend Uthariaraj, R. Sudharsan, S. Sujitha Priyadarshini, y U. Yamini, "Detection and prevention of selfish and misbehaving nodes at MAC layer in mobile ad hoc networks", en *Proc. Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering CCECE 2008*, 2008, pp. 1945-1948.
- [40] S. Usha y S. Radha, "A collective network arbitration protocol to detect MAC misbehavior in MANETS", en *Proc. Int. Conf. Wireless Communication and Sensor Computing ICWCSC 2010*, 2010, pp. 1-5.
- [41] R. D. Vallam, A. A. Franklin, y C. Siva Ram, "Modelling co-operative MAC layer misbehaviour in IEEE 802.11 ad hoc networks with heterogeneous loads", en *Proc. 6th Int. Symp. Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops WiOPT 2008*, 2008, pp. 197-206.

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

El Departamento de Eléctrica y Electrónica (antigua Facultad de Ingeniería Electrónica) fue creado el 25 de abril de 1977 e inicia sus labores en octubre del mismo año en la modalidad presencial, con sus planes y programas de estudio encaminados a la formación del Ingeniero Electrónico. A partir de octubre de 1990, ofrece dos carreras con perfiles profesionales definidos: Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones e Ingeniería Electrónica en Computación.

En la propuesta actual del Departamento se integran en un sólo perfil estas aspiraciones, ofreciendo las carreras de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, e Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

Además oferta los siguientes programas de posgrado: Maestría en Redes de Información y Conectividad, y Maestría en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones. En la actualidad, el DEEE se encuentra diseñando los programas de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica.

The background is a vibrant green color with several sets of thin, white, wavy lines that create a sense of motion and depth. These lines are arranged in a way that suggests a three-dimensional space, with some lines appearing to curve and recede into the distance. The overall effect is modern and dynamic.

**Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE
Copyright © 2016**