



# **RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos**

Julio 2009

Editor: Rodolfo Romero Herrera

**Algoritmo para la obtención de las curvas de ponderación a y c  
Migración del Estudio de Televisión SDTV hacia HDTV para *Canal  
Once México*.**

**Un caso de aplicación de ENUM.**

**Integración comparativa entre el modelo teórico y el práctico sobre el  
desempeño de códigos de control de error.**

**Desarrollo de un sistema digital para aeromodelo no radio controlado**

**Las telecomunicaciones del futuro: Teleportación cuántica**

RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos; es una publicación bimestral del Instituto Politécnico Nacional, Av. Luis Enrique Erro S/N, unidad “Profesional Adolfo López Mateos”, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F. a través de la Escuela Superior de Computo; Av. Juan de Dios Bátiz S/N esquina Miguel Othón de Mendizabal. “Unidad Profesional Adolfo López Mateos”. Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. tel 57296000 ext. 52000. Certificado de reserva de Derechos al uso Exclusivo del título No. 04-2008-062613190500-203, ISSN en trámite. Los artículos son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario. Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite explícitamente la fuente.

La revista se especializa en el área de los sistemas computacionales y electrónicos; tanto en el desarrollo, como en la investigación en:

Computo Móvil

Física Electrónica

Ingeniería de software

Procesamiento de señales

Inteligencia artificial

Comunicaciones

Electrónica

Robótica y cibernética

Computo educativo

Matemática computacional

Innovación Tecnológica

### **Distribución**

La revista cuenta con 300 ejemplares que se distribuyen en:

Europa, Asia y América Hispana; mediante CD ROM y correo electrónico

## **Directorio**

Dr. José Enrique Villa Rivera

Director General

Dr. Efrén Parada Arias

Secretario General

Dra. Yoloxóchilt Bustamante Diez

Secretaria Académica

Director de la ESCOM

Ing. Apolinar Cruz Lazaró

Subdirector Académico de la ESCOM

M. en C. Flavio Arturo Sánchez Garfias

Jefe del Departamento de Postgrado de la ESCOM

Jesús Yaljá Montiel Pérez

## **Editor**

Rodolfo Romero Herrera

## **Coordinador Técnico**

Gustavo Antonio Juárez Gracia

RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos; es una publicación bimestral del Instituto Politécnico Nacional, Av. Luis Enrique Erro S/N, unidad "Profesional Adolfo López Mateos", Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F. a través de la Escuela Superior de Computo; Av. Juan de Dios Bátiz S/N esquina Miguel Othón de Mendizabal. "Unidad Profesional Adolfo López Mateos". Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. tel 57296000 ext. 52000. Certificado de reserva de Derechos al uso Exclusivo del título No. 04-2008-062613190500-203, ISSN en trámite Los artículos son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario. Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite explícitamente la fuente.

I

### **Miembros del comité Revisor**

(Todo el comité técnico está formado por doctores en ciencias o su equivalente)

Francisca Losavio de Ordaz (Venezuela)(Universidad Central de Venezuela)

Alfredo Matteo (Venezuela) (Universidad Central de Venezuela)

Emmanuel F. Moya Anica (México)

Edgardo Manuel Felipe Riverón (Cuba) (México)(CIC)

Luis Enrique Palafox Maestre (México)

Eduardo F. Caicedo Bravo (Colombia)

Hilda Ángela Larrondo (Argentina)

Guillermo Leopoldo Kemper Vásquez (Perú)

Elizabeth León Guzmán (Colombia)

María Cecilia Rivera (Chile)

Satu Elisa Schaeffer (Finlandia)(UANL)

Rafael Canetti (Uruguay)

Javier Echaiz (Argentina)

Pablo Belzarena (Uruguay)

Carlos Beltrán González (Italia)(Universitá di Genova)

Elena Fabiola Ruiz Ledesma (México)

Jonatan Gómez (Colombia)

Armando De Giusti (Argentina)

Juan José Torres Manríquez (México)

Jesús Yaljá Montiel Pérez (México)

Luis Alfonso Villa Vargas (México)

Marco Antonio Ramírez Salinas (México)

Félix Moreno González (España)(UPM)

Salvador Godoy Calderón (México) (CIC)

## INDICE

### Algoritmo para la obtención de las curvas de ponderación a y c

**Pablo Roberto Lizana Paulin<sup>1</sup>, José de Jesús Negrete Redondo<sup>2</sup>, Sergio Beristain<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54652 email plizana98@yahoo.com.mx, <sup>2</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54652 email josejnegreter@yahoo.com.mx, <sup>3</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54616, sberista@hotmail.com.

Pag. 6

### Migración del Estudio de Televisión SDTV hacia HDTV para *Canal Once México*

**Luis Alejandro Iturri Hinojosa, Diana Torres Peñaloza, Mario Valencia Ronces**

Área de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, ESIME Zacatenco-IPN, México DF  
aiturri@ipn.mx

Pag. 14

### Un caso de aplicación de ENUM

**Carina Aguilar-Chávez, Héctor Oviedo-Galdeano**

Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Departamento de Telecomunicaciones. C.P.07738 , México D.F., México Teléfono (55) 5729-6000 ext. 54672  
E-mail: caguilarch0600@ipn.mx, hoviedo@ipn.mx

Pag. 23

### Integración comparativa entre el modelo teórico y el práctico sobre el desempeño de códigos de control de error.

**Jorge Rojas B.<sup>1</sup>, Miguel Sánchez M.<sup>2</sup>, Patricia Camarena G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>UPIITA, México D.F., México

<sup>2</sup>SEPI ESIME Zacatenco, México D.F., México

<sup>3</sup>ESIME Zacatenco, México D.F., México E-mail: jrojasb@ipn.mx, mmeraz@ipn.mx

Pag.31

### Desarrollo de un sistema digital para aeromodelo no radio controlado

**Eduardo Barba Cervantes, Enrique Cárdenas Orozco, Andrés Calvillo Téllez, Leonardo Acho Zuppa, Luis Aguilar Bustos**

Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del IPN, Av del parque 1310 garita de Otay, Tijuana B. C. CP 22510 calvillo@citedi.mx , teléfono 01(664)6231344 red 82837

Pag.38

### Las Telecomunicaciones del futuro: Teleportación cuántica

Isis Chetzyl Ballardo Rodríguez chetzyl@hotmail.com

Fernando Enrique Estrada Hernández ferdraco@hotmail.com

Alejandro Vivas Hernández avivas@ipn.mx

ESIME- IPN U.P.A.L.M., 07738, México D.F.

Pag.46

# Algoritmo para la obtención de las curvas de ponderación a y c

Pablo Roberto Lizana Paulin<sup>1</sup>, José de Jesús Negrete Redondo<sup>2</sup>, Sergio Beristain<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54652 email plizana98@yahoo.com.mx, <sup>2</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54652 email josejnegreter@yahoo.com.mx, <sup>3</sup>ESIME Zacatenco, Tel. 57296000 Ext. 54616, sberista@hotmail.com.

**Resumen.**- El objetivo de este proyecto fue construir un sonómetro, basado en las normas nacionales e internacionales. Este instrumento fue desarrollado para trabajar en computadoras. La señal de sonido es capturada por un micrófono, a través de un convertidor analógico digital se envía la señal a la computadora. El algoritmo matemático de la curva de ponderación "A" fue desarrollado en el lenguaje de programación "C". La ecuación de la curva de ponderación "A" fue convolucionada con la transformada rápida de Fourier de la señal, para obtener de esta manera la señal ponderada.

**Palabras clave:** Algoritmo matemático, Curvas de ponderación, lenguaje de programación C, sonómetro

## I. Introducción

Los sonómetros son instrumentos diseñados para responder de manera semejante al oído humano, dando mediciones objetivas de nivel de presión sonora; hay diferentes sistemas de medición disponibles y cada sistema consiste en un micrófono, una sección de procesamiento y una unidad de lectura de salida en decibeles (dB). El micrófono convierte la señal de presión generando una señal eléctrica equivalente. La señal producida por el micrófono es muy pequeña por lo que requiere de un preamplificador antes de ser procesada. El decibel se define así:

$$NIS = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \dots (1) \quad (1)$$

NIS = Nivel de Presión Sonora en decibeles (dB).

I = Intensidad del sonido en (watts/m<sup>2</sup>).

I<sub>0</sub> = Intensidad de referencia que es 10<sup>-12</sup> watts/m<sup>2</sup>.

La intensidad sonora mínima que el oído humano alcanza percibir a una frecuencia de 1 KHz.

El nivel de presión sonora es igual a:

$$NPS = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \dots (2) \quad (2)$$

NPS = Nivel de Presión sonora en decibeles (dB).

P = Presión acústica en Pascales (Pa).

P<sub>0</sub> = Presión acústica de referencia que es 2 X 10<sup>-5</sup> Pa.

El factor de 0.00002 Pa. Es la presión mínima que el oído humano alcanza a percibir a una frecuencia de 1 KHz.

En la ecuación 2 se puede notar que si se dobla la presión acústica se incrementará el NPS en aproximadamente 6 dB; si se cuadruplica la presión acústica se aumentará el NPS en 12 dB, y si la presión se incrementa ocho veces aumentará 18 dB. Por lo que se debe de diseñar un algoritmo matemático que responda de manera muy parecida a la respuesta subjetiva del oído humano, como se muestra en la figura 1.

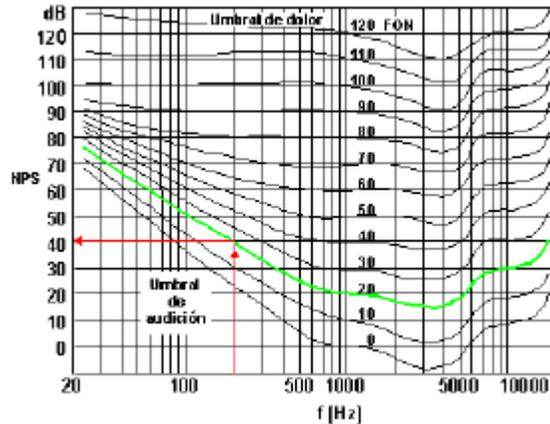


Figura 1.- Curvas de igual sonoridad de Fletcher y Munson.

En la curva se puede observar que el oído humano no es igual de sensitivo a todas las frecuencias, por ejemplo si se considera una frecuencia de 60 Hz. Con un NPS de 70 dB, este sonido tendrá la misma sonoridad en fonos que un tono de 1 KHz a 40 dB, esto parece muy sencillo, pero diseñar un algoritmo matemático cuyas características varíen de igual modo semejante que las curvas de sonoridad subjetiva del oído humano es muy complicado. Esto dió como resultado que se diseñaran cuatro tipos de curvas para los sonómetros, que son conocidas como curvas de ponderación por convención internacional A, B, C y D. En la actualidad, sólo se utilizan las curvas de ponderación A y C. cuando se hacen mediciones de aviones a reacción se les incrementan unos 10 dB a las mediciones hechas por el sonómetro, figura 2.

La idea principal para el desarrollo de este instrumento de medición dentro del laboratorio de acústica, radica fundamentalmente en diseñar un algoritmo matemático que responda de manera subjetiva como el oído humano, y para esto hay que agregar que el oído no es igual de sensitivo a todas las frecuencias.

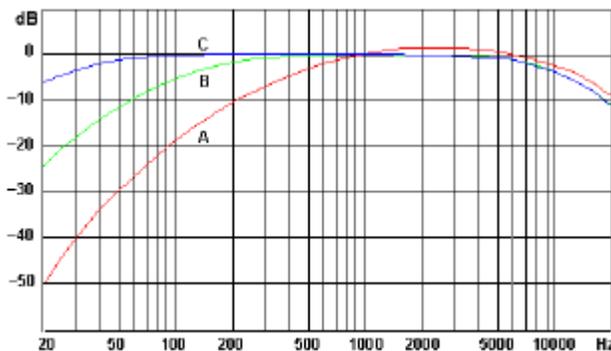


Figura 2.- Curvas de ponderación A, B y C por convención internacional.

Las curvas de ponderación por convención internacional del sonómetro. En la escala A la respuesta disminuye mucho a bajas frecuencias. Por ejemplo, si se tiene un tono de 50 Hz en la escala de ponderación A, este valor será menor a 30 dB que uno de 1 KHz. En la curva de ponderación C solamente se tienen pequeñas diferencias menores de 1 dB entre las frecuencias de 63 y 4 KHz.

## II.- Desarrollo del algoritmo.

Usando la transformada rápida de Fourier aplicándola a una señal de audio o ruido, esta cambia al dominio de la frecuencia para poder efectuar la convolución con la ecuación de las curvas de ponderación "A" y "C", dado que dichas curvas están en el dominio de la frecuencia. Para calcular la ecuación de las curvas de ponderación "A" y "C" se determinaron los puntos que definen ambas curvas, usando métodos numéricos de interpolación se obtuvo la siguiente función con la ayuda del MAPLE 6. Ecuación (3) es la función de la curva de ponderación.

$$Pondera = 148840000 \frac{W}{X} \quad (3)$$

$$X = (W^2 + 424.36)(W^2 + 1488000)(W^2 + 115996.41)^{0.5}(W^2 + 544496.41)^0$$

Evaluando la ecuación 3 con la frecuencia de 1000 Hz se obtiene:

Pondera = 0.7943463957

Entonces, la Ecuación de la ganancia en dB cuyo valor es 0.7943463957 como nivel de referencia, tenemos:

$$Ganancia = \left( \frac{20 \ln(0.1873741743 \times 0.7943463957)}{\ln(10)} \right) \quad (4)$$

Una vez obtenida la Ecuación (4) es la ganancia de ponderación A en dB, puede ser graficada para obtener el resultado que se muestra en la siguiente figura 3:

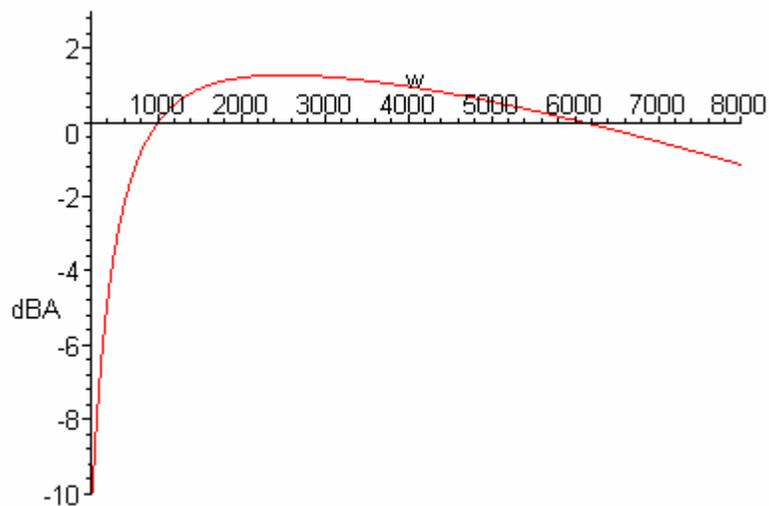


Figura.- 3 Grafica de la ganancia de la curva de ponderación "A".

Una vez que se obtiene la curva de ponderación "A", se obtiene la atenuación (en dB) para diferentes frecuencias, por lo cual se describirá el procedimiento para conocer dicha atenuación considerando una señal senoidal de amplitud unitaria, como se muestra en la figura 4.

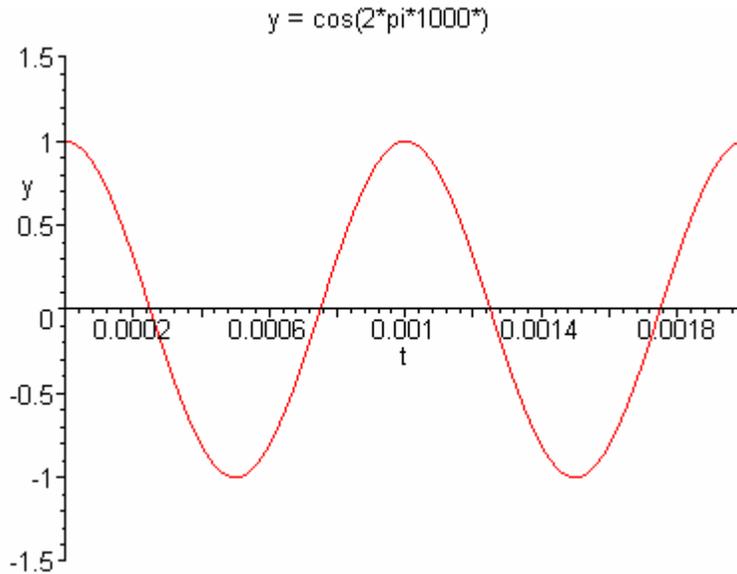


Figura 4.- Muestra la forma de onda de entrada en MAPLE.

Para probar el algoritmo se calcula la transformada inversa de la ecuación de la curva de ponderación con el propósito de cambiarla al dominio del tiempo y efectuar la convolución. Se obtiene el resultado de la transformada inversa de la Ecuación de ponderación A:

$$T = -4.342944819 \begin{pmatrix} e^{(107.7t)}H(-1.0t) + 2 \times e^{(20.6t)}H(-1.0t) - 2 \times e^{(-12200t)}H(t) \\ -4 \times H(-1.0t) - 2 \times e^{(-20-6t)}H(t) - 1 \times e^{(12200t)}H(t) \\ + e^{(737.9t)}H(-1.0t) + 2 \times e^{(12200t)}H(-1t) - 1 \times e^{(-107.7t)}H(t)/t \end{pmatrix} \quad (5)$$

A continuación se muestra la gráfica de la transformada inversa de Fourier de la ecuación de ponderación "A" normalizada a valores máximos de amplitud de 1 para trabajar con igualdad de escalas principalmente con la señal de prueba ( $\cos(2 \times \pi \times 1000 \times t)$ ).

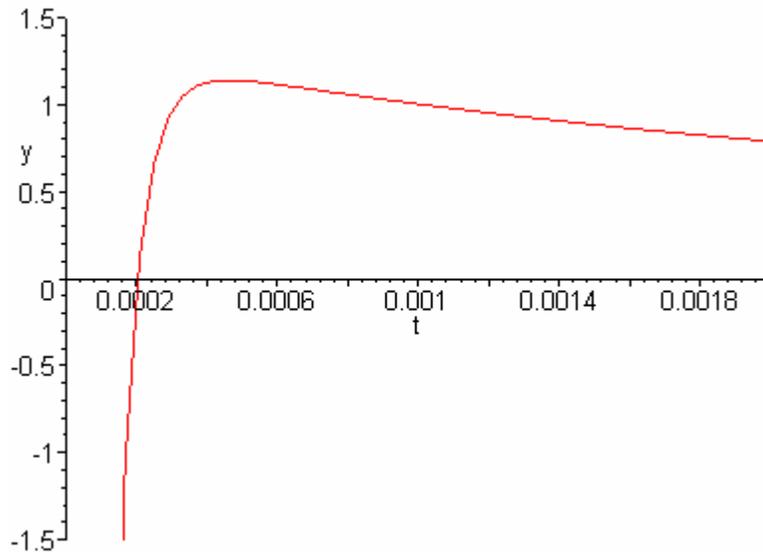


Figura 5.- Transformada inversa de Fourier de la curva de ponderación A.

Se convoluciona en el tiempo el resultado de la transformada inversa de Fourier y la señal de prueba ( $\cos(2 \times \pi \times 1000 \times t)$ ), obteniendo:

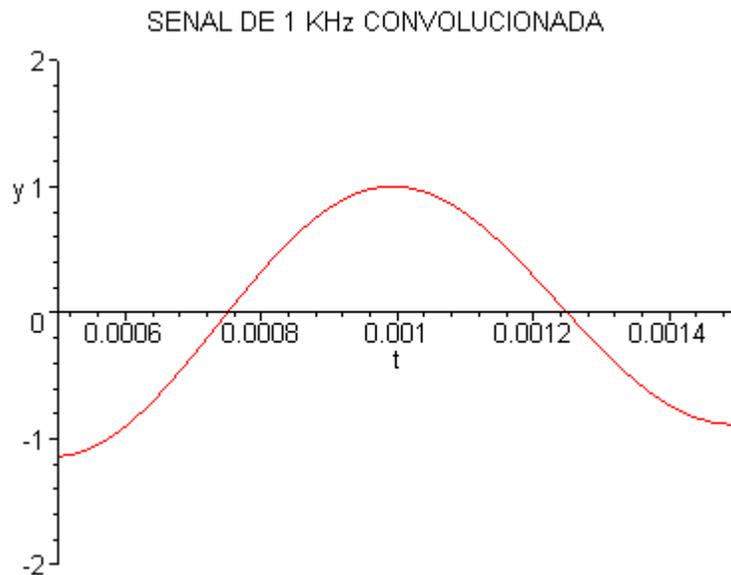


Figura 6. Señal convolucionada a 1000 Hz.

El resultado matemático evaluado a período de 0.001 s, es decir, a 1KHz, tenemos:

$$eval = (total, t = 0.001); 1.00000$$

Comprobando con esto, que con una señal de 1000 Hz., no existe atenuación; hay solamente unánima ganancia debido a las aproximaciones con las que opera el software utilizado. Tomando como aceptable este resultado se procede a llenar la tabla I.

Resultados obtenidos en las pruebas				Norma NMX-102-C-1994		
Voltaje de entrada (Volts)	Frecuencia (Hz)	Voltaje de salida (Volts)	Salida (dB)	Corrección a los Niveles de Presión Acústica (dB)	Tolerancia	
	10	0.1503879e-2	-70.4351383	-70.4	5	-00
	12.5	0.3307760e-2	-63.5887190	-63.4	5	-00
	16	0.7544749e-2	-56.4285038	-56.7	5	-00
	20	0.1510870e-1	-50.3948554	-50.5	5	-5
	25	0.2870353e-1	-44.8206933	-44.7	5	-5
	31.5	0.5278576e-1	-39.5290640	-39.4	3	-3
	40	0.9375569e-1	-34.5394465	-34.6	3	-3
	50	0.1531831878	-30.2751780	-30.2	3	-2
	63	0.2442411423	-26.2230236	-26.2	3	-3
	80	0.3793820354	-22.3978648	-22.5	2	-2
	100	0.5517119480	-19.1451523	-19.1	1	-1
	125	0.7753136880	-16.1898510	-16.1	1	-1
	160	1.088287844	-13.2445245	-13.4	1	-1
	200	1.434192409	-10.8472517	-10.9	1	-1
	250	1.841700009	-8.67502228	-8.6	1	-1
	315	2.326868778	-6.64396224	-6.6	1	-1
	400	2.885798360	-4.77408044	-4.3	1	-1
	500	3.440094845	-3.24799175	-3.2	1	-1
	630	4.013641706	-1.90862807	-1.9	1	-1
	800	4.562801510	-0.79476855	-0.8	1	-1
	1000	5	0	0	1	-1
	1250	5.342921750	.0576176188	0.6	1	-1
	1600	5.605632360	0.993092144	1.0	1	-1
	2000	5.741891365	1.201699343	1.2	1	-1
	2500	5.787955705	1.271103890	1.3	1	-1
	3150	5.741945365	1.201781030	1.2	1	-1
	4000	5.587035900	0.964229152	1.0	1	-1
	5000	5.330198945	0.555465034	0.6	1.5	-1.5
	6300	4.934832752	-0.11395131	-0.1	1.5	-2
	8000	4.382729156	-1.14450742	-1.1	1.5	-3
	10000	3.754510843	-2.48833282	-2.5	2	-4
	12500	3.065342948	-4.24981868	-4.3	3	-6
	16000	2.311862314	-6.70091222	-6.6	3	-00
	20000	1.705814628	-9.34076340	-9.3	3	-00

**Planteamiento del algoritmo.**

Una vez planteado y comprobado el procedimiento matemático para la obtención del nivel de presión sonora, se procede a realizar el algoritmo, en lenguaje “C”, el cual se implementará para obtener el resultado; dicho algoritmo se dividió en varios módulos tal como se muestra en el siguiente diagrama a bloques siendo esta, otra manera de obtener los mismos resultados:

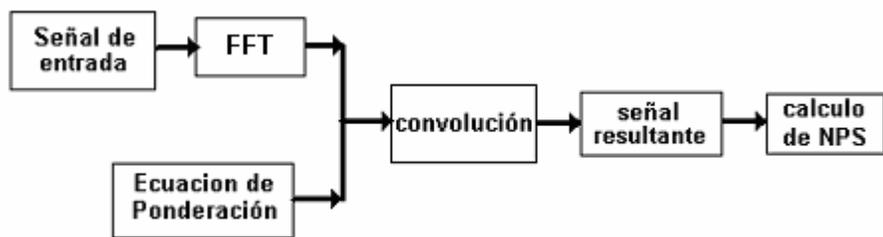


Figura. 7.- Diagrama a bloques que muestra el planteamiento del algoritmo.

A continuación se describen cada uno de los módulos:

- 1.- Obtención de la señal, la cual se realiza por medio de la lectura del archivo en formato WAV. El algoritmo que se siguió incluye la lectura del encabezado, lectura de la frecuencia de muestreo y el número de datos cuantificados en el dominio del tiempo, lectura de los datos los cuales se almacenan junto con su correspondiente valor (en segundos.) dentro de un archivo temporal.
- 2.- Empleando el algoritmo de Cooley Tukey -llamado de la Mariposa- se cambia la señal de entrada al dominio de la frecuencia.
- 3.- Codificación de la ecuación de Ponderación.

- 4.- Convolución de la señal de entrada en el dominio de la frecuencia con la ecuación de la curva de ponderación en el dominio de la frecuencia, obteniendo así la señal ponderada.
- 5.- Cálculo del nivel de presión sonora el cual incluye la obtención de la frecuencia y su magnitud con muestras de un segundo de intervalo. Para hacer el cálculo del Nivel de Presión Sonora, dependiendo de este incremento, este proceso permite la ponderación de los datos de entrada, la obtención de la amplitud ponderada, y el cálculo de la presión sonora con respecto a  $20\mu$  Pa.
- 6.- Interpretación de los resultados a través de una interfase gráfica para su presentación e interpretación.

Toda la codificación de dichos algoritmos fue realizada en lenguaje de programación "C".

### III.- Conclusiones.

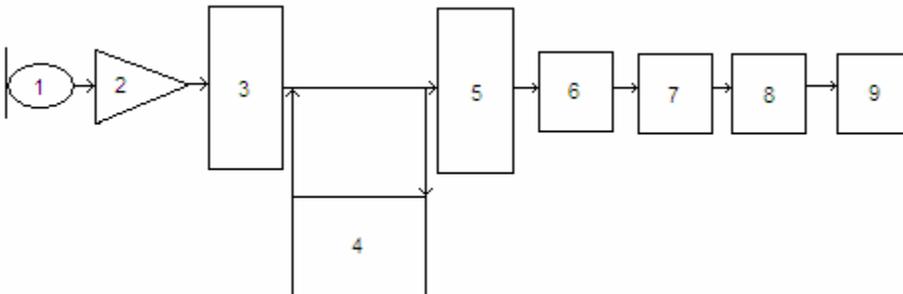
Construir un Medidor de Nivel de Presión Sonora implementado en una computadora personal es el objetivo de este trabajo, para ser posteriormente desarrollado en un DSP (Digital Signal Processing ) y con esto contar con un instrumento portátil en el Laboratorio de Acústica de la ESIME.

### Referencias

- [1] Recuero López, Manuel. "Estudios y controles para grabación sonora". Editorial Instituto Politécnico Nacional. México, 1991. 356 pp
- [2] Kinsler, Lawrence E., et al. "Fundamentos de Acústica". Editorial Limusa. México, 1990.
- [3] Cooghin, Robert F., y DRISCOLL, Frederich F. "Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales". Editorial Prentice Hall. México, 1993.
- [4] Albiol Antonio, Naranjo Valery, y Prades Joseph. "Tratamiento de las Señales Teoría y Aplicaciones". Universidad Politécnica De Valencia. Valencia,
- [5] Paul M. Embree, Bruce Kimble. "C Lenguaje Algorithms for Digital Signal Processing". Editorial Prentice Hall. Estados Unidos de America. 1999.
- [6] Thompson J. William. "Computing for Scientists and engineers". Editorial John Wiley & Sons.inc. Estados Unidos de América. 2004
- [7] Oppenheim Alan V, Schafer W. Roland, Buck John R. "Tratamiento de Señales en Tiempo Discreto". Editorial Prentice Hall. Estados Unidos de América. 2000.
- [8] Waker S. "Fast Fourier Transforms". Editorial CRC Press, Inc. Londres, Inglaterra. 2001

### V.- Anexo:

Diagrama de flujo de un sonómetro



- 1.- Micrófono.
- 2.- Preamplificador.
- 3.- Atenuador.
- 4.- Filtro de la curva de ponderación "A".
- 5.- Atenuador.
- 6.- Amplificador.
- 7.- Rectificador.
- 8.- Convertidor lineal -> logarítmico
- 9.- Visualizador

## **Extractos curriculares**

**Pablo Roberto Lizana Paulin** es Doctor en Educación en la ESIME Zacatenco, México (2005), obtuvo su grado de doctorado en la Universidad de Newport, EUA en el año de 1997, tiene Maestría en Artes de la Educación en la misma universidad (1994), tiene el grado de Maestría en Democracia y Educación de Valores en la Universidad de Barcelona (2005), tiene especialidad en docencia en el CICE de la UNAM (1989), Especialidad en Investigación Educativa para la Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología, SEPI ESIME Zacatenco (1987) y es Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME (1981).

Actualmente es profesor e investigador en la ESIME Zacatenco, y sus áreas de interés son: Ruido, Investigación Educativa, e instrumentación Acústica.

**Sergio G Beristain** es Maestro en Ciencias con especialidad en Ruido y Vibraciones en la Universidad de Southampton, Inglaterra, (1975), Presidente del Instituto Mexicano de Acústica, y es Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME (1975). Actualmente es profesor e investigador en la ESIME Zacatenco, y sus áreas de interés son: ruido, Acústica arquitectónica, audio y música.

**José de Jesús Negrete Redondo** es Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME (1980), Actualmente es profesor en la ESIME Zacatenco, y sus áreas de interés son: ruido, Instrumentación, y música.

# Migración del Estudio de Televisión SDTV hacia HDTV para *Canal Once México*

Luis Alejandro Iturri Hinojosa, Diana Torres Peñaloza, Mario Valencia Ronces  
Área de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, ESIME Zacatenco-IPN, México DF  
aiturri@ipn.mx

**Resumen** - Se presenta una propuesta para la migración del Estudio de Televisión con Definición Estándar (SDTV) hacia Alta Definición (HDTV), para *Canal Once México*. Se describen los equipos necesarios para la adaptación del Estudio HDTV al sistema de Definición Estándar del *Canal*. De inicio, se analizaron el flujo de señal y los equipos empleados en el actual estándar de transmisión NTSC. De acuerdo al estándar de transmisión ATSC de HDTV, se estudiaron compatibilidad y parámetros de funcionamiento de diversos dispositivos que cumplieran con las nuevas características de transmisión. Como resultado, para la migración a HDTV del Estudio recomendamos utilizar equipos de las empresas Evertz y Grass Valley. Así mismo, presentamos la manera para reducir el número de equipos en el procesamiento de la señal digital y facilitar el proceso de operación de señales de información. El Estudio estará adaptado para ofrecer distintos servicios digitales con procesamiento eficiente de señales de información.

**Palabras Clave** – Estudio de Televisión, SDTV, NTSC, HDTV, ATSC.

## Studio Migration from SDTV to HDTV for *Canal Once México*

**Abstract** – The migration for the Television Studio of *Canal Once Mexico* with Standard Definition (SDTV) to a High Definition (HDTV) Television is proposed. The necessary equipment for the adaptation of the HDTV Studio to the Standard Definition Studio for the Company is presented. Initially, the flow signal and the equipment used in the operating transmission standard NTSC of the actual Studio were analyzed. In accordance with the new transmission standard ATSC for HDTV, the compatibility and functional parameters of different devices that satisfies the new transmission requirements, were examined. As a result, for an HDTV Studio migration, we recommend to use the equipment manufactured by Evertz and Grass Valley. Also, the means to obtain a reduced amount of equipment for the process of digital signals and the simple operation of information signals are presented. The Studio will be able to offer different digital services with efficient information signal processing.

**Key words** – Studio Television, SDTV, NTSC, HDTV, ATSC.

### INTRODUCCIÓN

La sustitución de señales analógicas por digitales es uno de los avances tecnológicos que demandan mayor calidad y eficacia en la transmisión de programas televisivos a nivel mundial, de acuerdo a los tres grandes estándares disponibles (el ATSC de Estados Unidos, el DVB-T europeo, y el ISDB japonés). México adoptó el estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee) con el cual se pretende producir programas televisivos digitales con calidad de alta definición [1]. *Canal Once México* aún no cuenta con la tecnología para producciones en alta definición. Planteamos la propuesta para el diseño de un Estudio de alta definición, para lo cual consideramos las características técnicas que los equipos requieren, contemplando la compatibilidad que existe con los equipos actualmente operando en el canal. El proyecto considera una etapa de captura, una de procesamiento digital, una de comunicación con la central maestra y por último la etapa de transmisión.

La televisión digital de alta definición, ofrece imágenes de video con la calidad del cine de 35 mm, además de sonido equiparable al de los discos compactos, mejores condiciones tecnológicas en beneficio de la población, favorece la optimización del espectro radioeléctrico, y por lo mismo, libera espacio en el mismo canal para transmitir otras señales de televisión o de otros servicios de telecomunicaciones. En el mismo ancho de banda de un canal analógico se pueden transmitir seis señales de televisión digital con la misma calidad de la anterior señal televisiva analógica, con alta confiabilidad en la recepción de señales y fortalece el desarrollo de la convergencia en beneficio de la sociedad [2].

### ANTECEDENTES

#### *NTSC*

NTSC (National Television System Committee) es un sistema de codificación y transmisión de televisión a color analógico desarrollado en Estados Unidos en 1940, el cual consiste en la transmisión de 25.97 cuadros de video en modo entrelazado

con un total de 525 líneas de resolución y una velocidad de actualización de 30 cuadros de video por segundo y 60 campos de alternación de líneas; éste sistema fundamentó su ciclo temporal en la frecuencia de oscilación eléctrica de 60Hz. El sistema NTSC utiliza la técnica de entrelazamiento, la cual consiste en alternar la transmisión de líneas uniformes y de líneas impares para levantar la resolución eficaz sin necesidad de mayor ancho de banda; NTSC tiene un cociente de aspecto de 4:3.

Un canal de televisión transmitiendo en el sistema NTSC utiliza alrededor de 6MHz de ancho de banda, para contener la señal de video, más una banda de resguardo de 250kHz entre la señal de video y la de audio. Los 6MHz de ancho de banda se distribuyen de la siguiente forma: 1.25MHz para la portadora de video principal con dos bandas laterales de 4.2MHz; las componentes de color a 3.579545MHz sobre la portadora de video principal, moduladas en cuadratura; la portadora de audio principal de 4.5MHz transmitida sobre la señal de video principal y los últimos 250KHz de cada canal para la señal audio estereofónica en frecuencia modulada. La señal de crominancia en el sistema NTSC norma M se transmite en una frecuencia subportadora FM en los 3.58MHz.

La cantidad de bits que genera la digitalización en formato convencional (4:3) en una imagen de televisión digital está formada por 720x576 puntos (píxeles). Almacenar una imagen requiere: 1Mbyte. Transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 170Mbits/s.

### ATSC

El estándar de televisión de alta definición ATSC define cuatro formatos básicos de televisión digital. Estos formatos están definidos por el número de píxeles por línea, el número de líneas por cuadro de video, la frecuencia de repetición de los cuadros, la relación ancho-altura y la estructura de los cuadros (entrelazados o progresivos). El entrelazado es una técnica que usan las cámaras para tomar dos veces la escena durante el mismo tiempo de un cuadro. En la primera toma, se crea un campo de video, conteniendo las líneas impares y, durante la segunda, se toman las líneas pares. Esta técnica, usada en el video NTSC, genera un menor parpadeo y por lo tanto, mayor brillantez en el receptor de video para la frecuencia de cuadro dada (y ancho de banda). Por otro lado, la mayor parte del video generado por computadora es tomado progresivamente, en el que cada cuadro de video contiene todas las líneas en orden.

Tamaño de imagen	Tasa de cuadros				Proporciones		
	60i	---	30p	24p	16 :9	---	
1920*1080	60i	---	30p	24p	16 :9	---	
1280*720	---	60p	30p	24p	16 :9	---	
704*480	60i	60p	30p	24p	16 :9	4 :3	
640*480	60i	60p	30p	24p	---	4 :3	
i=entrelazado p=progresivo							

Tabla 1. Formatos de imágenes soportados por el sistema ATSC

El estándar ATSC incluye dos formatos para televisión de alta definición (HDTV). En uno, 1920 píxeles y 1080 líneas de video son entrelazadas, mientras que en el otro 1280 píxeles y 720 líneas de video están en el formato progresivo.

### Algoritmos de compresión

JPEG son las siglas de Joint Photographic Experts Group (Grupo de expertos en ensamblaje fotográfico, el comité responsable del desarrollo de este estándar y de su sucesor, el estándar JPEG 2000). Este formato se diseñó para gestionar la compresión de imágenes estáticas individuales. De esta manera trata la salida de video como imágenes estáticas capturadas. Ofrece la opción de una alta relación de compresión, pero baja calidad de imagen. O unas relaciones de compresión ligeramente más bajas con buena calidad de imagen.

JPEG consigue la compresión mediante varias técnicas complejas que incluyen la eliminación de información redundante que existe en el interior de toda imagen digital sin añadir nada apreciable a la calidad de la imagen.

MPEG son las siglas de Motion Picture Experts Group (Grupo de expertos en imágenes dinámicas). Este comité se formó a finales de los 80's con el objetivo de crear un estándar para la codificación de imágenes dinámicas y sonido. Desde entonces ha creado los estándares MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4.

MPEG-2 se centró en ampliar la técnica de compresión de MPEG-1 a fin de trabajar con imágenes más grandes y de mayor calidad a expensas de una menor relación de compresión y del resultante aumento de uso de ancho de banda. Asimismo, este estándar proporciona unas técnicas más avanzadas destinadas a potenciar el video a la misma velocidad de transmisión de 1,5 Mbps.

MPEG-4 introducido a finales de 1998, es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y video así como su tecnología relacionada normalizada por el grupo MPEG (Moving Picture Experts Group) de ISO/IEC. Los usos principales del estándar MPEG-4 son los flujos de medios audiovisuales, la distribución en CD, la transmisión bidireccional por videófono y emisión de televisión.

También existen estándares para el intercambio de datos de serial a paralelo entre equipos. Como el SMPTE-259D (de la Society of Motion Pictures and Television Engineers), una interfaz a 360 Mb/s (entre generadores digitales de caracteres y routers).

### ***Estándares para audio y video***

El estándar AES/EBU fue desarrollado de manera conjunta por la Asociación de Ingenieros de Audio (AES, Audio Engineering Society) norteamericana y la European Broadcast Union (EBU) europea.

Utiliza un interfaz RS-422 de dos canales con líneas balanceadas que acaban en conectores XLR-3 o D-sub (conector multipin que emplean, por ejemplo, los cables SCSI).

El estándar AES/EBU está incorporado en la mayoría de equipos profesionales de audio digital.

### **SISTEMA DE TELEVISIÓN ACTUAL EN CANAL ONCE MÉXICO**

El sistema actual de canal 11 está conformado de acuerdo al siguiente flujo de señal.

## FLUJO DE SEÑAL SD-TV

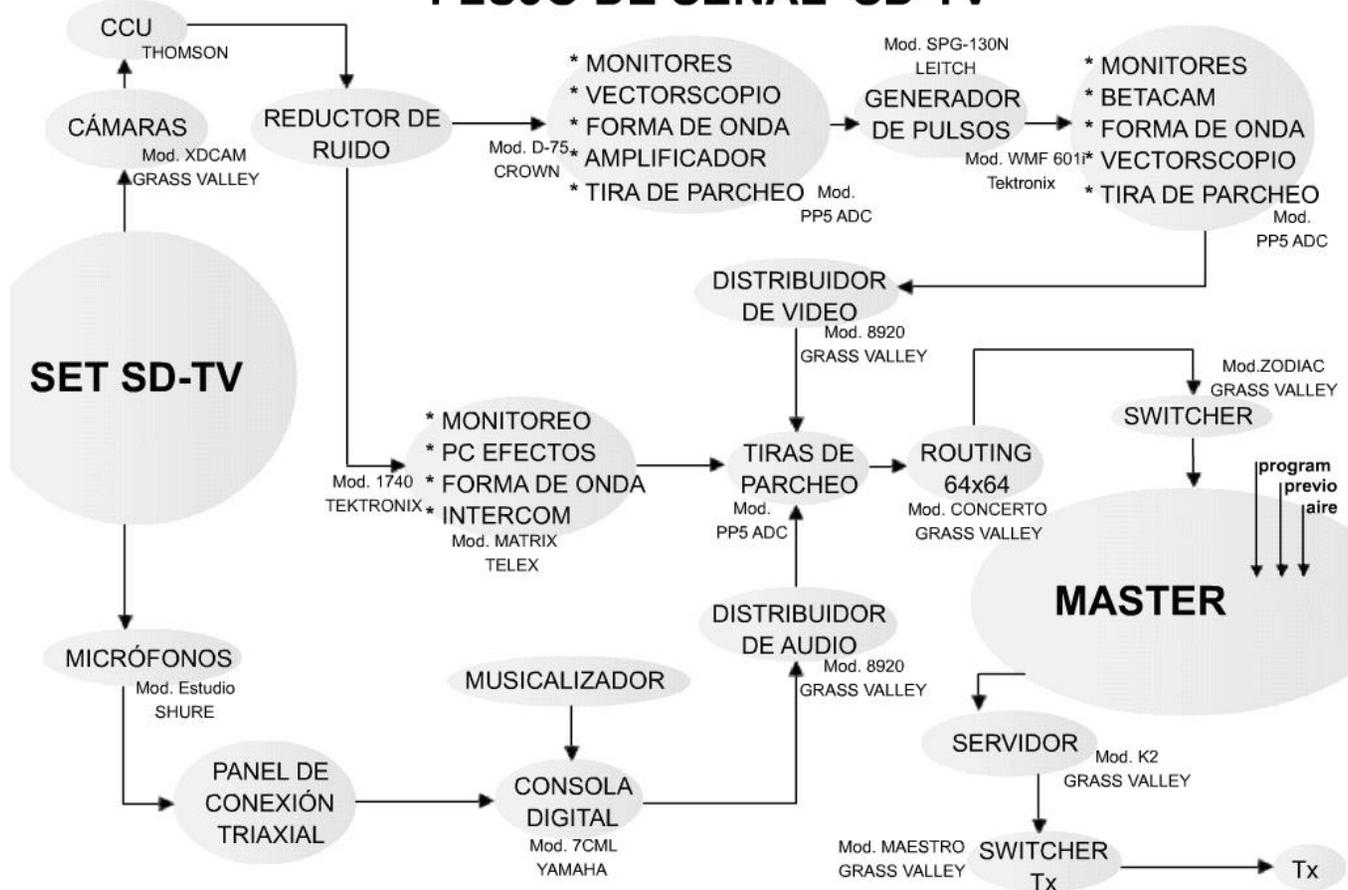


Fig. 1. Flujo de señal en definición estándar

La cámara de video de *Canal Once* utiliza el modelo XDCAM de la marca Grass Valley. Maneja un continuo balance automático de negros, y soporta cable triaxial estándar, además de un botón instantáneo para controlar un zoom electrónico para hacer visibles detalles muy finos.

Para el caso de la Unidad de Control de Cámaras, CCU, la marca que manejan es Thomson. Este dispositivo ajusta de manera manual los parámetros de colorimetría de la señal como son: croma, luminancia y hue.

Para el ajuste de la señal se utiliza el monitor forma de onda y vectorscopio modelo Tektronix 1740, este dispositivo ayuda en la visualización de la señal recibida analógica establecidas por los estándares de recepción PAL, NTSC. Visualiza cada uno de los parámetros de colorimetría de la señal, además se requiere un monitor Sony de 14" para monitorear la señal ya ajustada y se encarga de la recepción de señales analógicas establecidas por los estándares de recepción PAL, NTSC. Proporcionando una relación de imagen 4:3, incluyendo entrada de señales de la Interfaz Digital Serial, SDI. Estos monitores se ayudan de los amplificadores Crown modelo D75; este amplificador de audio es ideal para estos monitores ubicados en los Estudios, el amplificador está protegido contra baja impedancia. Entre sus características se encuentra la potencia de salida por canal en modo estéreo con control para ambos canales de igual forma la potencia de salida en modo Bridge-Mono, además de establecer una relación señal a ruido de 106 dB por debajo de la máxima potencia desde 20Hz a 20 KHz. Una impedancia de salida de 20KΩ balanceado y 10KΩ desbalanceado. En cuanto al conector de la entrada éste mantiene balanceado tres pines Neutrik combo XLR y 1/4-in. Phone jack por cada canal y el conector a la salida es de cuatro terminales en línea (dos por canal) y headphone jack estéreo.

Para la distribución de audio y video se utilizan las tiras de parcheo modelo PP5 ADC las cuales cuentan con 64 entradas y 64 salidas para señales de audio y video.

Para la sincronización entre los equipos del Estudio es necesario contar con un generador de pulsos modelo SPG-130N de la marca LEITCH, este dispositivo maneja un pulso de reloj convencional (dos niveles) el cual es proporcionado a todos los equipos del Estudio para mantener la sincronía entre ellos.

Para la edición y almacenamiento de programas se utiliza la máquina Betacam de Sony la cual maneja un tamaño de cassette de ¾", además de una selección de código de tiempo VITC o LITC, teniendo la opción de edición manual o automático y un ajuste manual de niveles de audio.

Para la distribución de señales puras se cuenta con un multiplexor de señales de audio y video modelo 8920 de Grass Valley éste cuenta con 6 tarjetas de distribución, mantiene un acceso fácil e individual a cada una de ellas, debido a la operación del dispositivo contiene un ventilador, el cual se integra para el control de temperatura.

Para la asignación de señales se utiliza un Routing 64x64 modelo Concerto de Grass Valley. Este equipo soporta diferentes tipos de señales mezcladas en el mismo cuadro; audio y video análogo, audio y video digital, además de un convertidor integrado A/D y D/A para audio. Incluye también un sofisticado monitoreo de salida para control de calidad y análisis de integridad de la señal.

Para los efectos visuales en los programas se utiliza un Switcher modelo Zodiac de la marca Grass Valley. Este dispositivo maneja distintos tipos de señales, análogas y digitales. Tiene la característica de soportar señales de audio AES-3 con frecuencias a la entrada de 32 a 96 KHz y una frecuencia a la salida de 48KHz.

En cuanto al audio se consideran micrófonos omnidireccionales de la marca Shure los cuales tienen una respuesta en frecuencia extendida con capuchas intercambiables de equalización para cambio de respuesta (solo omnidireccional). Maneja baja visibilidad con gran variedad de opciones de colocación. También ofrece muy bajo ruido de manipulación. Todos los modelos ofrecen montura magnética, clip de solapa, clip doble de corbata, montaje de pin y dos pantallas anti-viento. A su vez estos micrófonos van conectados a un panel de conexión triaxial el cual maneja 16 entradas y 8 salidas para conectores CANON.

La musicalización de los programas cuenta con una musicalizadora Yamaha. Esta contiene 32 canales de audio y un control DAW. La musicalizadora está diseñada especialmente para las necesidades de producción como post-producción, audio para video y aplicaciones de broadcast.

Para el control del sonido es fundamental contar con un dispositivo capaz de manipular la señal de audio y crear el efecto deseado. La Consola de audio digital Yamaha modelo MC7L tiene 48 o 32 entradas para micrófonos monoaurales, 4 salidas estéreo, y 3 tarjetas mini-YGDAI (un total de 56 o 40 canales para mezclar), además de 16 mezcladoras, LCR bus, 8 canales matrix, y 8 DCAs asignados a 16 omni salidas. Maneja efectos visuales y EQ rack: arriba de 4 simultáneos multi-efectos de procesamiento y 31 gráficos EQs en banda. Por seguridad está compuesta por dos fuentes de poder. Se alimenta de una fuente de poder interna y una externa PW800W de respaldo, la cual es opcional y se mantiene en el modo de bajo consumo hasta que se requiera.

Para el almacenamiento de las señales se cuenta con un servidor de Grass Valley modelo K2 el cual se ubica en la etapa final del diagrama para almacenar todos los programas y así disponer de ellos en el master de transmisión. El servidor K2 está diseñado para compartir y reutilizar activos de medios digitales. El sistema K2 basado en estándares abiertos proporciona la alta capacidad, caudal, concurrencia y disponibilidad que demanda un ambiente de transmisión de medios. El sistema acepta flujos de trabajo de distribución, centrados en IT, y de reproducción basada en archivos. Simplifica la instalación y operación, proporciona nuevos niveles de control de red, maneja el protocolo de redes Isasi (Internet SCSI), que proporciona un desempeño de alto caudal y de red de área de almacenamiento (SAN) sobre conexiones Ethernet estándar. Acepta el software de monitoreo remoto, basado en SNMP, NetCentral de Grass Valley.

## **PROPUESTA DE UN ESTUDIO DE ALTA DEFINICIÓN PARA CANAL ONCE MÉXICO**

### ***Introducción***

La producción de programas de televisión entrelaza tecnología con creatividad. Las grabaciones de los programas contienen escenas con ángulos de cámaras variantes, cambios abruptos de lugares, inserción de publicidad, efectos de video y audio, entre otros.

Consideramos que el Estudio de televisión tendrá principalmente las siguientes secciones: un set, control de cámaras, cabina de audio, cabina de producción y la sección donde se ubica el equipo [3]. Todo esto ligado al control maestro del canal y a su vez a la etapa de transmisión, la cual se basa en un enlace con la antena transmisora ubicada en el cerro del Chiquihuite, México, Distrito Federal.

En el set se llevarán a cabo todas las grabaciones. En el control de cámaras se visualizará el primer enfoque de las grabaciones. La cabina de audio se encargará de la digitalización y de los efectos audibles. En la cabina de producción se realizarán los ajustes necesarios al programa que se transmitirá. Finalmente, el master proporcionará la interfaz con la

transmisión. Se adecúa el momento y el espacio en el que se enviará la señal a la antena transmisora del cerro del Chiquihuite.

El Estudio HDTV (High Definition Television) manejará señales digitales, la producción y manejo de señales será mucho más sencillo y compacto, ya que un equipo digital sustituye a varios analógicos.

En la figura 2 se muestra nuestra propuesta en diagrama a bloques de cada una de las secciones que conforman Estudio de HD.

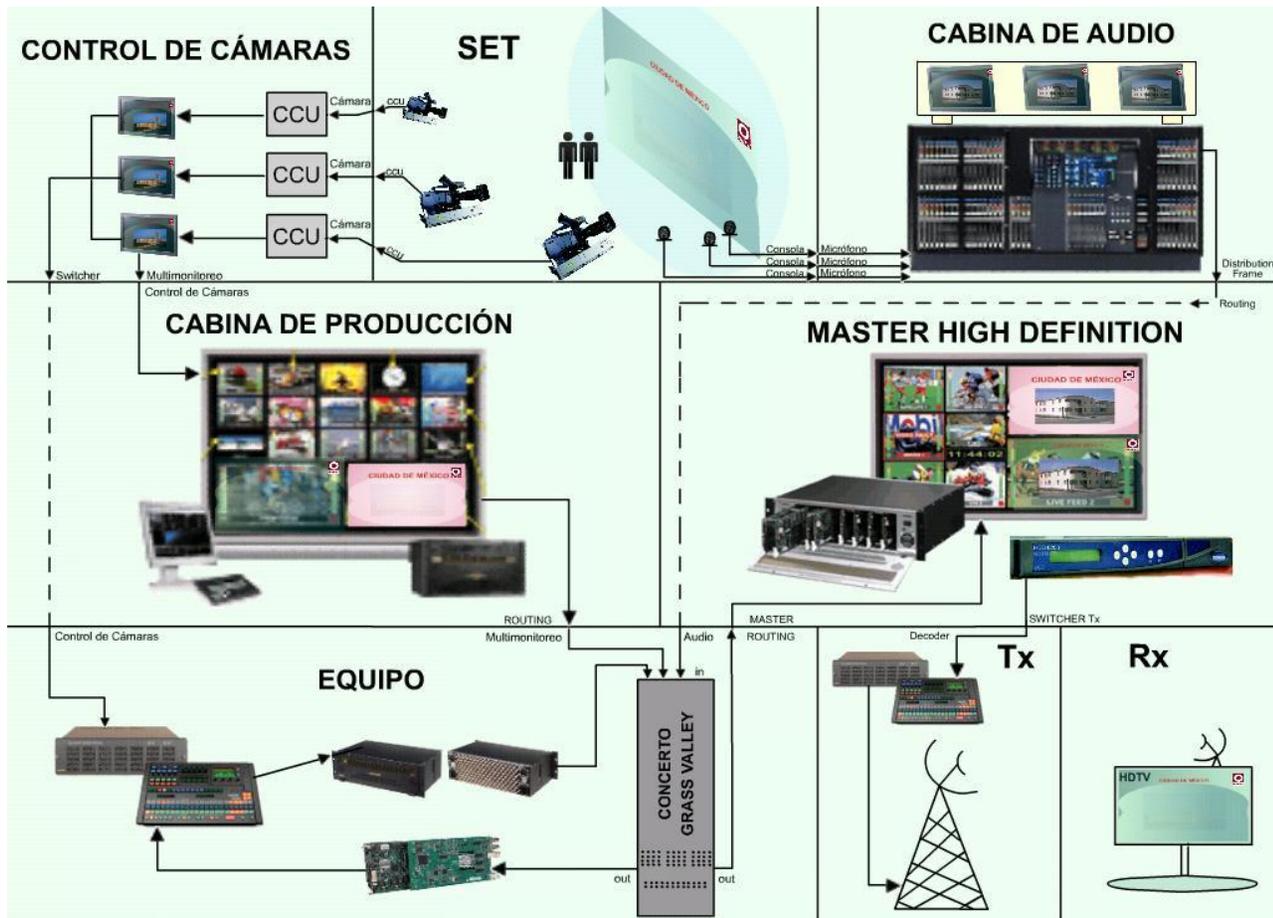


Fig. 2. Estudio de Alta Definición

A continuación se describen las características de cada una de las secciones mencionadas anteriormente, con la finalidad de analizar a detalle los equipos que las conforman.

### Set

Después de inspeccionar los diferentes Estudios de *Canal Once*, observamos que los equipos requeridos para el set de alta definición son cámaras y micrófonos que trabajen con esta tecnología, además de todo lo relacionado con la escenografía e iluminación. De acuerdo a las características necesarias para el funcionamiento adecuado del set, analizamos varias propuestas de distintas marcas, buscando que los equipos requeridos en el set manejarán señales digitales, adecuadas para alta definición. Además de características específicas que se mencionarán a continuación.

Relacionado a las cámaras de video que soportan TV de alta definición, encontramos que la más apropiada y aconsejable por muchas características es la cámara Grass Valley Mod. LDK 4000 mk II [4].

En cuanto a los micrófonos requeridos para dicho Set, se analizaron características de micrófonos analógicos relacionadas con la calidad de percepción de sonido y con la distribución del mismo. De esta manera, tomamos en cuenta 3 micrófonos del fabricante SHURE, Modelo MC50B [5]. Dejando en claro que la elección del micrófono analógico fue debido a que en

cuestión de audio se contempla utilizar una consola digital capaz de convertir la señal analógica a digital, y con esta misma tratar la señal y llegar al nivel deseado para la alta definición de 5.1 surround.

### ***Control de cámaras***

Al tener la imagen proporcionada por las cámaras en el set, es necesario ajustar algunos parámetros como colorimetría y ganancia, previo al procesamiento de la señal. En el control de cámaras se llevarán a cabo estos ajustes a la señal por medio de la CCU el cual se controla a través de una botonera y una palanca, respetando los estándares de video. Este dispositivo depende del modelo de la cámara por la elevada exigencia en compatibilidad por trabajar en conjunto con esta. La visualización de la señal modificada y las tomas que se estarán realizando, se llevarán a cabo por medio de monitores especiales para señales en alta definición. La resolución es un factor importante que se debe considerar para la adquisición de un monitor y el tipo de señales que procesa. Haciendo el análisis necesario en diferentes opciones de monitores consideramos que la mejor opción es el monitor SONY modelo LMD-2450W [6].

### ***Cabina de audio***

En el set se encontrarán 3 micrófonos SHURE Mod. MC50B, los cuales, como ya se mencionó anteriormente manejan señales analógicas; para los propósitos de producción se requieren únicamente señales digitales. Por tal motivo es necesario que estas señales pasen a la consola digital ubicada en la cabina de audio. Dicha consola contiene un convertidor A/D y así es posible contar con una señal de audio digital. Por otro lado, se necesita monitorear la señal de video proveniente del set para que en conjunto con la señal de audio se sincronicen y se les den los efectos deseados. Estos monitores deben tener compatibilidad con señales de HD y tamaño adecuado para la función que desempeñan, además de una alta calidad en su resolución.

La consola de audio digital que cumple con lo expuesto y la más apropiada para el procesamiento de la señal de audio, es la consola Yamaha modelo DM2000 [7]. Además de 3 monitores Sony LMD-2030W para HD de tamaño adecuado para las funciones que desempeñan.

### ***Cabina de producción***

Las imágenes provenientes de los monitores del control de cámaras se trasladarán a la cabina de producción, ya que esta contará con un sistema de multimonitoreo, en el cual se llevará el control de cada una de las imágenes provenientes de las cámaras en tiempos reales y desfasados, además de las distintas señales que se ocupan en la producción como son los enlaces remotos, la señal al aire, etc. El multimonitoreo Evertz modelo VIP12 resulta una opción bastante viable ya que puede manejar hasta 12 entradas de video y soportar audio embebido [3].

### ***Área de equipo***

Después de que la señal esté siendo monitoreada en el control de cámaras, ésta debe sincronizarse y recibir los efectos adecuados para la producción de un programa. Para todo este proceso se requiere de un dispositivo capaz de llevar a cabo estas funciones. El más viable es el Switcher Grass Valley modelo Kayak HD250C [8].

Es necesario que la señal se distribuya hacia diferentes lugares del estudio e incluso hacia el master, con la finalidad de tener un panorama amplio de lo que se está grabando. Para este proceso es necesario contar con un Distribution Frame y recomendamos el Grass Valley modelo Kayak HD250C [1].

Se requerirá tener acceso rápido y de manera sencilla a todas las señales utilizadas en el estudio. La manera de obtenerlas es a través de un Routing. Proponemos utilizar el de Grass Valley modelo Concerto 32x32 [9].

En algunas ocasiones será necesario cambiar el estándar de algunas señales; es decir de SD a HD ó de HD a SD, o simplemente cambiar el formato de la señal dentro de un mismo estándar. Con un Up/Down/Cross Converter es posible realizar cualesquiera de estos procesos. Nuestra propuesta es el modelo 899 UDX de Grass Valley [10].

### ***Control maestro***

Cada canal de televisión cuenta con un control maestro; lugar en donde se lleva el control de cada una de las producciones elaboradas dentro de dicho canal y el control de material televisivo que se tiene almacenado. El control maestro de Canal

Once actualmente lleva el control interno de 5 Estudios SD y pretendemos anexas nuestra propuesta de Estudio de Alta Definición a él.

Cuando la señal ha sido procesada, tanto audio como video, además de pasar por un proceso de post-producción, la señal final llega al master. Este asigna efectos distintivos por medio de un dispositivo llamado Closed Caption Decoder. Estos efectos aparecerán sobre la imagen como logos o símbolos, con la finalidad de proteger al programa. El master se encuentra en constante monitoreo con los Estudios para tomar la información necesaria y visualizarla por medio de un sistema de multimonitoreo.

El Closed Caption Decoder ubicado en el master es un dispositivo capaz de aceptar señales SD y HD. Esto es muy práctico ya que un solo equipo ubicado en el master cumple su función para cada uno de los Estudios. En nuestra propuesta, por fines económicos y prácticos, recomendamos utilizar el dispositivo que actualmente opera en el master. Este es el Decoder Grass Valley modelo HDD 8200 [2]. Con respecto al monitoreo consideramos el Multimonitoreo Evertz modelo VIP12, debido a que se adecúa a la cantidad de señales que se pretenden manejar.

La siguiente figura muestra el flujo de la señal de televisión de alta definición de nuestra propuesta a detalle, con los equipos mencionados anteriormente en cada sección del Estudio HD.

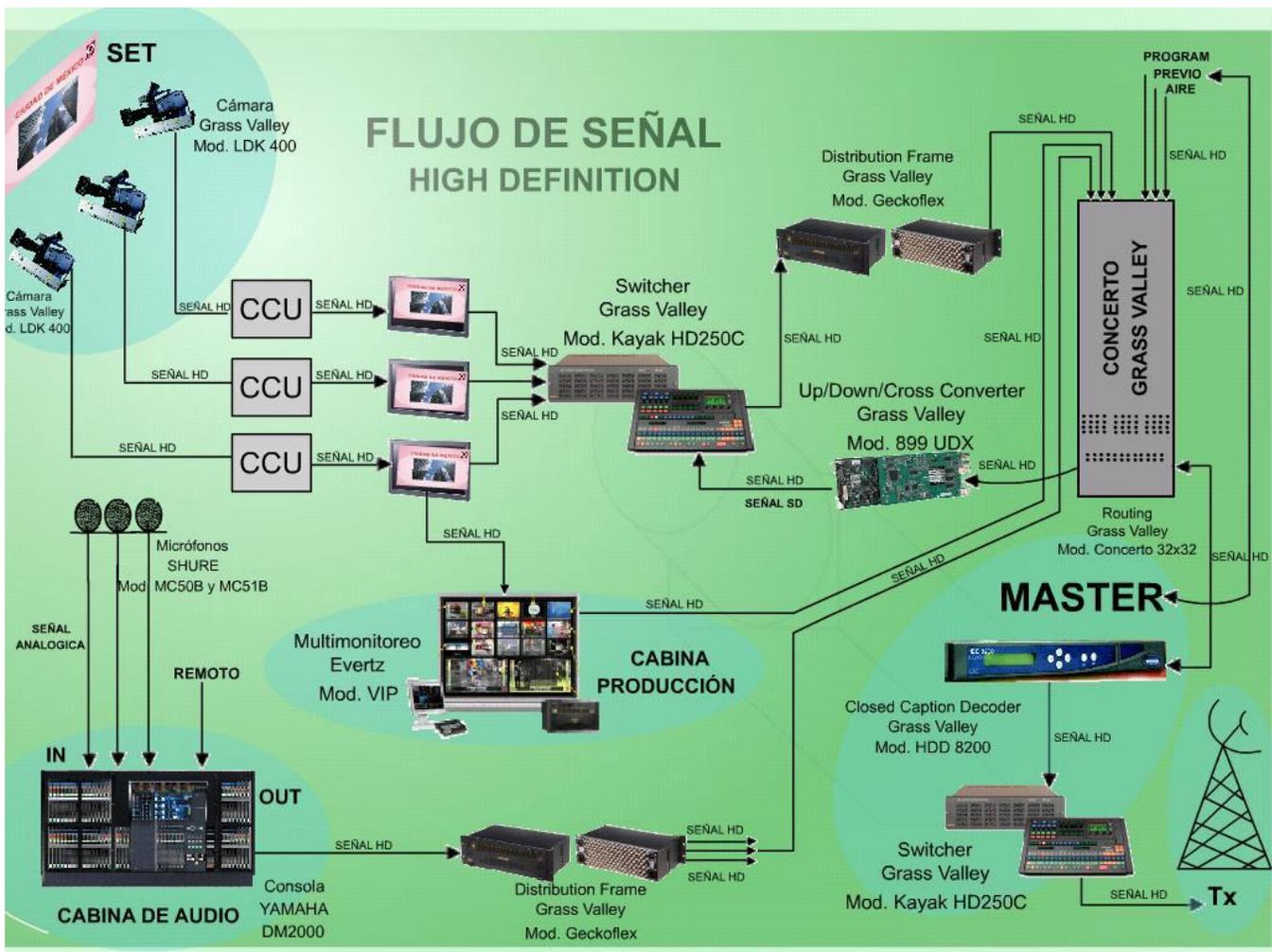


Fig. 3. Flujo de señal de Alta Definición

## CONCLUSIONES

La transición de lo analógico a lo digital promete revolucionar los servicios de televisión. La regulación mexicana apenas ha comenzado a responder a los cambios que se presentan. Siguiendo el modelo establecido por los estadounidenses, las autoridades mexicanas han adoptado el estándar de televisión digital de alta definición de los norteamericanos, y han planeado una transición gradual y regulada basada en la transmisión simultánea de señales de televisión analógica y digital, fundada, también, en la asignación de frecuencias adicionales a los radiodifusores existentes.

Presentamos la propuesta de migración del Estudio SDTV de *Canal Once México*, a un Estudio de televisión de Alta Definición (HDTV). Se describen las características de funcionamiento de todos los equipos que tiene actualmente *Canal Once* en la transmisión de televisión de Definición Estándar. En base a este sistema, habiendo considerado análisis de compatibilidad, proponemos los equipos necesarios para el Estudio de televisión con Alta Definición. Nuestra propuesta para el flujo de la señal en Alta Definición se resume en la figura 3. Así mismo, ahí están presentes los modelos de equipos y fabricantes que harán posible alcanzar un eficiente procesamiento de señales y servicios digitales de información en el Estudio de televisión de Alta Definición.

## RECOMENDACIONES A FUTURO

Se pretende que en un futuro *Canal Once México* aproveche los distintos servicios que brinda la televisión digital además de la programación en alta definición. El Estudio de Televisión HDTV propuesto en este trabajo, consideramos adecuado tecnológicamente para ofrecer servicios digitales, como mensajes al televidente, el estado del clima por medio de banners, medios interactivos que pueden ser utilizados como encuestas, entre otros servicios. Todo esto será posible ya que se cuenta con los medios necesarios para distribuirlos, y solamente se necesitarían desarrollar nuevas aplicaciones para explotar al máximo esta tecnología para el beneficio de los usuarios.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al ingeniero Alejandro García Rodríguez, Jefe del Departamento de audio y monitoreo del área de ingeniería de Canal Once, por todo su apoyo, colaboración y accesibilidad durante todo el proceso de esta investigación, así como su interés en realizar este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] <http://pro.jvc.com./prof/main.jsp>
- [2] <http://www.grassvalley.com/decoder>
- [3] <http://www.shure.com>
- [4] <http://www.yamaha.com>
- [5] <http://www.panasonic.com/business/provideo>
- [6] <http://www.sony.com.mx/corporate>
- [7] The leader in HDTV & IPVT 2006/2007 Broadcast pages Evertz
- [8] <http://www.grassvalley.com/switcher>
- [9] <http://www.grassvalley.com/routing>
- [10] <http://www.grassvalley.com/updowncrossconverter>
- [11] <http://www.grassvalley.com/camaras>
- [12] <http://www.grassvalley.com/distributionframe>
- [13] The ATSC Digital Television System 38 Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 1, January 2006.
- [14] Sgrignoli Gary, "History of ATSC Digital Television Transmission System", IEEE 2007.
- [15] Lechner Bernard J., Chernock Richard, "The ATSC Transport Layer, Including Program and System Information Protocol (PSIP), Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No.1, January 2006.
- [16] Bretl Wayne, Meintel William R., Sgrignoli Gary, Wang Xianbin, Weiss S. Merrill and Salehian Khalil, « ATSC RF, Modulation, and Transmission », Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No.1, January 2006.

# Un caso de aplicación de ENUM

Carina Aguilar-Chávez, Héctor Oviedo-Galdeano  
Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Departamento de Telecomunicaciones.  
C.P.07738 , México D.F., México  
Teléfono (55) 5729-6000 ext. 54672  
E-mail: caguilarch0600@ipn.mx, hovieo@ipn.mx

**Resumen** — La convergencia en las redes de telecomunicaciones ha dado paso a nuevos servicios, como ejemplo de esto es el protocolo ENUM que permite realizar una correspondencia de números E.164 a un URI. Pero ENUM no sólo es un servicio de correspondencia que utiliza los números E.164 como número universal, sino que también garantiza portabilidad numérica, apuntándose como el directorio de búsqueda para redes de nueva generación. Sin embargo, existen varios aspectos a tener en cuenta antes de hablar de una total implementación a nivel nacional. En este trabajo se describe el funcionamiento de ENUM y se muestra un caso de aplicación.

**Palabras Clave** – E.164, ENUM, NAPTR, portabilidad, URI, VoIP.

**Abstract**— The convergence in the telecommunications networks have given way to new services, as example of this is the ENUM protocol that allows to carry out a correspondence E.164 numbers to URI. But ENUM is not just a service of correspondence that uses E.164 numbers as universal number but also guarantees number portability, suggested as the searchable directory for next generation network. However, there are several aspects to consider before talking about a full implementation at national level. This paper describes the operation of ENUM and shows a case of implementation.

**Keywords** — E.164, ENUM, NAPTR, portability, URI, VoIP.

## I. INTRODUCCIÓN

Mapeo de Números Electrónicos (ENUM, por sus siglas en Inglés) es un protocolo que maneja un número telefónico como identificador principal, el cual va a estar asociado con una serie de registros NAPTR (Puntero de Entidad de Denominación) almacenados en una base de datos que contendrá los diferentes identificadores con los que cuenta el usuario (e-mail, número telefónico, número celular, VoIP, fax). De esta manera el usuario manejará su número telefónico como único identificador. Pensemos en ENUM como un tipo de tarjeta de presentación electrónica que contiene solamente nuestro número telefónico el cual podrá ser digitado por cualquier usuario en Internet y así tener acceso a toda la información de contacto que hemos asociado a dicho número.

ENUM basa su funcionamiento en los Sistemas de Nombres de Dominio (DNS, por sus siglas en Inglés) y un protocolo de mapeo de números de la Recomendación E.164 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones [1] (ITU, por sus siglas en Inglés) en Identificadores Uniformes de Recursos (URI, por

sus siglas en Inglés) de manera que toda la información relacionada con un usuario se centralice en el DNS almacenada en los registros NAPTR [2].

ENUM propone utilizar números telefónicos E.164, los cuales son únicos para cada usuario, con el fin de identificar a los usuarios finales, con independencia de que se encuentre disponible a través de una o varias terminales.

Los registros NAPTR se utilizan para identificar formas disponibles de contactar con un usuario, teniendo presente que para cada uno pueden ser varias las vías de comunicación, tales como: telefonía fija, móvil, VoIP, correo electrónico, fax, web, coordenadas GPS o servicios de mensajería. El funcionamiento de ENUM lo podemos dividir en dos partes:

La primera es donde se realiza el mapeo de un número E.164 a un URI:

1. Se parte de un número telefónico E.164:

**+52558387547**

2. Se quita el símbolo ‘+’ y se agrega puntos entre los dígitos:

**5.2.5.5.8.3.8.7.5.4.7**

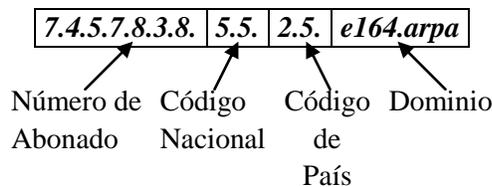
3. Se invierte la secuencia, debido que los DNS parten de lo más general a lo más particular.

**7.4.5.7.8.3.8.5.5.2.5**

4. Se agrega el dominio *e164.arpa*, el cual es el dominio establecido para ENUM, de esta manera se obtiene un URI:

**7.4.5.7.8.3.8.5.5.2.5.e164.arpa**

donde:



La segunda parte es donde se hace la búsqueda del URI en el DNS el cual contendrá los registros NAPTR asociados al número E.164. Los registros NAPTR tendrán toda la información de contacto del usuario. Ver Figura 1.

IN	10	10	“u”	h323+E2U	“!^.*\$!h323:user@23.12.0.1!”
IN	100	10	“u”	SIP+E2U	“!^.*\$!sip:user@dominio.com!”
IN	101	10	“u”	tel+E2U	“!^.*\$!tel:+5257345678!”

**Figura 1. Ejemplo de registros NAPTR.**

Cuando una persona se quiere comunicar con otra por algún medio de comunicación, primero tiene que decidir cuál vía elegir: telefonía, correo electrónico, fax, página web, etc. ENUM le permite al usuario que llama olvidarse de esto, ya que es la persona llamada quien decide la vía la cual desea le lleguen las llamadas

o mensajes, esto permite que los usuarios propietarios de un número ENUM puedan cambiar sus números de telefonía, direcciones de correo electrónico, páginas web o cualquier otro identificador sin tener que informarlo a todos sus contactos.

## II. TIPOS DE ENUM

Dentro del concepto de ENUM se puede hablar de tres diferentes tipos: público, privado y de infraestructura. Para poder entenderlos de una mejor manera, a continuación se explican cada uno de ellos:

### ENUM PÚBLICO

En el ENUM público o de usuario como también es conocido, para que un abonado pueda utilizar el servicio debe obtener tres elementos del proveedor del servicio:

1. Un URI personal.
2. Un número E.164 ENUM, el cual es un número E.164 asignado de entre los que se atribuyan a ENUM. En algunos países se admite que el usuario proponga cualquier número personal.
3. Un permiso para que el usuario pueda escribir sus preferencias de desvío y terminación de llamadas en el registro NAPTR. El usuario accederá a él mediante el URI.

Los elementos que intervienen directamente en el ENUM público son: el abonado o registrante, el registrador, el registro y el regulador [3]. El mecanismo funciona de la siguiente manera:

El registrador proporciona al abonado un URI el cual se utiliza para acceder al servidor DNS y a los registros NAPTR, un número ENUM personal o un número que proponga el usuario ya sea el de su número telefónico fijo o móvil el cual va a estar asociado al URI. Por último, el registro NAPTR que se obtiene mediante dicho URI contiene las preferencias de desvío y terminación de llamadas del abonado.

Cuando un usuario de la RTPC marca un número ENUM, el gateway RTCP/IP cambiará ese número E.164 por el URI correspondiente. A través del URI se accederá al servidor DNS de ENUM y traerá un registro NAPTR que se conoce como “la información de acceso”, el cual tendrá la prioridad de los servicios de la persona llamada y así completar la comunicación de acuerdo a esa prioridad. Los servicios pueden ser dirección de e-mail, número de fax, número telefónico, página web, URI de VoIP, coordenadas GPS o direcciones de mensajería instantánea. De cualquier manera, si se inicia una llamada desde la RTPC o por una red IP se accede al mismo registro NAPTR.

La ITU ha asignado una zona específica o rango URI para ENUM, éste es *e164.arpa*, sin embargo, se desea que cada país cuente con su propio dominio. Esto es con la finalidad de manejar una zona que identifique los números para cada país, análogamente a la numeración E.164. Para el caso de México se espera que se asigne el subdominio *2.5.e164.arpa*.

### ENUM PRIVADO

Las empresas pueden utilizar las técnicas de ENUM en sus redes y en las de sus clientes o proveedores para tener planes de numeración privados, de manera que puedan permanecer perfectamente comunicados para todo tipo de información, sea voz, datos, email e imágenes.

El servicio de ENUM privado no está obligado a sujetarse a las normas o estándares públicos en su totalidad porque está en un entorno privado y controlado, por lo que puede no emplear el sistema DNS público.

Para que la implementación de ENUM sea apropiada, los registrantes deben tener la seguridad que el funcionamiento del sistema no afectará la privacidad de su información personal. La participación y elección de hacer uso del servicio de ENUM es decisión del usuario. De esta manera no se registra ningún número telefónico sin el consentimiento del propietario autorizado de ese número.

Los registrantes controlan la prioridad y la información que se agrega a los registros NAPTR asociada con su número telefónico. Para poder utilizar los servicios de comunicaciones el usuario debe estar dispuesto a revelar cierta información personal, como es correo electrónico y número telefónico.

### **DE INFRAESTRUCTURA O DE OPERADOR**

En esta clasificación de ENUM, el Operador es el que administra los registros NAPTR. La información contenida en la base de datos pública o privada, es manejada por el Operador, de manera que el ENUM de Infraestructura les permite a los Operadores encaminar sus llamadas. Se utiliza básicamente para la interconexión entre operadores de telefonía, a diferencia del ENUM de Usuario que se puede ver como una tarjeta de presentación electrónica. Dentro de la literatura se nomina a este tipo de ENUM como *Carrier ENUM*.

Sin embargo, todos comparten las mismas ventajas, las cuales son permitir que las llamadas que se generan se mantengan y/o terminen en Internet así como portabilidad numérica.

### **III. PORTABILIDAD UTILIZANDO ENUM**

Como ya se ha descrito anteriormente ENUM proporciona un único identificador para hacer uso de los servicios de comunicación (telefonía fija, móvil, e-mail, páginas web, mensajería instantánea, fax), con esto ENUM no sólo facilitará el direccionamiento entre redes convergentes sino que también proporcionará portabilidad numérica para el usuario final.

Si bien actualmente existe ya la portabilidad numérica entre operadores de telefonía, ENUM no deja de ser una opción que se debe tener en cuenta como punto neutro entre operadores así como directorio de búsqueda en las redes de siguiente generación.

### **IV. INTRODUCCIÓN DE ENUM**

La ITU ha asignado una zona específica o rango URI para ENUM, éste es el *e164.arpa*. Para que ENUM se implemente en un país se requiere que la ITU delegue el dominio correspondiente al país de acuerdo al formato *x.y.z.e164.arpa* donde *zyx* es el código de país correspondiente.

El organismo que se encarga de examinar las solicitudes de delegación para el dominio *e164.arpa* es el TSB (Telecommunications Standardization Bureau). Los países a los que la TSB les ha aprobado el uso de sus códigos de país para uso de ENUM se encuentran en el documento de la ITU publicado en [4]. Los países a los cuales ya se les ha delegado su dominio, administrarán de acuerdo a sus propias normas los números

telefónicos que sean para uso de ENUM. Cabe señalar que los dominios de los códigos de país son almacenados en el DNS *e164.arpa* quedando estos bajo la completa administración del DNS.

Los Trials son proyectos que utilizan los países que desean experimentar con ENUM pero que aún no tienen delegado el dominio correspondiente y su objetivo principal es permitirle a los usuarios de Internet y a las operadoras telefónicas que experimenten y se familiaricen con el protocolo ENUM. La lista de peticiones para uso de ENUM por código de país se encuentra disponible en [5].

De acuerdo a la ITU, los países que cuentan con ENUM Trial son: Austria, China, Finlandia, Francia, Corea, República de Polonia, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos [6].

Existe la red Nrenum.net, producto de la Red Nacional de Investigación y Educación (NREN, por sus siglas en Inglés) y la Asociación Trans-Europea de Investigación y Educación sobre Redes (TERENA, por sus siglas en Inglés), creada para ofrecer el servicio de ENUM en países donde el dominio *e164.arpa* no está disponible todavía. Actualmente los países que participan en Nrenum.net son: Países Bajos, Grecia, Bélgica, España, Portugal, Hungría, Lituania, Eslovenia, Italia y Suiza [7].

En el caso de México, aún no se delega el dominio *2.5.e164.arpa*, pero existe ENUM Trial México, proyecto creado por NIC México y el Tecnológico de Monterrey, el cual permite a los usuarios obtener números telefónicos privados para que se familiaricen y realicen pruebas con el protocolo ENUM. Los números que son proporcionados por este proyecto no pueden ser utilizados en la Red Telefónica Pública Conmutada por lo que no existe una conexión entre la red telefónica y VoIP. El dominio utilizado es: *enum.org.mx* [8].

Por otro lado, Instituciones como la UNAM están llevando a cabo un proyecto de implementación del ENUM a nivel local utilizando los recursos de su laboratorio de VoIP, además de comprobar simultáneamente el soporte de ENUM en servidores Asterisk y OpenSER [9].

La razón principal por la que ENUM se ha hecho interesante para la industria de las telecomunicaciones es por la capacidad para facilitar la transición de la RTPC a Internet, significando un ahorro en costo para las compañías que lo llevan a cabo. Además, los usuarios pueden acceder a varios canales de comunicación tales como teléfono, celular, fax y correo electrónico a través de una sola línea.

ENUM también resulta atractivo debido a que si bien, hace uso de una interconexión IP para establecer una comunicación no es necesariamente indispensable que exista, ya que ENUM puede funcionar también sobre la RTPC solamente. Con esto se puede ver que al utilizar ENUM se tiene una variedad de posibles usos de comunicación:

- Mapeo de números E.164 a URI.
- Portabilidad numérica.
- Servicio personalizado de terminación de llamadas el cual es gestionado por el usuario, ya sea para la RTPC, Telefonía IP o para ambas.
- ENUM proporciona un número universal de telecomunicaciones.
- Plan de numeración multicentral.

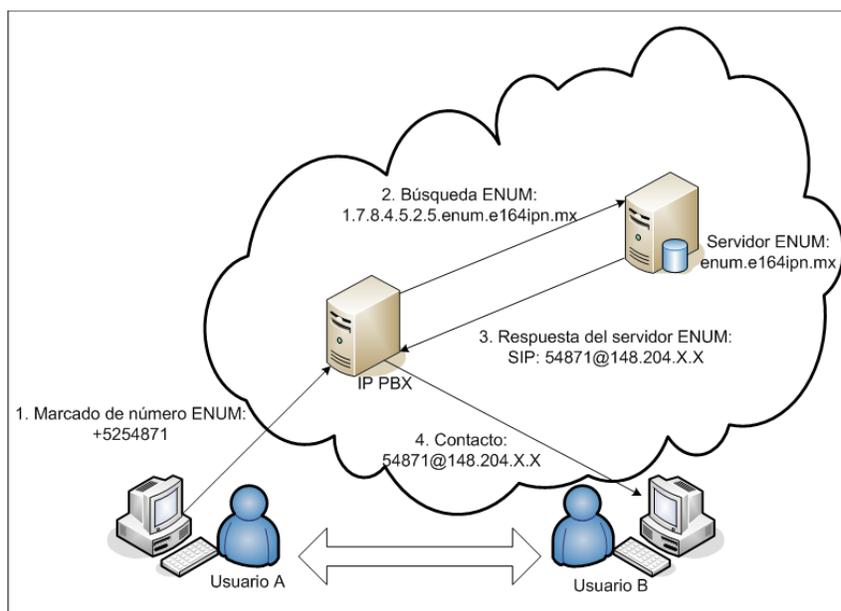
## V. APLICACIÓN DE ENUM

Sin embargo, los Trials no son la única manera en que se puede probar y usar el protocolo ENUM. Los usuarios con conocimientos de IP-PBX y DNS pueden configurar su propio servidor ENUM privado y comenzar a experimentar con este protocolo.

Como un caso de aplicación se propone el protocolo ENUM para uso de los usuarios dentro del IPN para la integración del direccionamiento IP y la numeración telefónica [10].

La arquitectura de la red de voz del IPN consta de una dorsal integrada por tres nodos principales de conmutación: Zacatenco, Santo Tomás y UPIICSA, además de enlaces a Centros Foráneos. La estructura de los números E.164 que integran el plan de numeración telefónico del IPN se define como un plan de numeración de 5 dígitos, con una capacidad de 999 abonados por cada zona de numeración. Actualmente en la red telefónica se encuentran instaladas 7,286 extensiones de las cuales aproximadamente 1,200 son extensiones de VoIP.

En [10, páginas 55-62] se muestran las pruebas de comunicación y funcionalidad del protocolo ENUM empleando un servidor DNS y un IP-PBX previamente configurados para que resuelvan peticiones del tipo ENUM. La Figura 2 muestra la maqueta para las pruebas de funcionalidad. La interconexión con la RTPC no forma parte de estas pruebas.



**Figura 2.- Maqueta para pruebas de funcionalidad del protocolo ENUM empleando un dominio local.**

Para la configuración del servidor ENUM local se emplearon números E.164 privados y locales distintos a los del plan de numeración de extensiones telefónicas del IPN. Estos números no pueden ser utilizados dentro de la RTPC. El dominio configurado para el servidor ENUM es *enum.e164ipn.mx*. y sólo se empleó de manera local ya que no es un dominio registrado y no se encuentra disponible en Internet. Para las pruebas de funcionalidad del servidor ENUM se hace uso del DNS tipo BIND 9 que es uno de los servidores que soporta peticiones ENUM por medio de los registros NAPTR. Parte del fichero de zona de los registros NAPTR se muestra en la Figura 3.

```

$TTL 604800
@ IN SOA enum.e164ipn.mx. hostmaster.e164ipn.mx. (
    2009011001
    8H
    2H
    4W
    1D )
IN NS enum.e164ipn.mx.
enum. IN A 148.204.X.X
;usuario 1
1.7.8.4.5.2.5 IN NAPTR 100 10 "u" "E2U+sip" "!^.*$!sip:54871@148.204.X.X!".
1.7.8.4.5.2.5 IN NAPTR 101 10 "u" "E2U+iax" "!^.*$!iax:57320@148.204.X.X!".
;usuario 2
2.7.8.4.5.2.5 IN NAPTR 100 10 "u" "E2U+sip" "!^.*$!sip:54872@148.204.X.X!".

```

**Figura 3.- Parte del fichero de registros NAPTR.**

Para poder desarrollar por completo los beneficios que presenta este protocolo es necesario tener una interconexión con la RTPC. Sin embargo, dentro de una red privada en donde la comunicación es por IP, el uso de un servidor ENUM con las características del utilizado en este trabajo resulta muy útil.

Dentro de los lugares donde se emplean extensiones telefónicas, un usuario propietario de un número ENUM podrá decidir en dónde desea que terminen sus llamadas. Cuando algún usuario es reubicado, se le asigna una nueva extensión telefónica la cual tendrá que comunicar a sus contactos proporcionando su nuevo número de extensión. De otra manera no podrán localizarlo vía telefónica dentro de la red. Al emplear ENUM, como es un número telefónico único, lo anterior no sucederá, ya que si el usuario cambia de extensión telefónica lo único que tendrá que hacer es ingresar y cambiar los registros NAPTR indicando el número de extensión en la cual terminarán sus llamadas, sin necesidad de avisarle a sus contactos, pues ellos sólo conocerán su número ENUM, el cual nunca cambia.

Existe el caso en que la extensión telefónica también se reubica, provocando un desorden [10, página 41], ENUM en esta situación logra que no exista tal desorganización ya que las extensiones telefónicas no se reubican, lo único que se hace es configurar los registros NAPTR con el número telefónico a donde se desee terminar las llamadas.

Como parte de la propuesta de aplicación de ENUM y teniendo en cuenta que por el avance de la tecnología una llamada telefónica no sólo es capaz de establecerse por medio de un aparato telefónico sino también por medio de un softphone, el servicio telefónico puede extenderse a toda la comunidad politécnica contando cada uno de los miembros del Instituto -docentes, alumnos y administrativos- con una extensión telefónica. En [10] se muestra la propuesta de un nuevo plan de numeración de 6 dígitos para la comunidad estudiantil debido a que en este sector la densidad poblacional excede la cantidad de usuarios que puede soportar el actual plan de numeración de extensiones telefónicas.

El servicio telefónico para el sector estudiantil hace que se incorpore a lo alumnos dentro de un servicio que antes sólo era para docentes y administrativos, con esto los alumnos podrán mantenerse en contacto telefónico.

La propuesta de integrar el direccionamiento de datos y voz mediante el protocolo ENUM se puede realizar en la red de telecomunicaciones del IPN en la fase de migración hacia la red convergente en la que se encuentra hasta este momento, incorporando en el servidor DNS del Instituto los registros correspondientes para que resuelva peticiones ENUM y un IP-PBX que soporte consultas del tipo ENUM.

## VI. CONCLUSIONES

ENUM es un protocolo para redes de siguiente generación el cual cubre los servicios de comunicación logrando que el usuario maneje un número telefónico como identificador único independientemente de la red donde se encuentre. De esta manera ENUM facilita la interconexión entre redes convergentes y garantiza portabilidad numérica para el usuario.

Para que ENUM se implemente completamente en un país no solamente se tiene que considerar la parte técnica sino también las normas de regulación que existan en cada país, sin embargo, resultan muy útiles las redes de prueba que se han creado para que el usuario final conozca y utilice esta solución que existe para las redes convergentes.

Actualmente en el IPN existe una migración hacia el servicio de VoIP, tomando en cuenta esto, incorporar el ENUM resulta factible como alternativa para el problema de manejo de diferentes esquemas de direccionamiento de los servicios ofrecidos en la red convergente

## VII. REFERENCIAS

- [1] E.164: The International public telecommunication numbering plan.  
*Disponible:* <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.164-200502-I/en>
- [2] Nuevo direccionamiento para redes convergentes. C. Aguilar Chávez, H. Oviedo Galdeano. 10mo. Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas. Noviembre 26-30, 2007. México, D.F.
- [3] ENUM in the Netherlands  
*Disponible:* <http://www.itu.int/ITU-T/inr/enum/rep-enum-ndl-v4.pdf>
- [4] E.164 country codes for which TSB has received approvals for ENUM delegations to be performed by RIPE NCC.  
*Disponible:* [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/02/08/T02080000010003PDFE.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/02/08/T02080000010003PDFE.pdf)
- [5] ENUM request archives.  
*Disponible:* <http://www.ripe.net/enum/request-archives/index.html>
- [6] ENUM Trials.  
*Disponible:* <http://www.itu.int/ITU-T/inr/enum/trials.html>
- [7] Nrenum.  
*Disponible:* [http://www.nrenum.net/index.php/Main\\_Page](http://www.nrenum.net/index.php/Main_Page)
- [8] ENUM Trial México.  
*Disponible:* <http://www.enum.org.mx/>
- [9] GT-VoIP UNAM.  
*Disponible:* <http://www.voip.unam.mx/>
- [10] “Integración de la numeración telefónica y el direccionamiento IP para una red convergente del Instituto Politécnico Nacional”, Carina Aguilar Chávez, Tesis de Maestría, SEPI-ESIME Zacatenco, IPN, México DF, Febrero 2009.

# Integración comparativa entre el modelo teórico y el práctico sobre el desempeño de códigos de control de error.

Jorge Rojas B.<sup>1</sup>, Miguel Sánchez M.<sup>2</sup>, Patricia Camarena G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UPIITA, México D.F., México

<sup>2</sup>SEPI ESIME Zacatenco, México D.F., México

<sup>3</sup>ESIME Zacatenco, México D.F., México

**Resumen** — El presente documento es una propuesta didáctica para comprender y evaluar el desempeño de algunos códigos de control de error (de tipo BCH) mediante pruebas de simulación en Matlab y VHDL, y con ello verificar el grado de concordancia de los modelos teórico y práctico.

**Palabras Clave** – codificadores BCH, codificación de canal, simulación en Matlab, probabilidad de error, relación señal a ruido.

**Abstract** — This document shows a didactics proposal to understand and evaluate the performance of some error control codes (type BCH) using MATLAB and VHDL tests, and with it to verify the grade of concordance between mathematics model and the practical model.

**Keywords** — BCH codes, channel coding, Matlab tests, BER, SNR.

## I. INTRODUCCION

Los estudiantes que cursan asignaturas como teoría de la información y teoría de códigos, no cuentan con referencias bibliográficas accesibles para verificar los desempeños teóricos y prácticos principalmente de los codificadores fuente o de canal. Por tal razón el propósito de este trabajo es el de comparar el desempeño teórico y práctico de los algunos codificadores BCH mediante simulaciones en Matlab, programación de dispositivos CPLD's en VHDL y modelos matemáticos, el cual se verá reflejado en gráficos característicos donde intervengan la relación señal a ruido y la probabilidad de error.

## II. LOS CÓDIGOS BCH

Los códigos BCH constituyen una de las clases más importantes y poderosas de los codificadores de bloque, principalmente como códigos cíclicos correctores de errores aleatorios múltiples. Estos códigos fueron desarrollados conjuntamente por Bose y Ray-Chaudhuri en 1960 e independientemente por Hocquenghem en 1959; además de que posteriormente en 1960 Peterson diseñó el primero de los algoritmo para la decodificación BCH. Los codificadores BCH son códigos de corrección de  $t$  errores en el sentido de que pueden detectar y corregir hasta  $t$  errores aleatorios por palabra de código, por medio de la decodificación algebraica.

### A. Descripción general del caso binario.

Para cualquier entero positivo  $m \geq 3$  y con  $t \leq 2^{m-1}$ , existe un código BCH binario con los siguientes parámetros:

Longitud del bloque	$n = 2^m - 1$
Número de dígitos de paridad	$n - k \leq mt$
Distancia mínima	$d_{\min} \geq 2t + 1$

Fig. 1. Parámetros típicos de un código BCH.

Se puede observar que dicho código es capaz de corregir cualquier combinación de  $t$  o menos errores en un bloque de  $n = 2^m - 1$  dígitos binarios. En otras palabras, se habla de un “código binario BCH corrector de  $t$  errores”. Inclusive como los códigos BCH son códigos cíclicos, estos son también definidos por un polinomio generador  $g(x)$ , el cual para su caso, se encuentra especificado en términos de sus raíces provenientes del campo  $GF(2^m)$ . Asumiendo que  $\alpha$  es un elemento primitivo de  $GF(2^m)$ , el polinomio generador  $g(x)$  de estos códigos BCH con longitud del bloque código  $n = 2^m - 1$ , es el polinomio de más bajo grado sobre el campo  $GF(2)$  el cual tiene:

$$\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2t}$$

como sus raíces [  $g(\alpha^i) = 0$  para  $1 < i < 2t$  ].

Retomando algunos teoremas sobre las propiedades de las extensiones de campo  $GF(2^m)$  y la parte de los *polinomios mínimos*, se asumirá que  $M_i(x)$  sea el polinomio mínimo de  $\alpha^i$ . Entonces  $g(x)$  debe ser el m.c.m. (mínimo común múltiplo) de  $M_1(x), M_2(x), \dots, M_{2t}(x)$ , quedando  $g(x)$  como:

$$g(x) = m.c.m. \{M_1(x), M_2(x), \dots, M_{2t}(x)\}$$

(1)

### B. Lineamientos de diseño para los codificadores BCH

Un código BCH sobre  $GF(2)$  de longitud  $n$  capaz de corregir al menos  $t$  errores, se encuentra especificado por:

1. Determinado valor de  $m$  más pequeño tal que  $GF(q^m)$  tiene una  $n$ -ésima raíz primitiva de unidad  $\beta$ , lo que designará a  $n$  como  $n = q^m - 1$  (**primitivo**).

2. Determinado entero no negativo  $b$ , generalmente seleccionado con  $b = 1$  (sentido estricto).

3. Listado de las  $2t$  potencia consecutivas de  $\beta$ :

$$\beta^b, \beta^{b+1}, \dots, \beta^{b+2t-1}$$

determinando el polinomio mínimo con respecto a  $GF(q)$  de cada una de estas potencia de  $\beta$ .

4. El polinomio generador  $g(x)$  es el mínimo común múltiplo (m.c.m.) de esos polinomios mínimos.

Por otra parte, se puede denominar a un código BCH como un código cíclico ( $n, n - \text{grado}[g(x)]$ ).

Debido a que el polinomio generador es construido a partir de polinomios mínimos respecto a  $GF(q)$ ,  $g(x)$  tiene coeficientes en  $GF(q)$ , ello también da lugar a que el código esté en  $GF(q)$  (polinomio de las palabras código resultantes). Para profundizar en esto último, se puede mencionar que existen dos campos involucrados en la construcción de los códigos BCH, conocidos como el “campo menor” y el “campo mayor”. El campo menor  $GF(q)$  es donde el polinomio generador tiene sus coeficientes y también es el campo donde los elementos de las palabras código se encuentran. Por su parte, el campo mayor  $GF(q^m)$  es el campo donde el polinomio generador tiene sus raíces. Y para efectos de pura codificación es suficiente trabajar sólo con el campo menor, mientras que para la decodificación se requiere del campo mayor. En la fig. 2 se visualizan los distintos polinomios y su conexión con tales campos.

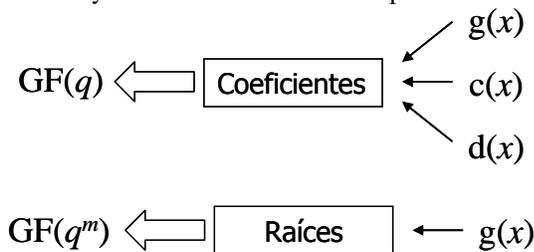


Fig. 2. Conexión entre los polinomios y sus campos.

### C. Lineamientos generales para el proceso de decodificación BCH

La decodificación BCH algebraica tiene los siguientes pasos:

1. Cálculo del síndrome  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{2t}\}$ , por medio del polinomio de la palabra recibida  $r(x)$ .

2. Determinación de un *polinomio localizador de error*  $\Lambda(x)$ . Ello con el uso de los componentes del síndrome  $S_1, S_2, \dots, S_{2t}$ .

Dicho polinomio es nombrado así, ya que sus raíces proporcionan un indicativo de dónde se encuentran los errores a corregir. Esta etapa tiene varios métodos (tanto para BCH como RS) para encontrar dicho *polinomio localizador de error*:

- ✓ Algoritmo de Peterson para códigos BCH
- ✓ Algoritmo de Berlekamp-Massey para códigos BCH
- ✓ Algoritmo Euclidiano, inclusive
- ✓ Técnica basada en transformada de Fourier para campos de Galois

El algoritmo que se utilizó en este trabajo es el de Berlekamp-Massey.

3. Buscar las raíces del *polinomio localizador de error*  $\Lambda(x)$ . Esto usualmente se realiza utilizando la denominada “búsqueda de Chien”, la cual consiste en una búsqueda exhaustiva de raíces con todos los elementos del campo.

4. Determinar el polinomio patrón del error  $e(x)$ , el cual está conformado por los denominados *localizadores de error*  $\{X_i\}$ . Estos últimos son los recíprocos de las raíces de  $\Lambda(x)$ .

5. Corregir el error mediante la suma del polinomio patrón del error  $e(x)$  con el polinomio de la palabra recibida  $r(x)$ , y así obtener la palabra de código  $c(x)$  enviada originalmente.

Para efectos del presente trabajo se analizó la construcción de codificadores y decodificadores BCH binarios, primitivos y de sentido estricto ( $b = 1$ ).

### III. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE CODIFICADORES BCH

Para tener un panorama completo sobre el desempeño de los codificadores BCH que se están analizando en este trabajo, se ha desarrollado el presente apartado en tres secciones, el primero concerniente a las pruebas de simulación utilizando el modelo matemático [15], el cual determina el cálculo de la probabilidad de error (tanto en bit como en palabra) con base en parámetros básicos ( $n, k$ , peso de Hamming de palabras código) de un codificador de bloque.

El segundo es una simulación utilizando los recursos de la herramienta Simulink de Matlab, mediante la generación iterativa de palabras dato de manera aleatoria que se hacen procesar por distintos bloques programados como codificadores BCH, canales BSC y decodificadores BCH, arrojando todo lo anterior en un cálculo de tasa de error en bit. Finalmente, el tercer apartado es el dedicado a las simulaciones en VHDL para programar dispositivos

CPLD como codificadores y decodificadores BCH. Los resultados arrojados por los tres anteriores esquemas de simulación se muestran en gráficas que visualizan la probabilidad de error vs. la SNR.

### A. Modelo teórico

Un criterio simple para medir el desempeño de un codificador de bloque, con un número máximo  $t$  de errores corregidos (decodificación de distancia limitada [16]) son la  $P_w$  y  $P_b$ , que están definidas como la probabilidad de error en palabra y probabilidad de error en bit, respectivamente, también conocidas como el WER y el BER.

Para calcular la probabilidad de error en bit posterior a la decodificación  $P_b$  (post-decoding BER), se tiene la siguiente expresión:

$$P_b = P_{eb} + P_{ub} \quad (2)$$

Y para calcular la probabilidad de error en palabra decodificada  $P_w$ , se cuenta con la siguiente expresión:

$$P_w = P_{ew} + P_{uw} \quad (3)$$

En las ecs. (2) y (3), se podrá observar que las probabilidades  $P_b$  y  $P_w$  se conforman por un par de probabilidades provenientes de dos diferentes tipos de errores propios del proceso de decodificación, siendo las primeras  $P_{eb}$  y  $P_{ew}$ , mientras que las segundas son  $P_{ub}$  y  $P_{uw}$ .

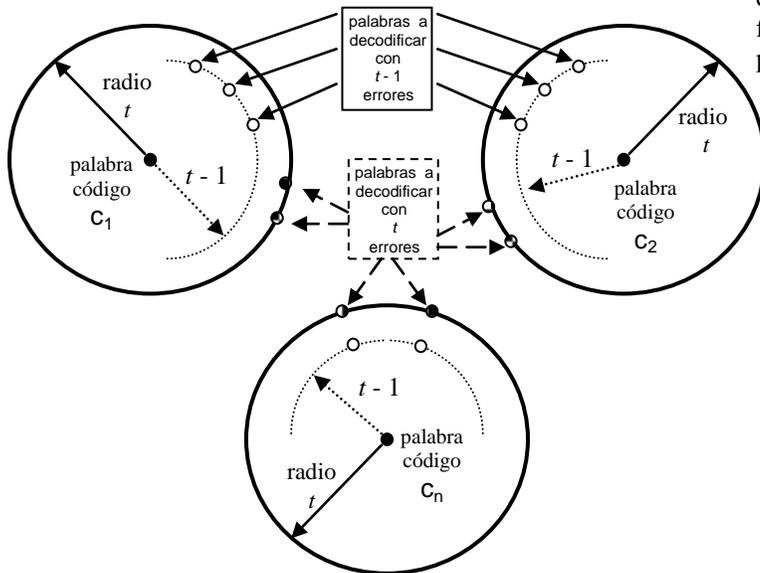


Fig. 3. Ejemplo de representación de las esferas de Hamming.

Los términos  $P_{eb}$  y  $P_{ew}$  de las ecs. (2) y (3) son las probabilidades de error (para bit y palabra respectivamente) atribuibles a palabras erróneamente decodificadas (decoding error), mientras que  $P_{ub}$  y  $P_{uw}$  son las probabilidades de error (para bit y palabra respectivamente) originadas por decodificación fallida (decoding failures) o también conocidas por errores provenientes de palabras “indecodificables” (undecodable word). A continuación se explica el significado que tienen dichos tipos de errores.

Un código bloque trata de corregir los símbolos erróneos (símbolos binarios para nuestro caso) dentro de una palabra recibida  $r$  si ésta yace dentro de una de las esferas de decodificación, esto es, alrededor de una de las palabras código (esferas de Hamming). Si el decodificador siempre corrige  $t$  o menos símbolos erróneos, entonces cada esfera de decodificación tiene radio  $t$ , y ninguna de las esferas se intersecan (código perfecto). Pero en un primer caso en el que ocurran más de  $t$  errores, la palabra recibida  $r$  puede yacer en una esfera de Hamming equivocada, es decir, estar alrededor de una palabra código incorrecta; o en un segundo caso, estar ubicada en el perímetro de intersección entre dos o más esferas.

Si la palabra recibida se encuentra en el primer caso, el decodificador selecciona una palabra de código incorrecta según sea el centro de tal esfera, y así producirá en su decodificación una palabra dato de salida con los denominados “errores indetectables”, a esto se le conoce como errores provenientes de palabras erróneamente decodificadas.

Ahora, si la palabra recibida  $r$  presenta el segundo caso, es decir, ésta se ubica en la intersección de tales fronteras, el decodificador no podrá corregir los errores pero sí reconoce la existencia de tales eventos.

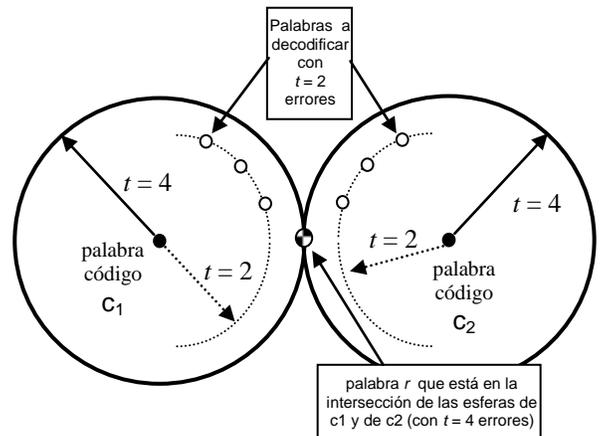


Fig. 4. Esquemas de esferas de Hamming para el caso de decodificación fallida.

De esta manera, el decodificador falla en su operación y lo que procede a realizar es reproducir la palabra dato  $d$  tal cual viene incorporada en la palabra  $r$  (codificación sistemática). A este tipo de error se le conoce como decodificación fallida por el arribo de “*palabras indecodificables*”. Las figura 3 y 4 muestran los dos casos anteriores.

### B. Gráficas comparativas del modelo teórico entre los códigos BCH analizados

Esta sección muestra las gráficas para el desempeño teórico en  $P_b$  y  $P_w$  pertenecientes a todos los códigos BCH que se simularon. Además, para tomar un comportamiento de referencia sin un proceso de codificación de canal, se incorporó en cada fig. la curva de desempeño para una señal antipodal sin codificación de canal.

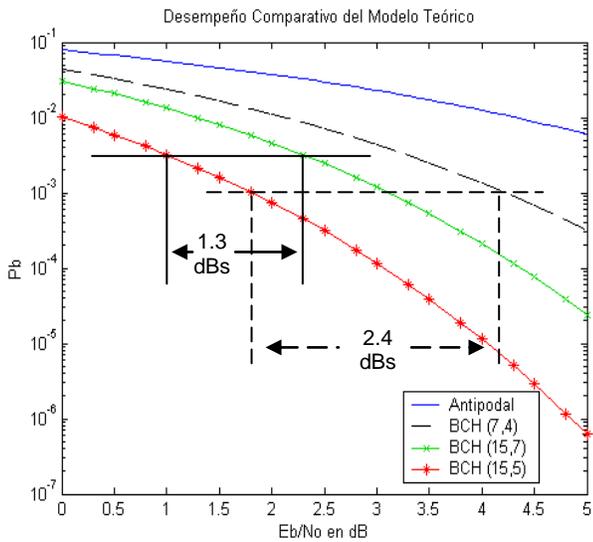


Fig. 5. Gráfica de  $P_b$  para el desempeño teórico entre los código BCH.

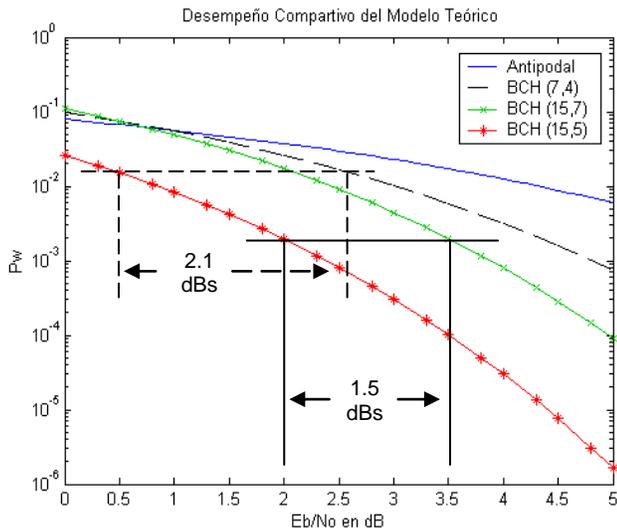


Fig. 6. Gráfica de  $P_w$  para el desempeño teórico entre los código BCH.

la fig. 5 se puede inferir que hay un mejor desempeño del código BCH (15, 5) respecto al código BCH (15, 7) en el parámetro de  $P_b$  (diferencia de 1.3 dBs a un BER = 0.0032), sin embargo, si se hace referencia al parámetro de eficiencia ( $\eta = k / n$ ), se podrá advertir que el código BCH (15,7) es más eficiente ( $\eta = 0.466$ ) que el código (15, 5) ( $\eta = 0.333$ ), ya que dentro de su palabra código alberga una palabra dato de mayor longitud ( $7 > 5$ ) y por lo tanto se tendrá una mayor tasa de información de la fuente. Lo anterior también se aplica para el caso de comparar el código BCH (15, 5) y el código BCH (7, 4), en el que existe una diferencia de 2.4 dBs.

En la fig. 6 se puede observar una diferencia promedio de 1.5 dBs a favor del código BCH (15,5), ello cuando se trata de la tasa de error en palabra codificada  $P_w$ , esto se puede advertir por dos razones, la primera que hay una mayor capacidad de corrección de errores en el primer código ( $t = 3$ ) y segundo por el tamaño de la palabra dato ( $k = 5$ ) que tiene respecto al código (15,7) ( $k = 7$ ), lo que genera un menor universo de palabra código (32 en el primer caso y 128 en el segundo) y que por consecuencia se tenga una menor incidencia en la decodificación de tipo errónea y en la decodificación fallida ( $P_{ew}$  y  $P_{uw}$ ). Además se observa en la misma fig. 6 una diferencia de 2.1 dBs entre el código BCH (15,5) y el código BCH (7,4), que se debe a las mismas razones anteriormente expuestas.

### A. Simulaciones por bloques de software en simulink.

En este segundo modelado de pruebas se aplicó el concepto de la simulación tipo Monte Carlo, pero ahora en el ambiente de la herramienta “Simulink”. Dichos bloque fueron seleccionados de acuerdo a las distintas etapas básicas de una transmisión digital de banda base con su correspondiente etapa de codificación de canal (códigos BCH), y al final de dicho proceso se calculó la tasa de errores (por bit y por palabra) que presentó todo el esquema, con base en un millón de datos binarios procesados. A continuación se muestra un esquema general de la simulación en “Simulink”.

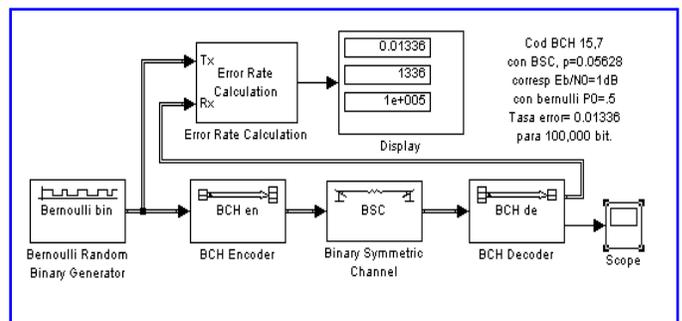


Fig. 7. Modelo general a bloques para la simulación de códigos BCH en “Simulink”.

### A. Gráficas comparativas para el modelo en simulink

Ahora se muestran las gráficas del desempeño en Simulink ( $P_b$  y  $P_w$ ) pertenecientes a los códigos BCH que se analizaron.

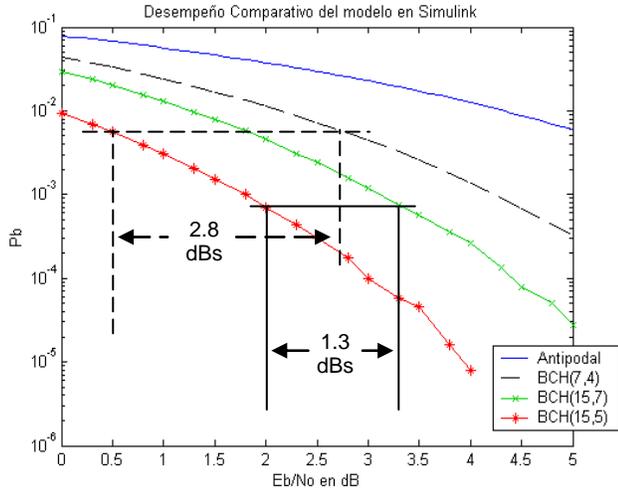


Fig. 8. Gráficas de  $P_b$  para comparar el desempeño en Simulink entre los códigos BCH.

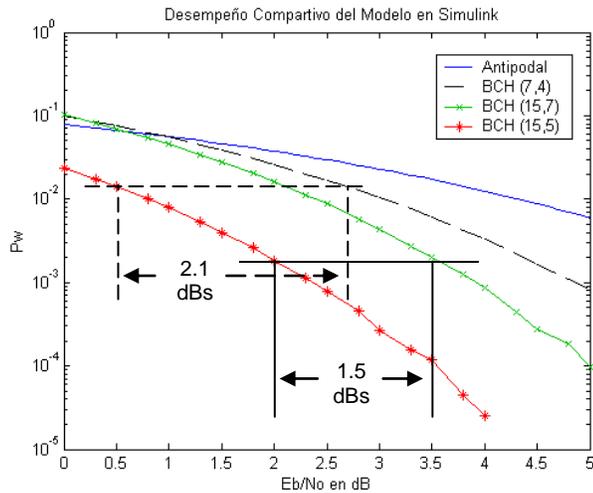


Fig. 9. Gráficas de  $P_w$  para comparar el desempeño en Simulink entre los códigos BCH.

En la anterior fig. 8 se observa una diferencia de 1.3 dBs en promedio a favor del código BCH (15, 5) respecto al código BCH (15, 7) y de 2.8 dBs en referencia al código BCH (7, 4).

También en la comparación (fig. 9) entre los distintos codificadores respecto al parámetro  $P_w$ , con base en el modelo de Simulink, se observan las mismas diferencias en dBs que al igual existen en el análisis de la fig. 8. Lo anterior nuevamente se debe a la capacidad de corrección

de errores que tiene el código BCH (15,5) respecto a los demás, pero todo tiene un costo, y es que al ganar capacidad de corrección también se gana en complejidad sobre el diseño del algoritmo para el codificador, pero sobre todo en el algoritmo del decodificador.

### A. Estructura de la simulación con elementos de hardware

En este tercer escenario de pruebas se hizo uso del lenguaje VHDL para configurar dispositivos CPLD's (familia "Ultra37000" y familia "Delta39K"), tomando como base códigos fuente de la referencia [22], que fueron adaptados para ejecutar el esquema general de simulación que se muestra en la fig. 10.

La fig. 11 muestra las gráficas para el desempeño del código BCH (15,7), el cual fue uno de los tres analizados en el modelo de hardware.

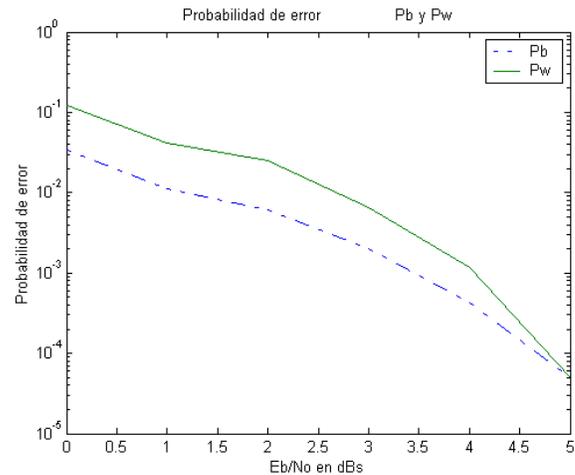


Fig. 11. Gráfica comparativa entre  $P_b$  y  $P_w$ , para desempeño del código BCH (15, 7).

## IV. CONCLUSIONES

Para obtener las curvas de la fig. 12, se realizó una corrida de un millón de datos binarios pertenecientes al caso en Simulink, mientras que para el modelo en VHDL se realizó una prueba con un total de 25,500 dígitos binarios por cada valor de SNR. En lo que respecta al caso teórico, se evaluó su fórmula ( $P_b$ ) desde 0 a 5 dBs con incrementos de 0.25 dBs.

Con base en la fig. 12, se puede inferir que las curvas de desempeño correspondientes a los modelos teórico y de Simulink se asemejan bastante; mientras que el modelo en VHDL se comienza a separar de los dos anteriores modelos a partir de los 2 dBs, ello debido al universo limitado de datos que se pudieron simular.

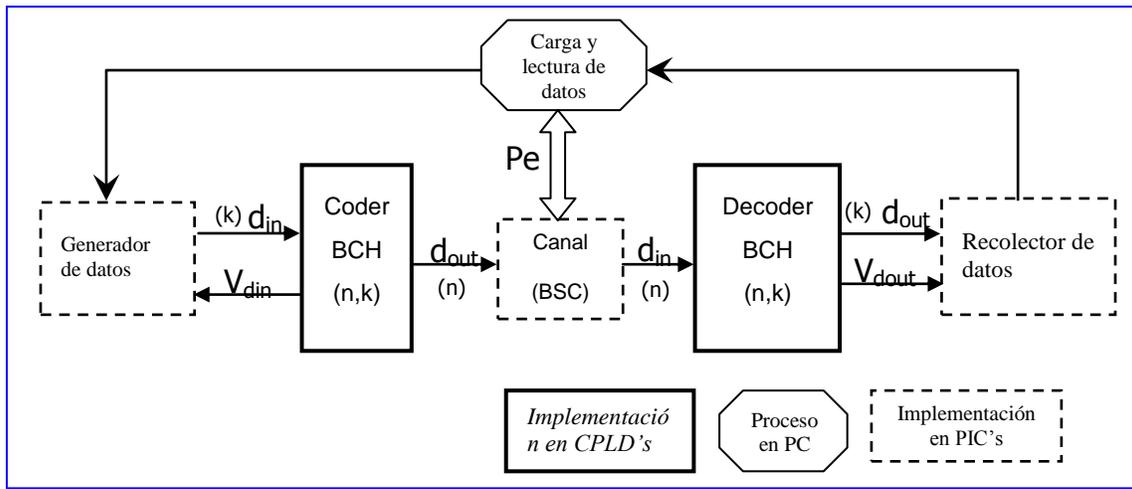


Fig. 10. Diagrama a bloques para la simulación en hardware de los códigos BCH.

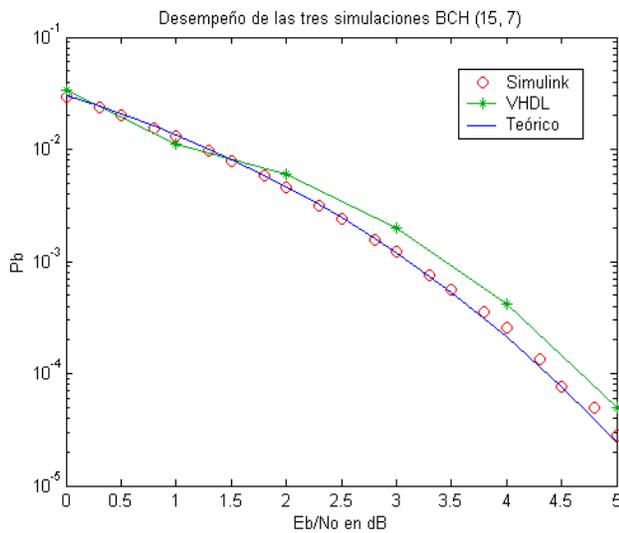
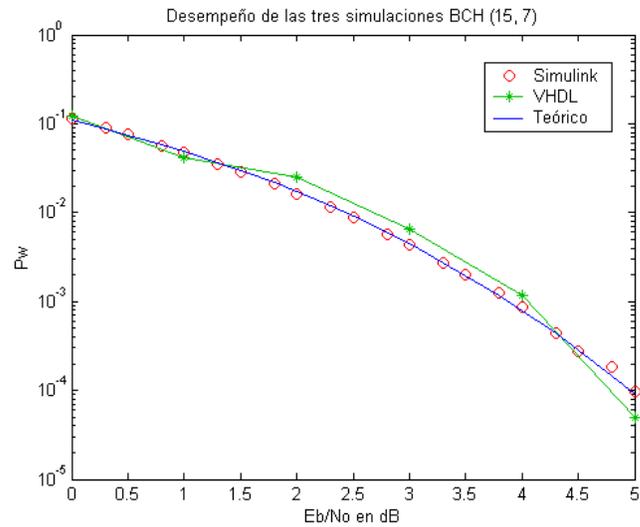


Fig. 12. Gráficas de  $P_b$  vs. SNR para el desempeño del código BCH (15,7).

En lo que respecta a la probabilidad de error en palabra decodificada ( $P_w$ ), dicha prueba se realizó para el modelo en Simulink con un total de 142,860 palabras dato ( $k = 7$ ), y para la simulación en VHDL fue con un total de 1700 palabras, además el caso teórico fue evaluado desde 0 dBs hasta 5 dBs en incrementos de 0.25 dBs. La fig. 13 muestra los anteriores desempeños.

Se confirmó la similitud en el desempeño de los códigos BCH analizados, con base en sus parámetros BER y WER, lo anterior mediante pruebas integrales en hardware y software de tres modelos de simulación: teórico, Matlab y VHDL (electrónico). En lo que respecta al modelo teórico, éste se menciona o se aborda de manera somera en los principales libros en materia de codificadores de canal consultados, si acaso se hace referencia a fórmulas para determinar la WER sin tomar de manera conjunta



los dos tipos de errores y decodificaciones fallidas. Además, lo que algunas referencias bibliográficas exponen gráficamente son desempeños de SNR vs.  $P_w$  como fronteras o límites superiores a las que un código BCH está caracterizado.

Con base en los escenarios de simulación en software y hardware que fueron trabajados, se puede mencionar que para tener una visión amplia y rápida sobre el comportamiento de los códigos cíclicos, al menos en los parámetros  $P_b$  y  $P_w$ , los modelos teóricos y de Simulink son una buena alternativa.

## Referencias

- [1] Simon Haykin, *Sistemas de Comunicación*, (Limusa Wiley, 2002).
- [2] J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary Communication System Using Matlab*, (The PWS BookWare Companion Series, 1998).
- [3] R. Ziemer, W. Tranter, *Principles of Communications*, (John Wiley & Sons, Inc., 5th ed., 2002).
- [4] S. Lin, D. J. Costello, *Error Control Coding*, (Prentice Hall, 2nd ed., 2004).

- [5] W. Wesley, E. J. Weldon, Error-Correcting Codes, (The MIT Press, 2nd ed., 1996).
- [6] L. W. Couch II, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, (Pearson, 5ª ed., 1998).
- [7] B. P. Lathi, Sistemas de Comunicación, (Interamericana Mc Graw Hill, 1986).
- [8] J. Kurzweil, An Introduction to Digital Communications, (John Wiley & Sons, 2000).
- [9] L. H. Charles Lee, Error-Control Block Codes for Communications Engineers, (Artech House).
- [10] I. N. Herstein, Álgebra Modernar, Grupos-Anillos-Campos-Teoría de Galois, (Trillas, 5ª reimpresión, 2006).
- [11] L. H. Charles Lee, Error-Control Block Codes for Communications Engineers, (Artech Hose, 2000).
- [12] W. W. Peterson, E. J. Weldon, Jr., Error-Correcting Codes, (The MIT Press, 2nd ed., 1996).
- [13] T. K. Moon, Error Correction Codes, Mathematical Methods and Algorithms, (Wiley-Interscience, 2005).
- [14] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes (Reading, MA: Addison-Wesley, 1983).
- [15] C. Desset, L. Vandendorpe, B. Macq, "Computing the Word-, Symbol-, and Bit Error Rates for Block Error-Correcting Codes", IEEE Trans. Commun., vol. 52, pp. 910-921, Jun 2004.
- [16] D. J. Torrieri, "Information-bit, information-symbol, and decoded-symbol error rates for linear block codes", IEEE Trans. Commun., vol. 36, pp. 613-617, May 1988.
- [17] S. Brown, Z. Vranesic, Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design (McGraw-Hill International edition, 2nd ed., 2005).
- [18] E. R. Berlekamp, Algebraic Coding Theory, (McGraw-Hill, 1984).
- [19] E. R. Berlekamp, "On Decoding Binary Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Codes", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 11, pp. 557-579, Oct 1965.
- [20] J. L. Massey, "Step-by-step Decoding of the Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Codes", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 11, pp. 580-585, Oct 1965.
- [21] J. L. Massey, "Shift-Register Synthesis and BCH Decoding", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 15 (1), pp. 122-127, Jan 1969.
- [22] Ernest Jamro, The design of a VHDL based synthesis toll for BCH codecs, a thesis submitted to the University of Huddersfield for the degree of master of philosophy, School of Engineering the University of Huddersfield, Sep. 1997.
- [23] Thomas M. Cover, Joy A. Thomas, Elements of Information Theory, (John Wiley & Sons, 1991).

# Desarrollo de un sistema digital para aeromodelo no radiocontrolado

Eduardo Barba Cervantes, Enrique Cárdenas Orozco, Andrés Calvillo Téllez, Leonardo Acho Zuppa, Luís Aguilar Bustos

Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del IPN, Av del parque 1310 garita de Otay, Tijuana B. C. CP 22510 calvillo@citedi.mx , teléfono 01(664)6231344 red 82837

**Resumen.-** Se presenta el diseño y desarrollo del controlador digital de un avión a escala que opera en ruta programada. Primeramente se muestra el itinerario de la rutina de vuelo mediante la asignación de valores predefinidos de tres variables a controlar que son: aceleración, timón de dirección y timón de profundidad. Posteriormente se trata el sistema eléctrico. Finalmente se realizan las pruebas de funcionalidad del algoritmo en el aeromodelo denominado "Trainer 40ARF".

**Palabras clave:** Aeromodelo Radiocontrolado, Alerones, Propulsado, Radiocontrol, Sustentación, Sistemas Digitales, Timón de Dirección, Timón de Profundidad.

## I. Introducción

El aeromodelismo es una disciplina que permite manipular aviones reducidos a escala de los reales, afrontando las leyes de la aerodinámica que sustentan el vuelo. Desde el nacimiento del aeromodelismo que se remonta a finales de la segunda guerra mundial, en aplicaciones bélicas como las bombas teledirigidas, solo se han manipulado estos modelos a escala a través de un telemando denominado radiocontrol [1]. El radiocontrol brinda la maniobrabilidad de todos los aspectos de un avión a escala [2]. Con los sistemas sofisticados de hoy en día, es posible hacer volar un avión en cualquier dirección, variando su velocidad y altura debido a que se están integrando más elementos a manipular. Los hay por el grado de maniobrabilidad de 2, 4, 6 y 8 servoactuadores, que controlan el acelerador, timón de dirección timón de profundidad, alerones, tren de aterrizaje, cortinas de humo y proyectiles entre otros [3]. El radiocontrol mas común es el de 4 canales, los mandos los hace a través del canal nº 1 el motor, con el nº 2 el estabilizador, con el nº 3 el timón y con el nº 4 los alerones de las alas como se ilustra en la figura 1 [4-6].

La propuesta que se pretende abordar es la de sustituir la telemanipulación del radiocontrol por la de un sistema digital capaz de tomar el mando de los servoactuadores mediante la inserción en memoria de algoritmos con rutas programadas. El desarrollo de todo el proyecto contempla la integración de rutas predefinidas en conjunto con un sistema de control programado que adquiera variables como lo son la altura y la velocidad del viento y datos de su localización geográfica provenientes de un GPS.

El alcance del presente artículo solo llega a la manipulación a los servoactuadores en solo una ruta programada sin medición de ninguna variable. Se contempla hacer modificaciones de la ruta y grabarla en memoria. En este sentido solo se presenta la parte del diseño del circuito de manipulación y la ruta preestablecida de vuelo.

Se considera pasar a la parte de control del vuelo cuando en el formato actual se adquieran los conocimientos y práctica en el comportamiento del aeromodelo en los escenarios establecidos por la ruta programada. El alcance de la manipulación solo llega a servocontrolar el acelerador, el timón de dirección, el timón de profundidad y los alerones a través del algoritmo almacenado en memoria.

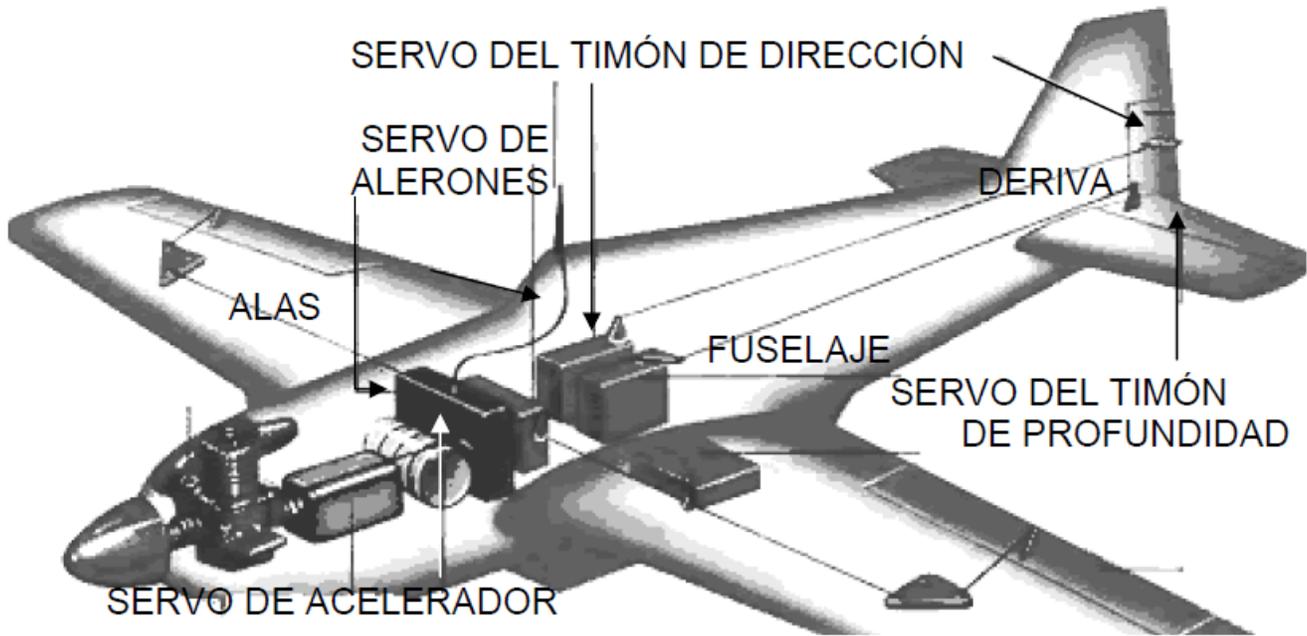


Figura 1. Mandos del avión servoactuados.

### Aeromodelo radiocontrolado

En los aeromodelos radiocontrolados se emplea un transmisor para el mando del avión, dentro de éste se integra el receptor que está interfazado con una serie de servos que manipulan a los alerones, al timón de dirección, al timón de profundidad y al acelerador de la aeronave [7].

### Aeromodelo no radiocontrolado

Estos aeromodelos carecen de radiocontrol. Emplean un sistema digital que posee el recorrido programado en software. Las rutinas del mando del avión están incrustadas en un circuito integrado, interfazado con una serie de servos que manipulan a los alerones, al timón de dirección, al timón de profundidad y al acelerador de la aeronave.

### Partes que forman un avión

- *Fuselaje* es el cuerpo principal del avión (ver figura 2).
- *Alas* permiten que el avión vuele al producir la fuerza de sustentación.
- *Flaps* superficies que van en el ala que al desplazarse aumentan la sustentación.
- *Alerones* superficie de control en ambas alas que permite al avión girar sobre el eje de impulso.
- Timón de profundidad superficie de control ubicada en ambas colas horizontales del avión, permite que el avión ascienda o descienda.
- Timón de dirección superficie de control localizada en la cola vertical del avión, permite el giro de dirección del avión.



Figura 2. Partes de un avión.

### Nociones básicas de vuelo

Para que un aeromodelo alcance el vuelo intervienen cuatro fuerzas que son: impulso, sustentación, peso y resistencia. Una variación de en estas producirá un cambio en su trayectoria.

El *impulso* es la ráfaga de viento producida por el motor. A medida que el motor hace girar la hélice, el aire es lanzado hacia atrás generando un impulso que provoca que el avión sea lanzado hacia delante.

El *peso* es la fuerza de atracción gravitacional que ejerce la tierra sobre el aeromodelo.

La *resistencia* es la oposición que el aeromodelo debe de superar para ser lanzado hacia delante.

La *sustentación* es la fuerza que determina que haya una presión menor sobre la parte superior del ala y mayor en la parte inferior. En consecuencia, la mayor presión existente debajo del ala la empuja hacia arriba provocando su sustentación. Esta es la diferencia de distancia en el recorrido del viento tanto en la parte superior como en la inferior. Donde hay más velocidad habrá menos presión.

El ala tiene una forma de tal manera que el aire que pasa por arriba tiene que viajar una distancia más larga (más velocidad) que el aire que pasa por debajo. La presión por debajo es mayor que la presión por arriba. Hay una fuerza neta hacia arriba que alza al avión.

### Nociones básicas de manipulación del avión

Cuando se deflecan los alerones uno asciende y otro desciende. Esto tiene varios efectos sobre el comportamiento de la nave: el plano cuyo alerón desciende experimenta un aumento de sustentación por lo que tiende a subir, justo lo contrario que el plano, o semiala, cuyo alerón sube, por tanto el avión se inclina hacia el lado de la semiala en la que el alerón sube. Los alerones, a parte de variar la sustentación del ala, al moverse de su posición neutral se enfrentan al flujo del aire que discurre por el ala y producen, como todas las superficies móviles, un aumento de la resistencia al avance o frenado [8-10].

## II. Desarrollo

De entre las diferentes modalidades del aeromodelismo la innovación que se abordó es la de sustituir la manipulación del modelo a escala radiocontrolado por un sistema digital con un algoritmo de gobierno de vuelo preestablecido. Este algoritmo puede asumir un sinnúmero de trayectorias. La trayectoria que se utilizó se ilustra en la figura 2.

Para realizar las primeras pruebas se determinó 4 segundos para el tiempo de despegue. Durante este recorrido se determinó la posición de cada uno de los cuatro servomotores: el de aceleración, el de timón de dirección, el de timón de profundidad y el de alerones.

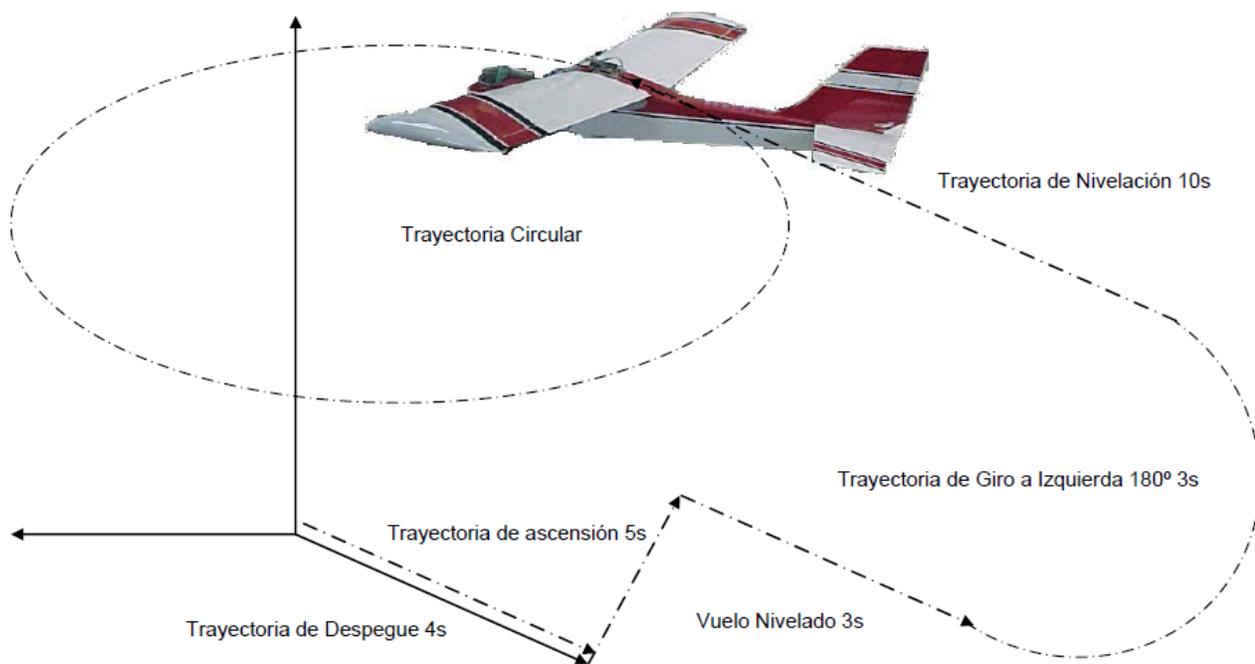
Para la trayectoria de ascensión se asignó 5 segundos durante este tiempo el servo del acelerador sufre un pequeño giro así como también el del timón de profundidad, mientras que tanto el servo de los alerones como el del timón de dirección se mantienen estables.

Cuando finalice el recorrido de ascensión es necesario que el aeromodelo nivele su vuelo, para ello se asignaron 3 segundos. Durante este proceso el servo del timón de profundidad regresa a su origen, manteniendo de esta forma la aeronave en posición horizontal.

Después de adquirir la nivelación de la nave, se planeo que gire  $180^\circ$  a la izquierda lo que le tomara 3 segundos en lograrlo. Durante esta etapa el servo del timón de dirección sufre un desplazamiento.

Cuando finaliza la semiluna el avión regresa por una línea imaginaria paralela a la ruta de origen en una trayectoria de nivelación con un tiempo de duración de 10 segundos durante este recorrido los cuatro servos se mantienen estables.

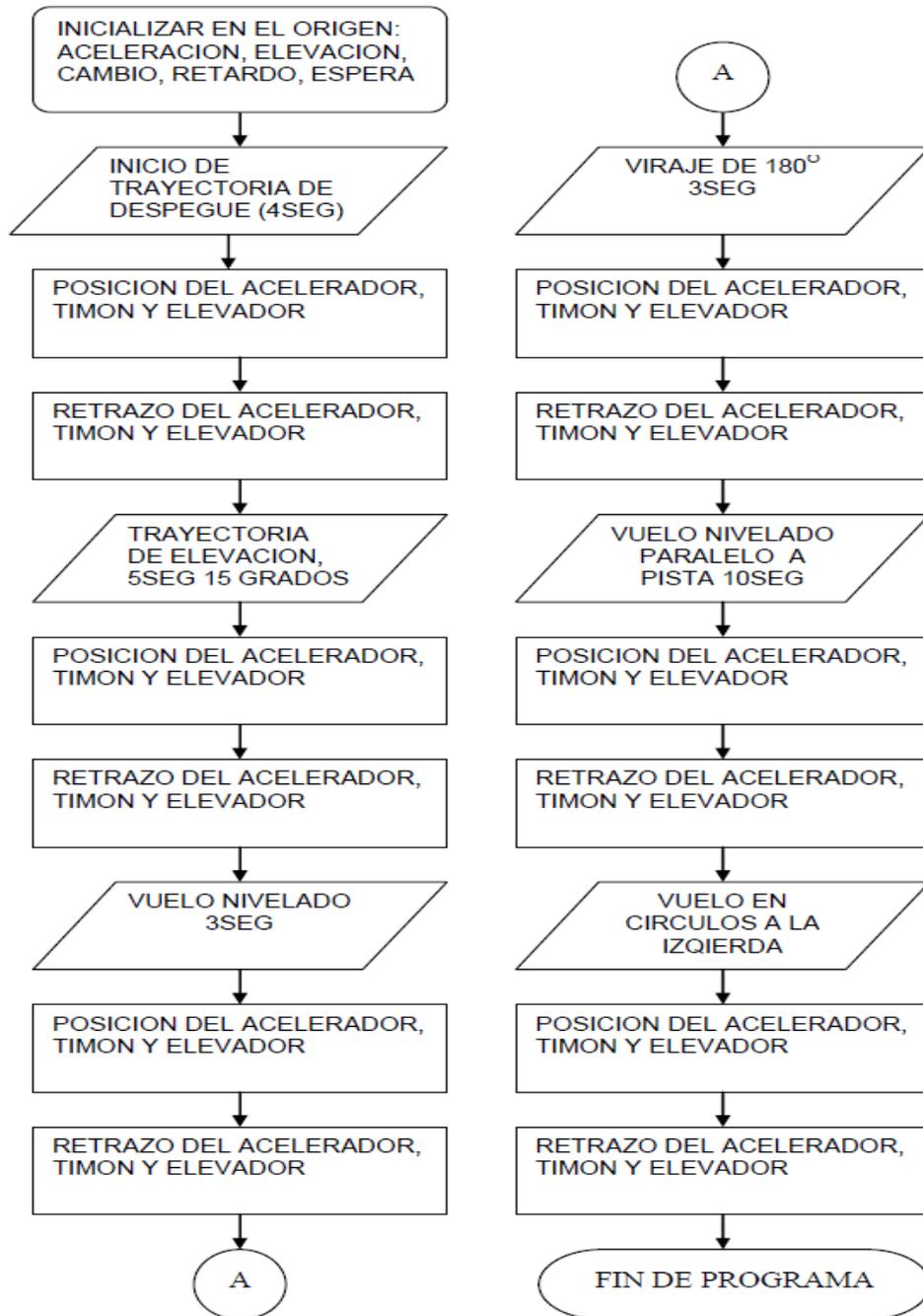
Finalmente el trayecto desemboca en una trayectoria circular alrededor del origen con un tiempo máximo de vuelo de 12 minutos que es el límite fijado por la capacidad de combustible que posee el tanque. El servo de dirección se mantiene de forma permanente en posición de giro circular a la izquierda.



**Figura 3. Trayectoria del aeromodelo.**

El algoritmo de gobierno de vuelo tiene una secuencia que se ilustra en la figura 3. Para este caso el algoritmo realizara lo siguiente:

- Desde un punto de partida denominado origen, se inicializa el avión. Con el motor encendido se procede a realizar la energización del sistema digital para abordar el proceso de despegue.
- La trayectoria de despegue dura 4 segundos. Se desplazan los servomotores de acelerador, timón de dirección y timón de profundidad para la sustentación de vuelo.
- Trayectoria de ascensión con un tiempo de duración de segundos. Se desplazan los servomotores de acelerador, timón de dirección y timón de para sustentación de vuelo.
- Trayectoria de nivelado con un tiempo de duración de 3 segundos para estabilizar el avión a una altura determinada.
- Viraje de  $180^\circ$  a la izquierda con un tiempo de duración de 3 segundos.
- Vuelo nivelado paralelo a pista de aterrizaje durante 10 segundos.
- Viraje a la derecha  $360^\circ$  indefinidamente.



**Figura 4.** Algoritmo de operación del controlador del avión a escala.

### Diseño y desarrollo del sistema digital

El sistema en su conjunto requiere de cuatro líneas de control, para la habilitación de los servomotores tal y como se describió anteriormente. El almacenamiento del algoritmo de gobierno de vuelo tiene una secuencia predefinida. Para este caso el algoritmo se puede implementar con un circuito con el que se cuenta con una amplia experiencia de uso y aplicaciones el microcontrolador 8751. Este contiene tanto la memoria de acceso aleatorio como la de programa integrada en el mismo circuito, solo se requiere de un cristal y un decodificador para interfazarse a los servomotores. El esquema eléctrico se muestra en la figura 5.

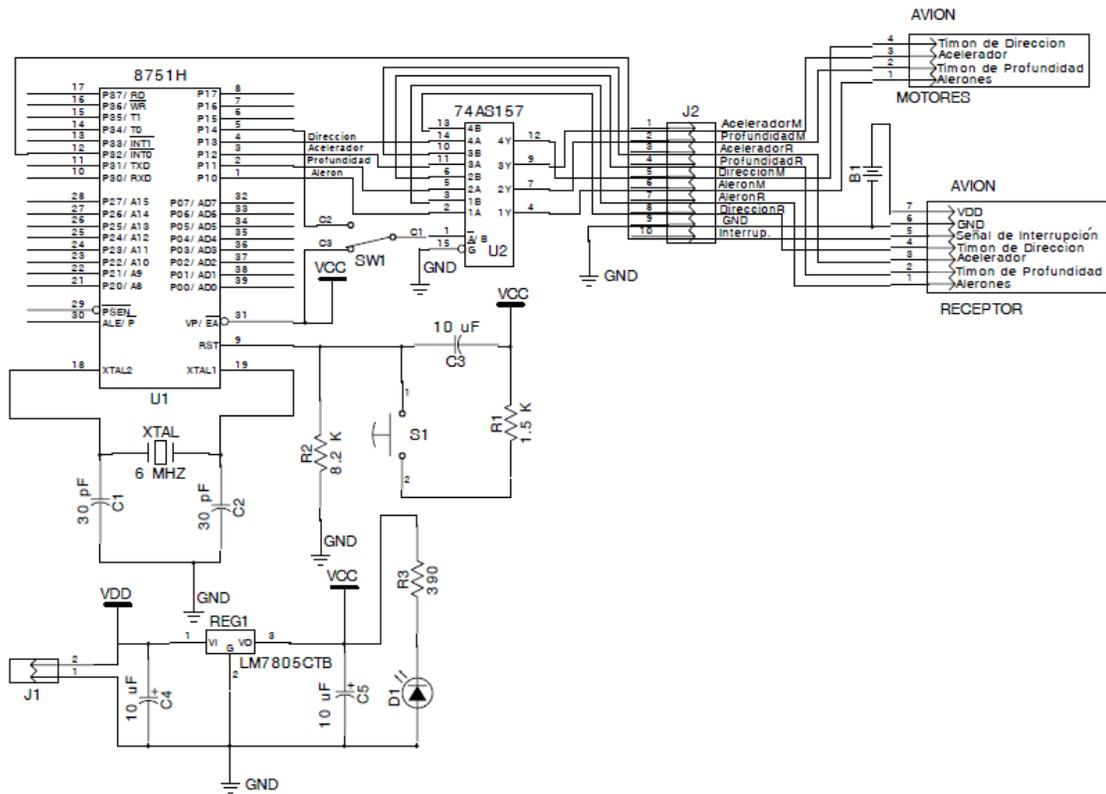


Figura 5. Esquema eléctrico del controlador del avión a escala.

### III. Resultados

Este artículo trata sobre el desarrollo en implementación de un prototipo de un sistema digital del cual la figura 5 muestra el esquemático del lado de componentes y del circuito impreso.

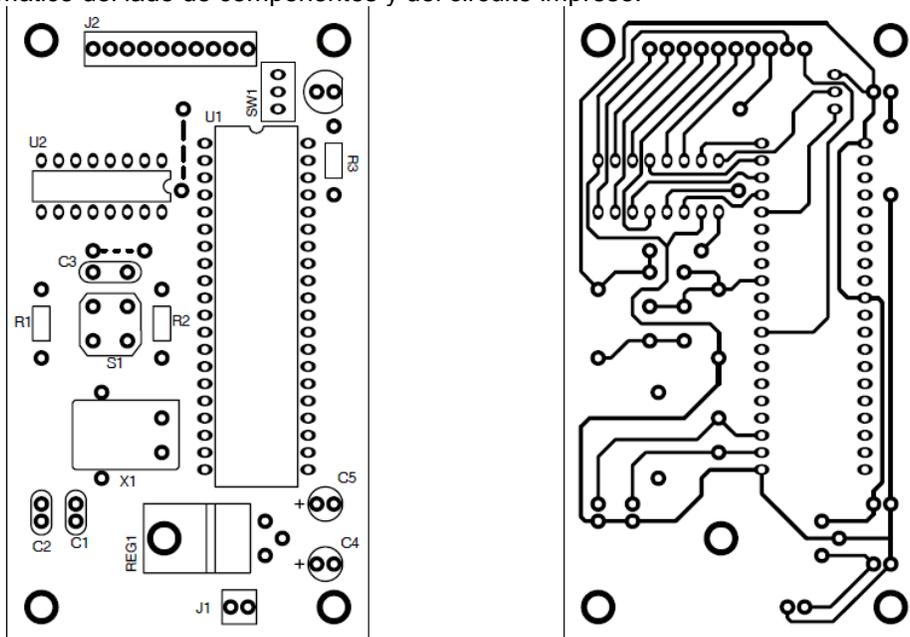


Figura 6. Esquemáticos de las caras de componentes y pistas del circuito del controlador del avión a escala.

La Figura 7 muestra al prototipo montado en la cabina del aeromodelo, la Figura 8 muestra al sistema y aeromodelo en vuelo.

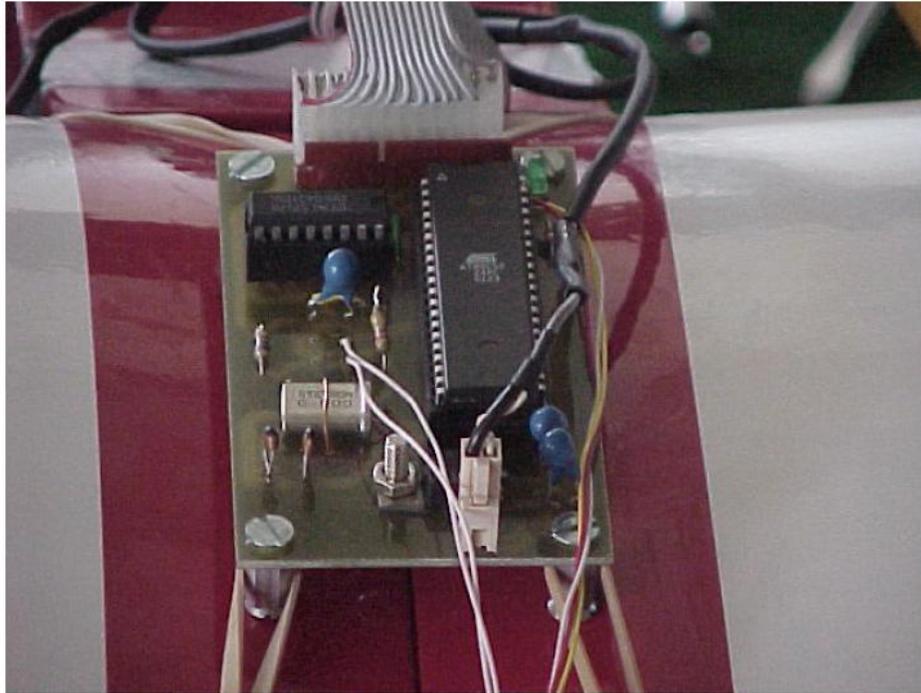


Figura 7. Sistema digital controlador en el avión a escala.



Figura 8. Trayectorias de despegue, ascensión, nivelación y giro.

### III. Conclusión

Uno de los tópicos a abordar por la ciencia y la investigación es el empleo de aeronaves prototipos en la innovación de nuevos modelos de manipulación y control. Lo que sigue en esta línea es incluir un sistema de posicionamiento global y una cámara digital como elementos de orientación y verificación de posición. Posterior a este sistema desarrollado es la implementación de la rutina de aterrizaje, para ello es necesario considerar el peso de cada componente, así como realizar un estudio del comportamiento de la aeronave con cada uno de los motores que hay en el mercado. Con este tipo de proyectos se desprende un programa de naturaleza educativa cuyo objetivo es el de estimular y difundir el intercambio de técnicas y conocimientos de ingeniería a través de aplicaciones prácticas de sus conocimientos, imaginación y creatividad conjuntamente con el trabajo en equipo.

### Referencias

- [1] Publishers of Model Airplane News magazine; Scale Aircraft Drawings: Vol1, World War I; #2013.
- [2] Publishers of Model Airplane News magazine; R/C Pilots Handbook #2020, 1995.
- [3] Publishers of Model Airplane News; Ultimate RC Flight Guide #2029, 2002
- [4] Faye Stillely; Covering RC Airplanes; Vol. ;1; 2005.
- [5] Faye Stillely; Basics of Customizing R/C Airplanes; #2022 (1996)
- [6] Gerry Yarrish; Getting Started In Radio Control Airplanes; #2025; 1999
- [7] rcnoticias; <http://www.rcnoticias.com/Tecnicas/Diferencial.htm>
- [8] Aeromodelismo; net; <http://www.aeromodelnet.com.ar/doble.html>
- [9] Aeromodelismo; <http://www.telecable.es/personales/albatros1/aeromodelismo.htm>
- [10] Aeromodelismo; [http://www.hobbylinc.com/prods/za\\_man.htm](http://www.hobbylinc.com/prods/za_man.htm)

### Extractos curriculares

**Eduardo Barba Cervantes** es Ingeniero en Electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, México D. F. (1979), obtuvo su Especialidad en Sistema Digitales por el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (1988). Actualmente es profesor Titula A en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, Tijuana, México y sus áreas de interés son: Sistemas Digitales, Instrumentación virtual, Automatización y Comunicaciones.

**Enrique Cárdenas Orozco** es Ingeniero en Electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, México D. F. (1992), obtuvo su Especialidad en Sistema Digitales por el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional (1988). Actualmente es profesor Asociado en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional, Tijuana, México y sus áreas de interés son: Sistemas Digitales, Instrumentación virtual, Automatización y Comunicaciones.

**Leonardo Acho Zuppa** es Doctor en Control por el CICESE, Ensenada, B.C. México (2000), obtuvo su Maestría en Control por el ITESM, campus Monterrey, México (1992), y es Ingeniero en Electrónica por ITESM campus Monterrey, (1989). Es miembro del SIN nivel II. Actualmente es profesor Titula en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, Tijuana, México y sus áreas de interés son: Control y Robótica.

**Luís Aguilar Bustos** es Doctor en Control por el CICESE, Ensenada, B.C. México (1994), obtuvo su Maestría en Control por el CICESE, Ensenada, B.C. México (1998), y es Ingeniero en Industrial y Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tijuana, México (1994). Es miembro del SIN nivel II. Actualmente es profesor Titula en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, Tijuana, México y sus áreas de interés son: Control y Robótica.

**Andrés Calvillo Téllez** es Ingeniero en Electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, México D. F. (1989), obtuvo su Maestría en Sistema Digitales por el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (1993). Actualmente es profesor Asistente en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, Tijuana, México y sus áreas de interés son: Sistemas Digitales, Instrumentación virtual, Comunicaciones Inalámbricas.

# LAS TELECOMUNICACIONES DEL FUTURO: TELEPORTACION CUÁNTICA

Isis Chetzyl Ballardo Rodríguez chetzyl@hotmail.com  
Fernando Enrique Estrada Hernández ferdraco@hotmail.com  
Alejandro Vivas Hernández avivas@ipn.mx  
ESIME- IPN U.P.A.L.M., 07738, México D.F.

## Resumen

La teleportación cuántica implica el uso de un par de partículas entrelazadas (en este caso fotones), que es compartida por dos personas: Alice y Bob. Cada partícula del par tiene un determinado estado cuántico, de esta manera este determinará el sistema cuántico que se puede encontrar en una superposición de varios estados. Estas superposiciones son llamadas qubits. El par de partículas es separado y Alice y Bob tomarán una de ellas. Si Alice quiere enviar un mensaje, ella necesita interactuar con su mitad del par, y pasará a través de diferentes compuertas como la Hadamard, Z y X, entonces el qubit que pertenece a Bob sufrirá un cambio, dando como resultado el mismo qubit que Alice le envió.

## Introducción

Hoy en día los sistemas de comunicaciones deben disponer de esquemas eficientes que ofrezcan transmisiones seguras y confiables. En la búsqueda de estos objetivos se han tenido que integrar ciencias como son la informática, las telecomunicaciones y la mecánica cuántica, con el fin de integrar nuevas ramas de la ciencia, como es el caso del surgimiento de las comunicaciones cuánticas.

## Discusión

Para comprender este tipo de comunicación es necesario dar los conceptos básicos que lo conforman, como es un sistema cuántico. Este es uno de los conceptos más importantes de la mecánica cuántica el cual debe ser definido a través de otro concepto a un más relevante: los estados cuánticos. Un estado cuántico, es aquel que proporciona información acerca de los resultados de las mediciones efectuadas sobre un sistema. Para poder determinar un estado de un sistema en particular, se debe tener conocimiento de los posibles resultados de las mediciones así como las probabilidades de obtener dichos valores.

Un atributo importante de los sistemas cuánticos, es que cuando se realiza una medición sobre este, se destruye el estado inicial del sistema por lo que el resultado de la medición será un estado completamente nuevo, lo cual nos conduce a decir que es imposible predecir el comportamiento del sistema en estudio.

Los estados cuánticos pueden ser representados como:  $|\leftrightarrow\rangle$  y  $|\updownarrow\rangle$ , lo cual indica la polarización de un fotón (vertical y horizontal respectivamente), pero generalmente la notación anterior se

utiliza para una designación real de un estado por medio de la superposición de estos, por ejemplo:

$$|\psi\rangle = \alpha|\leftrightarrow\rangle + \beta|\updownarrow\rangle$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son números complejos. Para tener una idea más general de este ejemplo se pueden sustituir los estados  $|\leftrightarrow\rangle$  y  $|\updownarrow\rangle$  en la ecuación por  $|0\rangle$  y  $|1\rangle$  los cuales hacen referencia a los 2 estados posibles de un estado cuántico.

Dicha superposición de estados cuánticos es lo que se conoce como qubit. Los qubits nos permiten establecer una comunicación cuántica entre dos personas que se encuentran en dos espacios geográficos diferentes.

Pero ahora la gran interrogante es como modificar dichos qubits. Lo anterior es posible gracias a la computación cuántica, la cual incluye como la computación actual, el uso de compuertas, siendo en este caso cuánticas, las cuales son Hadamard, X y Z.

Los elementos anteriores actuando en conjunto, han hecho posible el establecimiento de una comunicación por medio de la teleportación cuántica. Para explicar el funcionamiento de dicho proceso, se ilustra el siguiente ejemplo con Alice y Bob, que tienen la necesidad de comunicarse. Para poder llevar a cabo esta última se necesita un par de fotones que comparten inicialmente Alice y Bob, un canal, un fotón con el que se va a interactuar y las compuertas cuánticas.

El proceso inicia con el qubit perteneciente a Alice que corresponde a la información que ella desea enviar, la cual es:

$$|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

El par de fotones que es compartido inicialmente por Alice y Bob está determinado por el estado de Bell siguiente:

$$|\beta_{00}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (2)$$

Al hacer interactuar el qubit de Alice con el estado de Bell se obtendrá un nuevo qubit de superposición, que llamamos  $|\varphi_0\rangle$ .

$$|\varphi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|00\rangle + |11\rangle)] \quad (3)$$

Este estado se encuentra antes de aplicar la primera compuerta que modificará el primer qubit. Dicha acción se muestra en la figura 1.

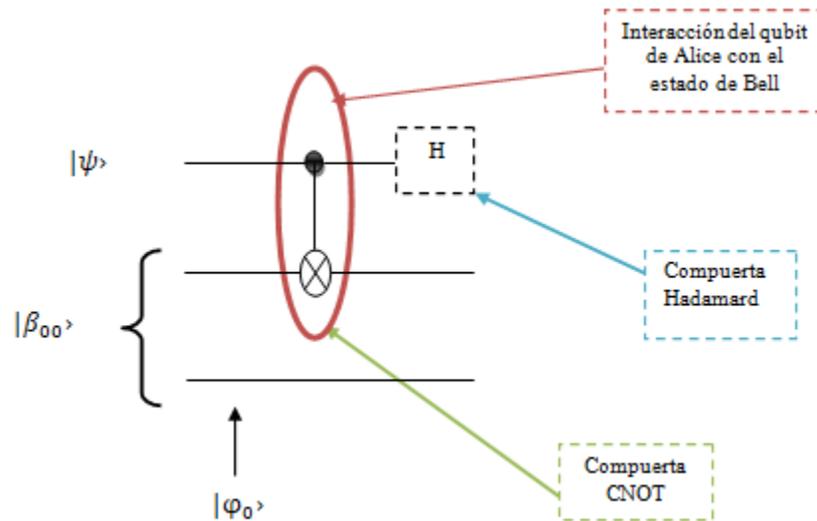


Fig. 1 Interacción del estado cuántico original con del estado de Bell

Ahora los qubits de Alice serán tratados en una compuerta CNOT (figura 2), la cual actúa invirtiendo el segundo qubit si el primero es un  $|1\rangle$ , obteniendo como resultado:

$$|\varphi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|10\rangle + |01\rangle)] \quad (4)$$

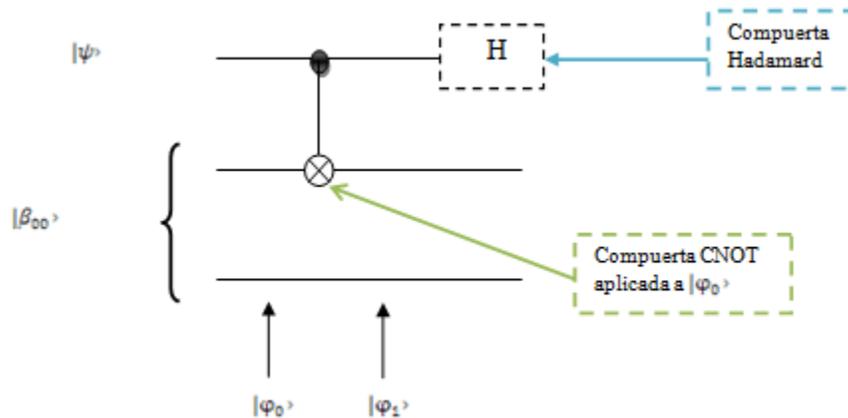


Fig. 2 Operación CNOT sobre el estado de Alice

Posteriormente, Alice manda el primer qubit a través de una compuerta Hadamard, la cual actúa individualmente como sigue, si la entrada es  $|0\rangle$ :

$$|0\rangle \text{ --- } \boxed{\text{H}} \text{ --- } \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

Y si la entrada es  $|1\rangle$ :

$$|1\rangle \text{ --- } \boxed{\text{H}} \text{ --- } \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

Por lo tanto al ser empleada en el circuito se obtiene:

$$|\varphi_2\rangle = \frac{1}{2} [\alpha(|0\rangle + |1\rangle)(|00\rangle + |11\rangle) + \beta(|0\rangle - |1\rangle)(|10\rangle + |01\rangle)] \quad (5)$$

Dicho estado se ubica en la figura 3 el cual puede ser interpretado y reescrito en (6):

$$|\varphi_2\rangle = \frac{1}{2} [|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle + |10\rangle(\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle)) + |11\rangle(\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle)] \quad (6)$$

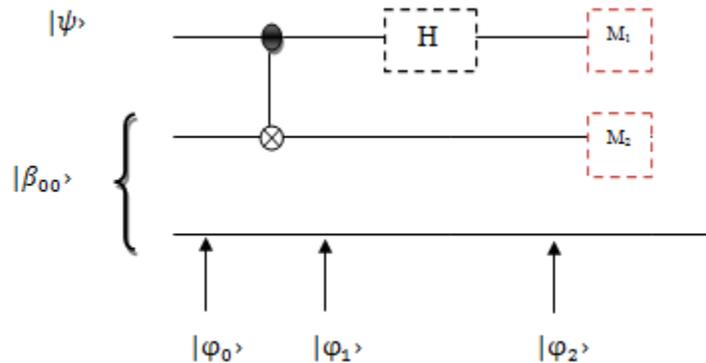


Fig. 3 Conformación del circuito para la obtención del estado cuántico  $|\varphi_2\rangle$

Tal ecuación queda constituida por 4 términos, de los cuales se puede observar que el primer término incluye el estado  $|00\rangle$  que corresponde a Alice, y el estado  $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  que es el estado que se desea transmitir, por lo que si Alice realiza una medición sobre sus qubits y esta obtiene el resultado  $|00\rangle$  el sistema de Bob se encontrara en el estado cuántico  $|\varphi\rangle$  original, es decir como en (1). Con respecto a los tres términos restantes se concluye que dependiendo de la medida que realice Alice en sus qubits, Bob obtendrá uno de esos tres estados restantes. Si de acuerdo con las mediciones realizadas por Alice, Bob obtiene como resultado uno de los tres estados “no deseados”, este deberá aplicar algún tipo de operación

para obtener  $|\varphi\rangle$  original. Este tipo de operación implica el uso de dos compuertas. Para el caso en el que la medición fuera  $|01\rangle$  se deberá aplicar una compuerta X, que actúa invirtiendo los estados de polarización, por lo que resulta:

$$01 \rightarrow \alpha|1\rangle + \beta|0\rangle \quad \text{---} \boxed{\text{X}} \text{---} \quad \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

La otra posibilidad es que la medición de Alice resulte como  $|10\rangle$ , por lo que se procede a aplicar una compuerta Z, que no realiza ninguna modificación sobre los estados  $|0\rangle$  y cambia el signo que antecede a un fotón en estado  $|1\rangle$ :

$$10 \rightarrow \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle \quad \text{---} \boxed{\text{Z}} \text{---} \quad \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

El último caso ocurre si la medición arroja como estado  $|11\rangle$ , por lo que es necesario aplicar el uso de 2 compuertas; el estado pasara primero por una compuerta X:

$$11 \rightarrow \alpha|1\rangle - \beta|0\rangle \quad \text{---} \boxed{\text{X}} \text{---} \quad \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle$$

Y luego una compuerta Z:

$$\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle \quad \text{---} \boxed{\text{Z}} \text{---} \quad \alpha|1\rangle + \beta|0\rangle$$

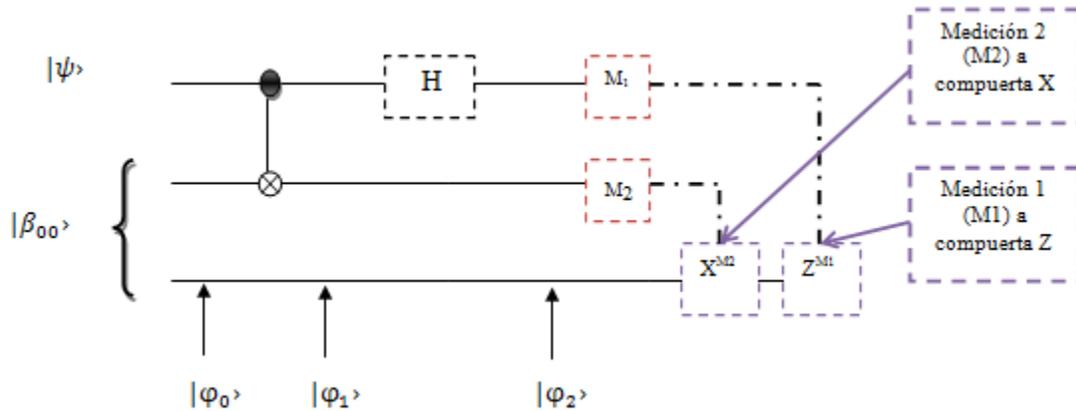


Fig. 4 Esquema completo del circuito de teleportación cuántica

La posición de las compuertas se muestra que son ubicadas de acuerdo a la medición que se realiza sobre los qubits que provienen de la fuente de Alice, dando como circuito final la figura 4.

### Conclusiones

A fin de establecer una comunicación entre dos personas, con el empleo de las compuertas cuánticas podemos asegurar que la información que se envía, llegará segura de acuerdo al tratamiento que se le da (en este caso las medidas realizadas sobre los pares de fotones) y aplicando diferentes tipos de compuertas que permiten que sólo los involucrados puedan saber qué es lo que se está enviando. La cita anterior nos permite decir que el esquema de codificación empleado es eficiente y no permite la intrusión de terceros dentro de la comunicación.

### Referencias

- [1] M.A. Nielsen, I. L. Chuang *Quantum computation and quantum information*, United Kingdom, Cambridge, Cambridge University Press, 2000
- [2] A. Zeilinger, et al. *Experimental quantum teleportation*, Nature 390, 575-579, (1997)

## Instrucciones para los autores

Los artículos que se someten a **RISCE** deben contener resultados inéditos y originales, no haber sido publicados con anterioridad ni haber sido sometidos simultáneamente a otra revista científica. Si el artículo ha sido presentado, sometido o publicado en alguna otra parte, deberá informarse al coordinador editorial. Los artículos deben ajustarse a las siguientes especificaciones:

- Idioma Inglés (anexar un resumen y palabras clave en español)
- Idioma Español (anexar un resumen y palabras clave en Inglés)
- Procesador de texto admitido: MS-Word.
- Tamaño de página: carta, utilizar un solo lado de la hoja. Máximo 10 páginas.
- Márgenes: izquierdo 2.5 cm y derecho 2 cm., superior 2.5 cm e inferior 2.5 cm.
- Autores: primer nombre seguido de los dos apellidos (sin abreviaturas), abajo: afiliación y e-mail.
- Tipo de letra del texto regular: Times o Times New Roman de 10 pt (título original 22 pt; secciones 11.5 pt, subsecciones 11.5 pt, en negritas).
- Texto: a una columna y con espaciado sencillo (renglón seguido).
- Resumen/Abstract: entre 70 y 150 palabras, colocado al principio del texto, seguido del de español o inglés según sea el caso.
- Palabras clave/Keywords: colocadas después del resumen en negritas, y no más de 10.
- Imágenes y fotografías: deben ser de alta calidad, con colores bien definidos y contrastantes, en mapa de bits (no sectorizadas) en formato JPG e incrustadas en el texto de forma que se puedan manipular independiente.
- Fórmulas: Deberán de presentarse en formato de tabla sin bordes, centradas y la numeración de c/u justificada a la derecha con negritas en mapa de bits, no vectorizadas.
- Pies de figura. Deben mencionarse dentro del texto y numerarse de manera consecutiva con un tipo de letra Times New Roman 9 puntos
- Cabecera de tabla. Debera presentarse en la parte superior de la tabla un numeración consecutiva y descripción con tipo de letra Times New Roman 9
- Referencias:

En cualquier caso el nombre del autor del artículo o publicación web deberá mostrarse al principio. Deberán ordenarse conforme aparezcan dentro del texto encerradas entre paréntesis cuadrado —[ ]—. A continuación algunos ejemplos:

- [1]. Baldonado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A.: The Stanford Digital Library Metadata Architecture. *Int. J. Digit. Libr.* 1 (1997) 108–121
- [2+]. Bruce, K.B., Cardelli, L., Pierce, B.C.: Comparing Object Encodings. In: Abadi, M., Ito, T. (eds.): *Theoretical Aspects of Computer Software. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1281. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1997) 415–438
- [3]. van Leeuwen, J. (ed.): *Computer Science Today. Recent Trends and Developments. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1000. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1995)
- [4]. Michalewicz, Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)

### Instrucciones para el envío

Envíe el archivo en extenso a la siguiente dirección electrónica:

romrodolfo@gmail.com

Los revisores técnicos le harán llegar sus observaciones y modificaciones, las cuales deberá realizar y reenviar el archivo corregido al correo romrodolfo@gmail.com.

El comité editorial se comunicará mediante correo electrónico indicándole la aceptación o rechazo del artículo

Se le solicitará autorización para publicación; en caso de aceptar se le indica la cuenta donde debe hacer el depósito por cobro de publicación y el costo el cual no debe exceder de \$1000.00 pesos mexicanos