

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULADOR Y UN DEMODULADOR N-QAM EMPLEANDO XILINX ISE, SYSTEM GENERATOR Y SIMULINK SOBRE UNA TARJETA DE ENTRENAMIENTO BASADA EN UN FPGA DE XILINX.

Jiménez Núñez Sixto Alejandro Panchi Campos Diego Enrique
Ph.D Robin Álvarez R.
Escuela Politécnica Nacional

Resumen: El objetivo del Proyecto es el diseño del modulador y demodulador n-QAM, empleando las herramientas de software: Xilinx ISE, System Generator y Simulink, y su implementación sobre una tarjeta de entrenamiento basada en un FPGA de Xilinx, como parte fundamental en los sistemas de telecomunicaciones.

Para lograr esto, se diseña el modulador y el demodulador utilizando diagramas de bloques generalizados, en los cuales se dividen las funcionalidades de cada sistema complejo en subsistemas sencillos, para describirlos mediante bloques de System Generator, que se estudian previamente.

Posteriormente, se compilan y simulan cada uno de los subsistemas independientemente, y una vez evaluada su correcta operación se procede a unificarlos; para posteriormente integrar el modulador y el demodulador.

Finalmente, se implementan los sistemas n-QAM desarrollados, sobre la tarjeta de entrenamiento de Xilinx mediante la descarga de un archivo de configuración; obteniendo el modulador y el demodulador en hardware, para verificar sus resultados.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de comunicación analógica están siendo reemplazados por los sistemas de comunicación digital dadas las múltiples ventajas que estos presentan. Ventajas como facilidad de procesamiento, regeneración de la señal, multicanalización e inmunidad al ruido han hecho posible que se consiga un notorio desarrollo tanto en la robustez como en la fiabilidad de los sistemas de telecomunicaciones, permitiendo a su vez ofrecer nuevas y mejores aplicaciones al usuario.

II. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Un sistema de comunicaciones básico está formado por tres componentes esenciales: transmisor, canal de transmisión y receptor figura 1.

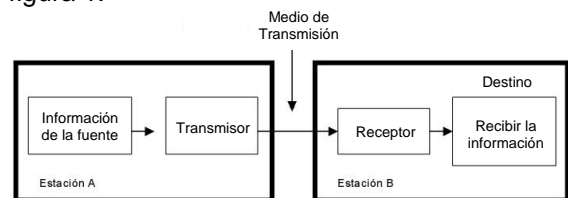


Figura 1 Sistema Básico de Comunicaciones

La modulación es la modificación de uno o varios parámetros fundamentales de la señal portadora (amplitud, frecuencia y fase), siendo la modulación una de las etapas más importantes del procesamiento de una señal dentro de un sistema de telecomunicaciones.

A. MODULACIÓN DIGITAL QAM

La técnica de modulación digital de amplitud en cuadratura (QAM), es una técnica en la cual el mensaje no está contenido únicamente en la variación de fase, como en la modulación PSK, sino que además está en la amplitud [1].

Además, la modulación QAM se basa en la transmisión de dos mensajes independientes, canales I-Q, por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje.

La representación de los distintos símbolos que se pueden representar en QAM suelen mostrarse en un diagrama de constelaciones.

En la figura 2, se puede observar el diagrama de constelaciones correspondiente a 64-QAM, para una señal binaria que puede generar todos los estados.

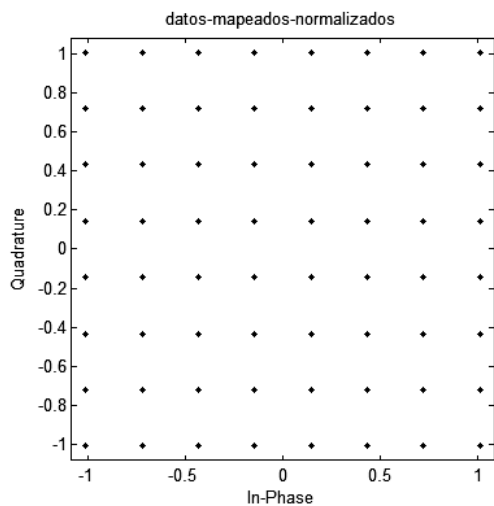


Figura 2 Diagrama de Constelaciones de 64-QAM

La señal modulada 64-QAM en el tiempo presenta variaciones tanto en fase como en amplitud, figura 3.

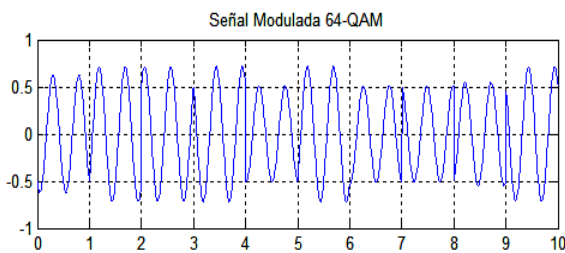


Figura 3 Señal Modulada 64-QAM

III. FASES DE DISEÑO

A. DESCRIPCIÓN

El paso inicial para el diseño, es construir un diagrama de bloques del sistema, para dividir un problema complejo en partes sencillas.

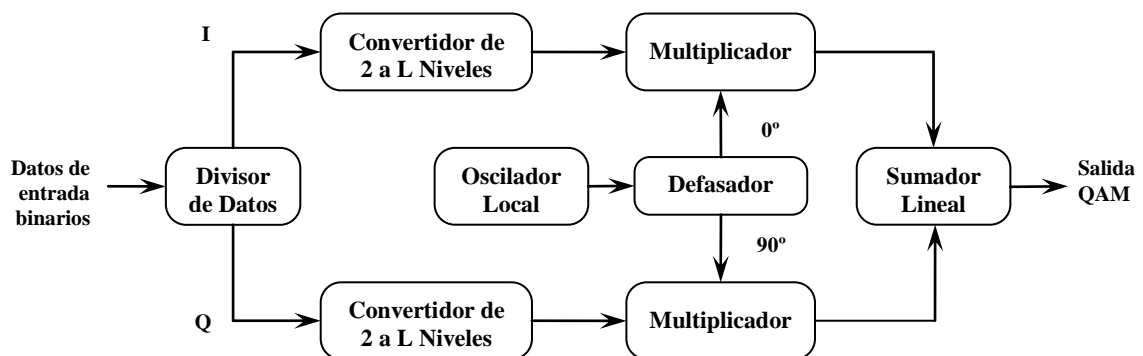


Figura 4. Diagrama General de Bloques del Modulador QAM

Este diagrama (figura 4), además de facilitar el análisis, establece de igual forma la estructura generalizada que se utilizará como base para el diseño del modulador QAM. Un diagrama general de bloques también se emplea para diseñar el demodulador.

B. CONDICIONES GENERALES

Dentro de las condiciones que de forma general delimitan el diseño están: los valores que toma 'n' para determinar los múltiples estados de QAM, la frecuencia del Oscilador Local y la ausencia del módulo de recuperación de portadora en el demodulador.

Entonces, como se tiene una especificación general de n-ario, se establece que n toma los valores de 4, 16 y 64; esto quiere decir que se diseñará un modulador 4, 16 y 64-QAM y su respectivo demodulador. En cuanto a la frecuencia del oscilador local es única e invariable y está limitada por el cristal que contiene la tarjeta. Finalmente, la portadora en el demodulador se origina localmente.

C. MÉTODO DE DISEÑO

El diseño de cada subsistema es similar al realizado por circuitos integrados MSI (*Medium Scale Integration*), debido a que se debe tener conocimiento de las funciones disponibles en el mercado de los circuitos integrados MSI para utilizarlos eficazmente [2].

Así mismo, para el óptimo uso de System Generator, se debe conocer plenamente cada una de las librerías y los bloques.

III. SOFTWARE

System Generator o XSG es un paquete computacional de Xilinx el cual se aloja en Simulink de Matlab. Está formado por librerías (figura 5) que contienen bloques de diferente clase, pues algunos son sintetizables (se pueden implementar en el FPGA) y otros no (figura 6).

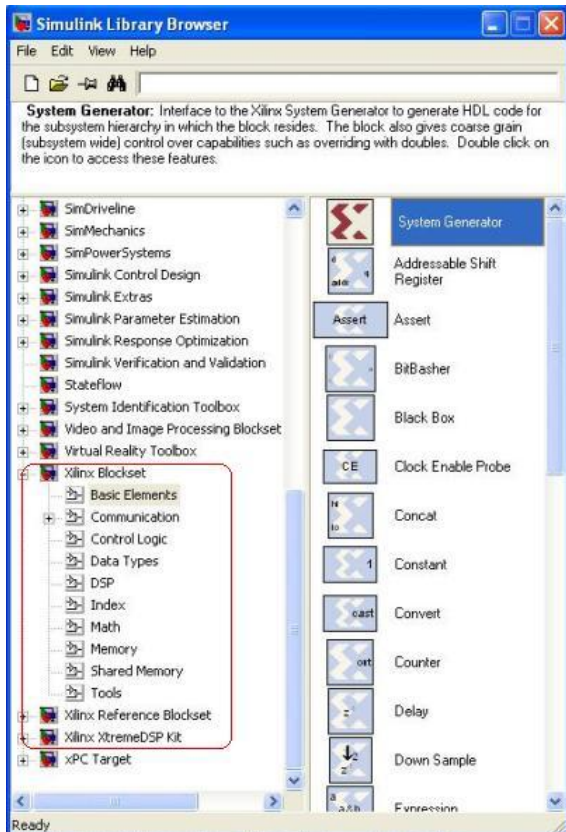


Figura 5 Blocksets de XSG instalados en Simulink

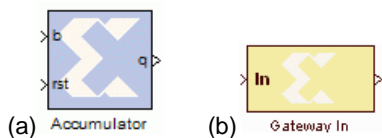


Figura 6 (a) Bloque Sintetizable y (b) Bloque no Sintetizable

IV. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Las pruebas para la simulación se realizan con una fuente contenida en una memoria ROM. Y los resultados mostrados (figuras 7, 8 y 9) son los obtenidos después del sumador lineal, por lo tanto son los datos de entrada binarios modulados en 4-, 16- y 64-QAM respectivamente.

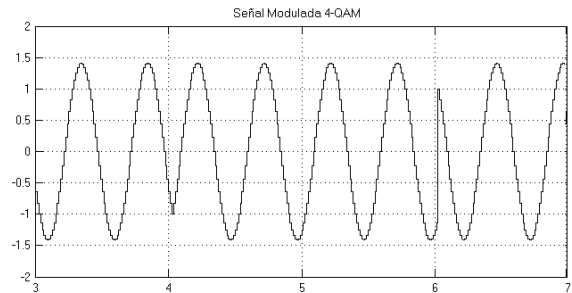


Figura 7 Señal Modulada 4-QAM

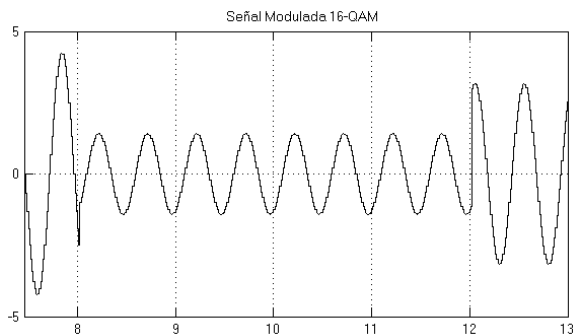


Figura 8 Señal Modulada 16-QAM

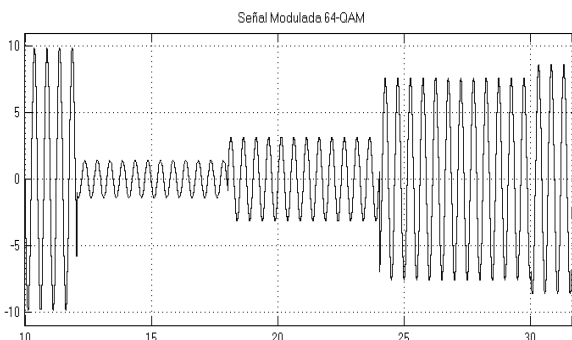


Figura 9 Señal Modulada 64-QAM

En las figuras que muestran la modulación QAM, se ha tomado sólo una parte de la señal para que se pueda visualizar los cambios de amplitud y de fase.

V. IMPLEMENTACIÓN

A. PLATAFORMA DE HARDWARE

La tarjeta de entrenamiento utilizada para implementar el modulador y el demodulador será la Spartan-3E (figura 7). Los componentes y características de esta tarjeta [3] se enlistan a continuación:

- FPGA xc3s500e fg320 -4
- 10,000 celdas lógicas.
- 232 pines de entrada/salida

- Reloj oscilador de 50 Mhz.
- Puertos: PS2, VGA, RS-232 y Ethernet
- Pantalla LCD de 2 líneas.
- Periféricos adicionales:
DAC, ADC, 8 LEDs,
4 interruptores y 4 pulsadores.



Figura 10 Plataforma de Xilinx Spartan-3E

B. DESCARGA DEL ARCHIVO

El modelo creado en Simulink se utiliza para crear el archivo de configuración, mediante la invocación del generador de código, el cual inicia el proceso de compilación y como resultado se obtiene el archivo *bitstream*.

Mediante el programa iMPACT, que es parte del paquete computacional Xilinx ISE, se realiza la descarga del archivo *bitstream* creado a la tarjeta Spartan-3E.

En la figura 11, se muestra la cadena de programación, la que se compone de 3 partes que: FPGA, CPLD y PROM. Además, en el diagrama se indica que se ha descargado exitosamente el *bitstream* hacia el FPGA.

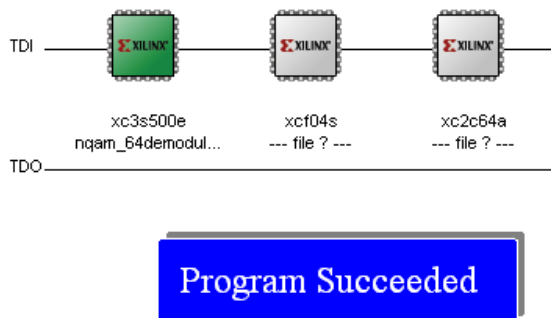


Figura 11 Descarga exitosa del archivo *bitstream*

C. RESULTADOS PRÁCTICOS

Las pruebas de funcionamiento se efectúan en el modulador y en el demodulador independientemente, en consecuencia la tarjeta de entrenamiento sólo contiene un sistema a la vez, sin que exista algún tipo de interacción entre ellos.

Mensaje de Prueba

El mensaje de prueba que se utiliza es 'nQAM', representado en código ASCII de 8 bits por carácter.

Entonces, se tiene el mensaje de prueba y su correspondiente secuencia binaria, así:

Mensaje:

n Q A M

Secuencia Binaria:

01101110 01010001 01000001 01001101

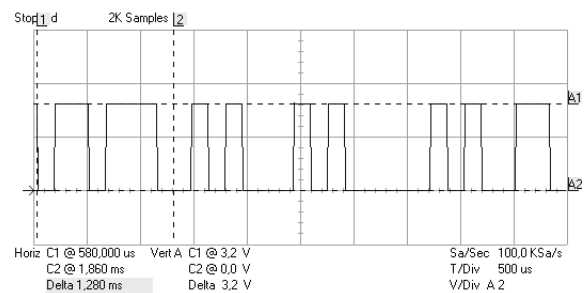


Figura 12 Mensaje 'nQAM' en código ASCII

En adelante, se muestran las formas de onda obtenidas en la salida de cada subsistema que conforman el diagrama de la figura 4, sólo para 16-QAM.

Divisor de Bits

Se dirigen los primeros 2 bits al canal I, los 2 siguientes al canal Q y así sucesivamente.

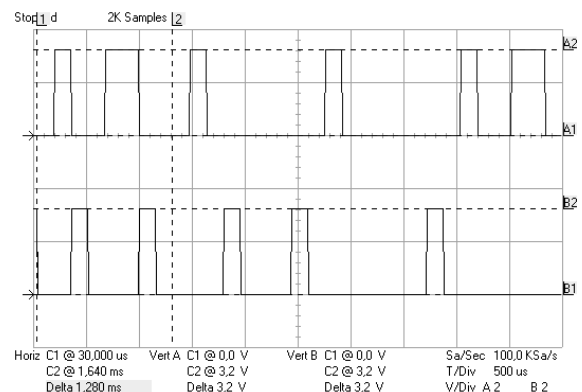


Figura 13 Bits en los canales I-Q, 16-QAM

Convertidor de 2 a L niveles

En el caso de 16-QAM, se tienen 4 niveles, 2 positivos y 2 negativos; el canal I está en la parte de arriba y Q está abajo (figura 14).

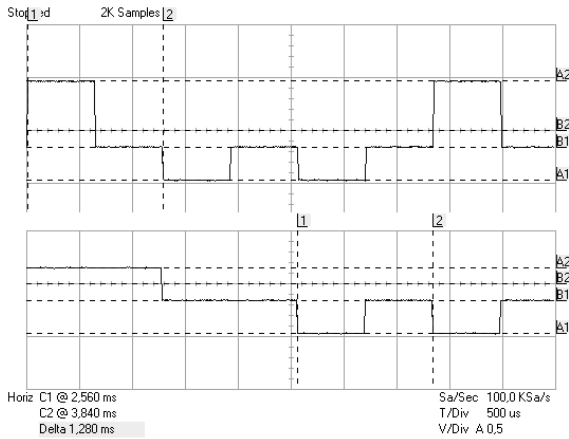


Figura 14 Señal multinivel canales I-Q, 16-QAM

Oscilador Local

La portadora generada dentro del FPGA en el bloque oscilador local, se ha obtenido a través de un conversor D/A, para visualizarla en el osciloscopio, (figura 15). La portadora tiene una frecuencia de 12,5 KHz.

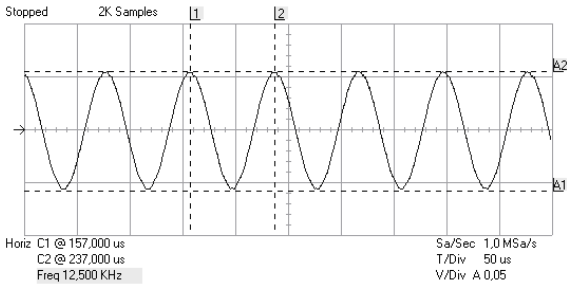


Figura 15 Señal Portadora

Multiplicador

La señal multinivel bipolar se mezcla con la portadora, en fase o en cuadratura según corresponda (figuras 16 y 17).

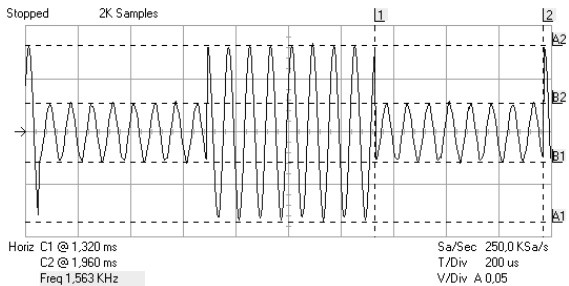


Figura 16 Salida del multiplicador canal I, 16-QAM

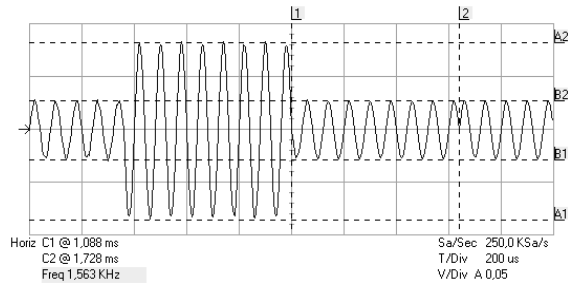


Figura 17 Salida del multiplicador canal Q, 16-QAM

Señal Modulada

La prueba de funcionamiento final en el modulador es la señal modulada QAM. Los resultados para 4, 16 y 64-QAM se encuentran en las figuras 18, 19 y 20.

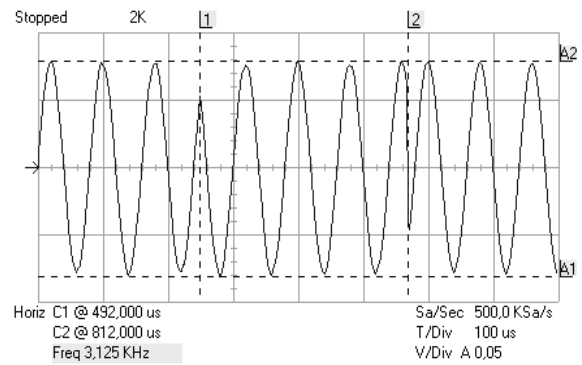


Figura 18 Salida del Modulador 4-QAM

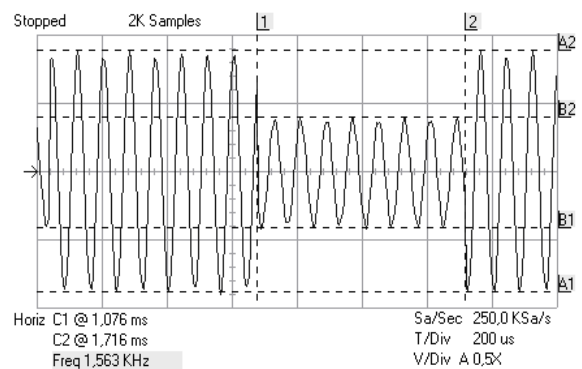


Figura 19 Salida del Modulador 16-QAM

Los resultados que se obtienen para cada caso de modulación QAM, se ajustan exactamente a los conseguidos en la simulación.

Para el demodulador, se realizaron pruebas similares, dando igualmente buenos resultados.

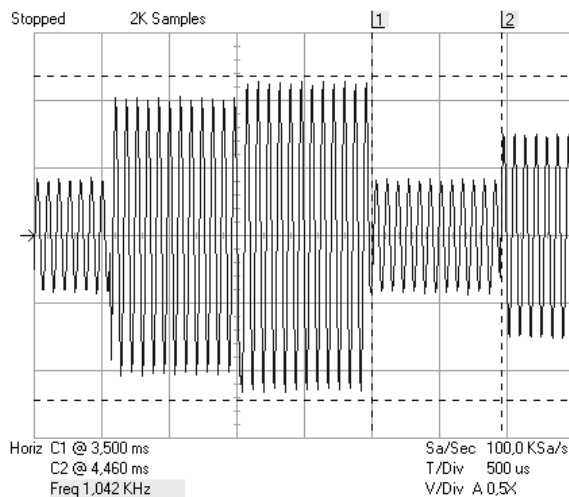


Figura 20 Salida del Modulador 64-QAM

VI. CONCLUSIONES

La descripción de hardware que se realiza mediante XSG, provee una gran facilidad para realizar cambios en el diseño, modificando únicamente el software, mostrando así la potencialidad del desarrollo de cualquier tipo de modelo o sistema sobre un FPGA y su depuración.

Las tarjetas de entrenamiento basadas en FPGAs se pueden utilizar para realizar prototipos en distintas áreas como son: sistemas de comunicaciones, redes de información, transmisión de datos, procesamiento digital de señales entre otras, debido a la gran densidad de compuertas y biestables que la componen.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] W. TOMASI, Sistemas de Comunicaciones Digitales, 2da ed., Ed. Prentice Hall Hispanoamérica, 1996, p. 482.
- [2] C. NOVILLO, Sistemas Digitales, EPN, p. 53
- [3] Xilinx Spartan-3E UG 230 Starter Kit Board User Guide, pp. 12-13.

LIBROS Y MANUALES:

1. J. WAKERLY, Diseño Digital: Principios y Prácticas, 3ra ed., Ed. Pearson, 2001.
2. F. STREMLER, Sistemas de Comunicación Ed. AlfaOmega, Colombia.
3. W. COUCH, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 7ma ed., Ed. Pearson, México, 2008.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

1. Xilinx, <http://www.xilinx.com/>
2. Mathworks, <http://www.mathworks.com/>

BIOGRAFÍAS

Jiménez Núñez Sixto Alejandro

Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Espejo y los secundarios en el I.T.S. Central Técnico obteniendo el título de bachiller técnico en Electrónica. Obtuvo su título de tercer nivel en la Escuela Politécnica Nacional de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, mayo 2011.

e-mail: ing_sixtojimenez-eqn@yahoo.es

Panchi Campos Diego Enrique

Nació en Quito el 4 de octubre de 1986. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Roberto Espinoza y secundarios en el Colegio Sebastián de Benalcazar obteniendo el título de bachiller en Ciencias Físico Matemático. Sus estudios universitarios los realizó en la Facultad de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

e-mail: dpanchi1986@hotmail.com