

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TAXÍMETRO DIGITAL CON IMPRESORA FACTURADORA UTILIZANDO TECNOLOGÍA GPS

Miguel Antonio Cuasapaz Chamorro, Ing.

Luis Ricardo Torres García, Ing.

María Soledad Jiménez, M.Sc.

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Escuela Politécnica Nacional

Isabel La Católica 202 y Veintimilla, Quito-Ecuador

Resumen— En este trabajo se construye un prototipo de taxímetro digital en base al microcontrolador atmega324P, utilizando tecnología GPS. El prototipo cuenta con un puerto de comunicación serial para la reprogramación de la tarifa vigente tomando en cuenta mecanismos contra la adulteración fraudulenta de las mismas. Por último se presentan pruebas de funcionamiento en un vehículo para comparación de datos con un taxímetro homologado y calibración.

Términos para indexación— taxímetro digital; microcontrolador ATMEGA324P; Módulos receptores GPS; Comunicación serial RS232.

I. NORMATIVA VIGENTE SOBRE TAXÍMETROS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se presenta un análisis de la normativa vigente relacionada a los taxímetros, así como también los fundamentos teóricos de la tecnología GPS y los tipos de tramas de información que se manejan. Se incluye también, las características del microcontrolador ATMEGA324P. Además se muestra las diferentes técnicas de tarifación utilizadas en un taxímetro y las tarifas actuales que rigen en el país.

A. Normativa vigente y organismos responsables

Para que un taxímetro sea legalmente utilizable debe cumplir con los requerimientos o normativas

que exigen los organismos correspondientes, en el caso de nuestro país: El INEN (Instituto de Normalización Ecuatoriana); la CNTTTSV (Comisión Nacional de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial) y el SRI (Servicio de Rentas Internas).

B. Categorización de taxis en Quito

Según la ordenanza municipal No. 0047, los taxis se clasifican en: a) convencional, b) ejecutivos; dentro de los convencionales se subclasifican en: a1) convencionales rurales, a2) convencionales periféricos y a3) convencionales normales (Ver Fig. 1); siendo estos últimos los únicos auto-taxis que utilizan el equipo taxímetro, con las tarifas emitidas por la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, equipos que deben ser homologados por el Instituto de Normalización Ecuatoriana y que deben cumplir con las normas de un documento impreso con el detalle de la carrera como indica el Servicio de Rentas Internas.



Fig. 1: Fotografía de taxi convencional normal

Miguel A. Cuasapaz Ch.(e-mail: cuasapaz@hotmail.com)
Luis Torres G.(e-mail: lrtorresg@gmail.com)
Ma. Soledad Jiménez J(e-mail: maria.jimenez@epn.edu.ec)

II. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En esta sección se presenta el diseño detallado del prototipo, cuyo diagrama de bloques se ilustra en la figura 2. Incluyendo la selección del módulo GPS, la selección del módulo de la pantalla para visualización de datos del servicio de taxi y la selección de la mini impresora. Se presenta el desarrollo del firmware del microcontrolador, así como del algoritmo de operación.

El módulo receptor GPS permitirá obtener parámetros de velocidad, distancia y tiempo. La pantalla indicará permanentemente: la hora, la fecha, el estado del servicio, el tipo de tarifa y el costo. La impresora, de preferencia matricial, imprimirá la factura diseñada y autorizada por el SRI. El microcontrolador ATMEGA324P de la familia AVR realizará el procesamiento de datos del módulo receptor GPS, así como los cálculos del costo de la carrera y mostrará en la pantalla LCD todos los mensajes dependiendo del estado de servicio u operación que se encuentre ejecutando.

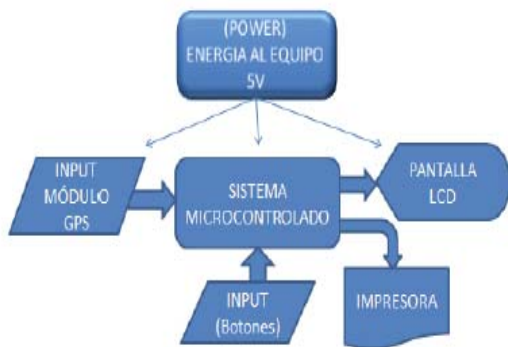


Figura 2: Diagrama de bloques del prototipo taxímetro

A. Características del microcontrolador

El prototipo cuenta con el microcontrolador ATMEGA324P como elemento principal, que en conjunto con un firmware realiza el procesamiento de datos y el manejo de los periféricos, el mismo que fue utilizado debido a su bajo consumo de potencia, a su rápido procesamiento, a su estabilidad, a su sistema de protección de sobrecorriente o cortocircuito, y a que cuenta con un contador en tiempo real (RTC, *Real Time Counter*) con oscilador independiente.

B. Selección de elementos del prototipo

Se puede observar la comparación de receptores GPS en la TABLA I “Módulos receptores GPS”, en base a la cual se realiza la selección del mismo. En la figura 3 se muestra el receptor GPS utilizado en el prototipo. **indicar cual fue y por qué se lo escogió.**

TABLA I
MÓDULOS RECEPTORES GPS EN EL MERCADO

Marca/Fabricante	Modelo	Voltaje DC	Potencia	Precio
Oncore/Motorola	M12	2,8 a 3,2 V	185 mW	\$ 200,00
Lassen	LP	3,3 V	182 mW	\$ 650,00
PARALLAX	Parallax	5 V	115 mW	\$ 80,00
POLSTAR	PMB-648	3,3 a 5 V	215 mW	\$ 50,00
POLSTAR	PMB-688	3,3 a 5 V	215 mW	\$ 60,00
Link Technologies	RXM-5G	3,3 a 5 V	165 mW	\$ 40,00
Navilock	NL-402U	5 V	400 mW	\$ 126,00
Garmin	Delux 18	5 V	275 mW	\$ 192,00
GlobalSat	EM-408	3,3 V	250 mW	\$ 128,00
POLSTAR	ET-312	3,3 a 5 V	265 mW	\$ 34,00
FALCOM	JP-18	3,4 a 5,5 V	100 mW	\$ 59,00
POLSTAR	EM-408	4,5 a 6,5 V	340 mW	\$ 49,00
LEADTEK	LR9101LP	3,2 a 5 V	160 mW	\$ 40,00
POLSTAR	EM-410	3,3 V	200 mW	\$ 52,00
POLSTAR	PGM-111	5 a 9 V	120 mW	\$ 40,00



Fig. 3: Receptor GPS usado en el proyecto

En la selección de la pantalla, se optó por una pantalla LCD 16x2 big, siendo una interfaz óptima para aplicaciones con microcontroladores, que permite visualizar 32 caracteres alfanuméricos de gran tamaño en dos líneas de 16 caracteres. Este display 2x16 BIG fondo azul, con *backlight* presenta una clara visualización de información durante el día y la noche, pudiendo tener siempre visible: el estado del servicio, el costo mientras transcurre la carrera, el tipo de tarifa, en los 16 caracteres de la parte superior, y datos como: velocidad, distancia recorrida, tiempo de espera, fecha y hora, mostrados opcionalmente en los 16 caracteres de la parte inferior. En la fig. 4 se presenta una fotografía de la pantalla utilizada.

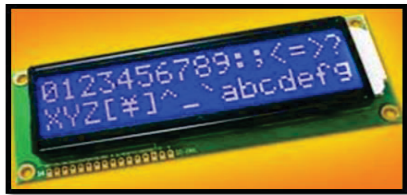


Fig. 4: Pantalla LCD 16x2 Big, usada en el Proyecto

Se utilizó la impresora térmica modelo a2 para el prototipo, por sus características: voltaje de alimentación de 5V, similar al voltaje requerido por los elementos del prototipo, por su bajo consumo de potencia, por el tamaño adecuado, ya que incluso se puede ocultar fácilmente dentro de la bagueeta del auto-taxi hasta el final de la carrera donde se imprime el detalle del servicio de taxi, por la comunicación serial que permite con el prototipo con niveles TTL o RS232 y por último debido a su costo es factible para la comercialización. El impreso del documento por duplicado se lo realiza mediante programación. La fig. 5 muestra la impresora térmica que se utilizó para las pruebas.



Fig. 5: Impresora térmica modelo a2

C. Desarrollo del firmware del prototipo

El firmware del prototipo, se diseñó cumpliendo con características de funcionamiento, que exigen los organismos de control, fundamentalmente se basó en cumplir con los estados del servicio, como son: LIBRE, OCUPADO, IMPRIMIR y CONTROL, además tomando en cuenta los dispositivos electrónicos usados en el proyecto, como son: el módulo LCD, el módulo receptor GPS, la comunicación serial para la impresora, los leds indicadores, los pulsadores, el buzzer y el microcontrolador ATMEGA324P.

El firmware fue desarrollado con la herramienta de programación BASCOM AVR versión 1.11.9.5, debido a su fácil aprendizaje y comandos muy sencillos, no se utilizó versiones más recientes debido a que las nuevas versiones BASCOM AVR tienen deficiencias en RTC (*Real Time Clock*) y memorias de programa diversas dependiendo de la versión y del

microcontrolador utilizado. Las características propias de este lenguaje de programación ayudan a desarrollar una estructura de programa más sencilla.

En la fig. 6 se muestra el diagrama de estados que se tomó en cuenta para el desarrollo del firmware desde INICIO o energización del equipo, pasando los estados del servicio secuenciales LIBRE, OCUPADO, IMPRIMIR y con opción de cambio de tarifas en el estado CONTROL.

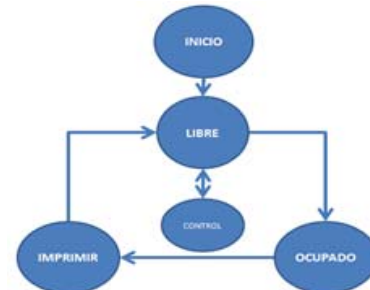


Fig. 6: Diagrama de estados del servicio

III. CONSTRUCCIÓN DEL PRTOTIPO

En esta sección se detalla el proceso de construcción del prototipo mediante las diferentes herramientas para la elaboración de la tarjeta electrónica, la distribución de los elementos en la tarjeta, la utilización de los diferentes puertos del microcontrolador y su programación, además del proceso de montaje y armado de los diferentes componentes y detalle de la comunicación con la impresora. La Fig. 7 muestra el diagrama de bloques del proceso de construcción.

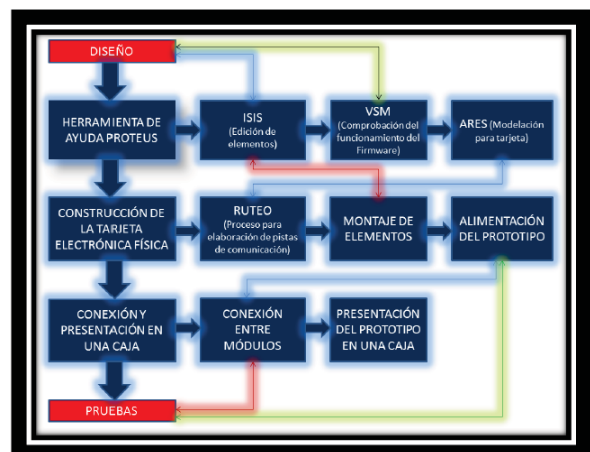


Fig. 7: Diagrama de bloques del proceso de construcción del prototipo

A. PCB del prototipo

En primer lugar se realizó el diagrama esquemático del prototipo en el módulo ISIS de Proteus, luego con la herramienta ARES se realizaron los diagramas circuitales, capa superior e inferior del PCB. En la fig. 8 se indica una vista en tres dimensiones del PBC.

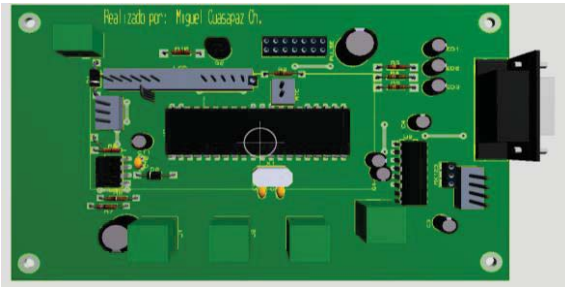


Fig. 8: Vista 3D del PBC del prototipo de taxímetro

B. Población de elementos en la tarjeta electrónica

En la fig. 9 muestra la distribución de los elementos en la tarjeta electrónica, las conexiones con la impresora y el receptor GPS, la posición de la pantalla y los botones debajo de ésta.

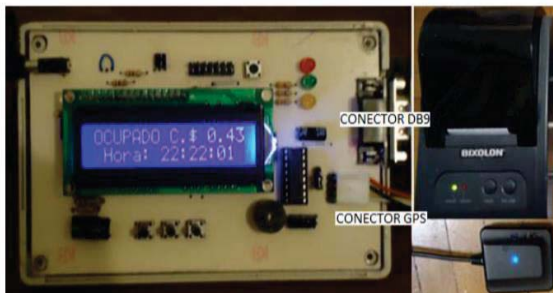


Fig. 9: Prototipo con la distribución de elementos y conexiones con sus periféricos

IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El capítulo 4 incluye todas las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo, estas pruebas incluyen tanto ambientes de laboratorio como pruebas de campo realizadas en un automotor. En las pruebas se consideran todas las posibles variables que puedan afectar el funcionamiento y se realiza los ajustes del firmware.

A. Pruebas de navegación por el menú del prototipo taxímetro

Se realizó pruebas con el menú del prototipo, efectuando pequeñas correcciones en el texto que

muestra en la pantalla, para que sea amigable con el usuario, tomando en consideración parámetros que exigen las normas, como es que el costo de la carrera esté siempre visible durante el transcurso de la misma. Se tuvo éxito en la comunicación con el computador para cambio de tarifas ingresando solo con una clave de seguridad. En la fig. 10 se muestran las pantallas y opciones que se tiene en el estado ocupado del prototipo, sin dejar de mostrar el costo de la carrera en la parte superior derecha de la pantalla.



Fig. 10: pantallas en el estado ocupado

B. Pruebas del costo de la carrera

Para realizar las pruebas del costo de la carrera, fue esencial primero hacer las pruebas de velocidad del vehículo teniendo un error promedio de 0,05 km/h; las pruebas de distancia recorrida con un error menor al 1%; pruebas de tiempo de espera sin tener error, debido a que tiene un reloj en tiempo real tanto el módulo GPS como el microcontrolador del prototipo, realizando correcciones en firmware en el caso de que pierda comunicación el receptor GPS con los satélites. Por último cumpliendo con éxito las anteriores pruebas, se realizó las pruebas del costo de la carrera teniendo un error de algunos centavos al final de la misma.

TABLA II
COMPARACIÓN DEL COSTO DE LA CARRERA ENTRE UN TAXÍMETRO HOMOLOGADO Y EL PROTOTIPO

T. en (min)	Homologado	Prototipo	Error
15:06:37	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ -
15:07:37	\$ 0,57	\$ 0,57	\$ -
15:08:37	\$ 0,63	\$ 0,64	\$ 0,01
15:09:37	\$ 0,79	\$ 0,80	\$ 0,01
15:10:37	\$ 0,90	\$ 0,91	\$ 0,01
15:11:37	\$ 1,06	\$ 1,07	\$ 0,01
15:12:37	\$ 1,13	\$ 1,14	\$ 0,01
15:13:37	\$ 1,29	\$ 1,30	\$ 0,01
15:14:37	\$ 1,44	\$ 1,45	\$ 0,01
15:15:37	\$ 1,67	\$ 1,68	\$ 0,01
15:16:37	\$ 1,81	\$ 1,82	\$ 0,01
15:17:37	\$ 1,87	\$ 1,89	\$ 0,02
15:18:37	\$ 2,00	\$ 2,02	\$ 0,02

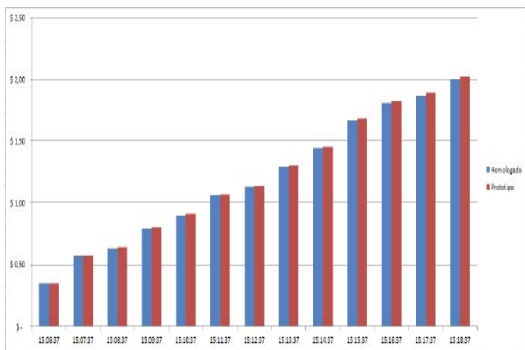


Fig. 11: Grafica de comparación del costo de la carrera entre un taxímetro homologado y el prototipo

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

✓ Con relación a la normativa sobre taxímetros en el Ecuador se constató que se encuentra desactualizada, tomando en cuenta que la tecnología ha venido avanzando muy aceleradamente desde el siglo XIX, por lo cual se observó que algunos reglamentos son incompatibles con el proyecto de taxímetro factorador donde se utilizó tecnología nueva como la GPS para esta aplicación de taxímetros en el país.

✓ En el desarrollo del prototipo se vio la factibilidad de utilizar 2 puertos de comunicación con el microcontrolador ATMEGA324P, ya que éste cuenta con la característica de tener 2 puertos de comunicación serial, sin embargo se vio que no fue necesario debido a que solo se tiene comunicaciones *simplex* tanto del módulo GPS al microcontrolador como de este último hacia la impresora. Y una comunicación *full duplex* entre el prototipo y el computador. Con la ayuda de un interruptor se escoge el uso de uno de los puertos seriales del microcontrolador entre su operación normal (comunicación con el receptor GPS y la impresora), y la comunicación con el computador para el cambio de tarifas.

✓ En el desarrollo de esta investigación, se realizó varias pruebas con diferentes tipos de impresoras, para de esta manera escoger la más idónea, en donde se pudo comprobar que las impresoras matriciales a pesar de contar con características de emisión de facturas con su duplicado, son las menos apropiadas ya que son de gran tamaño y consumen mucha potencia, por

lo que difícilmente podrán ser acopladas al espacio limitado en donde serán ubicadas.

✓ De los datos obtenidos por el módulo GPS y las pruebas realizadas para el cálculo de la distancia recorrida, se pudo observar que a pesar de que existe un error de precisión de la posición de 4m hasta 100m en el peor de los casos, respecto a la posición real del vehículo, sin embargo este error es despreciable tomando en cuenta que se utiliza el parámetro desplazamiento, debido a que el error en la posición no es acumulativo, siendo así que se tiene una aproximación muy exacta entre la sumatoria total del desplazamiento calculada y los kilómetros reales recorridos por el vehículo.

✓ En el desarrollo del proyecto se observó que se puede optimizar el firmware del prototipo de taxímetro utilizando otro lenguaje de programación, como el C para AVR o el ensamblador de Atmel. Sin embargo se tiene mayores complicaciones al redactar las líneas del código fuente y la depuración del programa, tomando un mayor tiempo en la realización de un firmware operativo funcional.

✓ Mediante las pruebas realizadas al prototipo y a taxímetros homologados, los equipos del mercado incrementan el costo del tiempo de espera en función de minutos por lo que si se tiene unos segundos en espera menor a un minuto, no aumenta al registro, son descartados e inician desde cero en una nueva parada, perjudicando al chofer del taxi en unos centavos al finalizar el servicio.

✓ Luego del desarrollo del taxímetro, y observando que el prototipo cuenta con tecnología GPS, se pudo llegar a la conclusión que el equipo es adaptable con otros equipos GPS, por lo cual se puede aumentar sus características cambiando el módulo receptor GPS por un modem GPS/GPRMS para rastreo satelital, lo que implicaría un mayor costo, debido a que se debe instalar todo un sistema, que cuenta con instalaciones para una central de monitoreo, servidores y aplicaciones de navegación, operadores de *call center*, laboratorio técnico de mantenimiento de equipos, contar con una compañía de datos para las comunicaciones celulares, etc.

B. Recomendaciones

✓ El Sistema de Rentas Interno SRI quiere incluir una normativa para declaración de impuestos sobre el campo laboral de los taxistas, sin tener éxito debido a que las normas vigentes son estrictas para equipos de facturación en este país; como recomendación se debe tener en cuenta que para crear una nueva normativa con respeto a la facturación, se deberá realizar un estudio de todos los miembros que resultarían afectados por un cambio en este tema.

✓ Según las normativas del SRI, el taxímetro funcionaría como un sistema autoimpresor, sin embargo cuando se tenga problemas con la impresora como falla de comunicación y falta de papel, se recomienda al SRI que se permita a los taxistas tramitar comprobantes preimpresos.

✓ Debido a que utilizar una impresora matricial es poco factible, se recomienda y utiliza en el prototipo una impresora de poco consumo de potencia, que emiten recibos en papel térmico y generando la impresión por duplicado mediante software justamente para emitir recibos a los involucrados, chofer y cliente.

✓ En vista del avance de la tecnología y de la acogida del sistema de posicionamiento global en el Ecuador, sin duda existirá un mejoramiento de la utilización de este sistema con la inclusión de una estación en tierra en Latinoamérica o mejor aún en Ecuador para aplicar sistemas con GPS diferencial, y así también realizar mejoras en prototipos desarrollados que trabajan con el sistema GPS.

✓ Debido a que en el incremento del minuto de espera de los taxímetros homologados de una parada a la siguiente en los segundos no son acumulativos, se recomienda que se actualice este aspecto en las normas del INEN sobre taxímetros, sus parámetros y tolerancias, en especial para nuevos taxímetros con tecnología actual, como se utilizó en el prototipo, objeto de este estudio, en donde los segundos se acumulan.

C. REFERENCIAS

[1] <http://thelongestlistofthelongeststuffatthelongestdomainnameatlonglast.com/first292.html>
 [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global
 [3] <http://www.sri.gob.ec/web/guest/67>

[4] <http://www.inen.gov.ec/index.php>
 [5] <http://www.cntttsv.gov.ec/index.php/tarifas>
 [6] Carlos David Amaya Jaramillo, Darían Paúl Carrera Chicaiza, SISTEMA DE MONITOREO PASIVO DE VEHICULOS MEDIANTE GPS.
 [7] RG34 APROBACIÓN DE MODELO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial No 226 de 1982-04-21)
 [8] RG43 REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial no 314 de 1982-08-25)
 [9] Documentación emitida por el Servicio de Rentas Internas sobre Taxímetros.
 [10] ATAPUMA, Francisco, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO USANDO UN ACELEROMETRO TRIDIMENSIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN UN VEHICULO”, Quito Julio 2009.
 [11] http://www.caveo.com.ar/lcd_16x2_sinc_big.html
 [12] http://eu.mio.com/es_es/global-positioning-system_4991.htm
 [13] http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp
 [14] http://www.nmea.org/Assets/100108_nmea_0183_sentences_not_recommended_for_new_designs.pdf
 [15] <http://www.servisystem.com.ar/smd1.html>



Ing. Miguel Antonio Cuasapaz Chamorro, nació en Ibarra en 1983. Realizó sus estudios secundarios en el colegio fiscomisional “San Francisco” de Ibarra, obteniendo el título de Bachiller en Ciencias; sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Trabajó para la Unidad de Mantenimiento Electrónico en la Escuela Politécnica Nacional, colaboró para la empresa PC-Servicios, y actualmente cumple labores como Ingeniero Junior de la empresa de Grupo TVCable.

Ing. Luis Ricardo Torres García, nació en Santo Domingo de los Colorados en 1988. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior "Julio Moreno Espinosa", obteniendo el título de Bachiller en Ciencias, mención: Físico Matemático, sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, en el año 2011, y colaboró como Ayudante de

Laboratorio y Profesor para el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Información. Trabajo para la empresa PC-Servicios, y actualmente trabaja para NEC de Colombia.

Ing. María Soledad Jiménez, M.Sc., Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional 1988, obtuvo su título de Master of Science in Electrical Engineering en la Universidad de Texas & Arlington – USA en 1994.

Se desempeña como profesora a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional desde 1988 hasta la presente fecha.