

Dispositivo Auxiliar Para Afinación de Guitarras

J.I. Vega-Luna¹, G. Salgado-Guzmán¹, M.A. Lagos-Acosta¹, V.N. Tapia-Vargas¹, F.J. Sánchez-Rangel¹, J.F. Cosme-Aceves¹.

Resumen—En este trabajo se presenta el diseño e implantación de un dispositivo auxiliar para afinar instrumentos musicales de cuerdas utilizando un micrófono, un convertidor de frecuencia a voltaje y un sistema con microcontrolador. El objetivo principal fue construir un sistema portátil y amigable auxiliar para la afinación, ya que los métodos tradicionales necesitan de un oído muy educado para esta tarea. El usuario posiciona en la caja de resonancia el micrófono, selecciona la cuerda que será afinada, inicia la oscilación de la cuerda y cada 10 segundos realizara un despliegue de la frecuencia. En un display alfa numérico se mostrara el valor en Hertz de la frecuencia de oscilación que tiene la cuerda.

Palabras claves—Convertidor frecuencia a voltaje, LCD, microcontrolador, micrófono.

Abstract—This work presents the design and implementation of an auxiliary device for tuning musical string instruments using a microphone, a frequency-to-voltage converter and a microcontroller system are presented. The main objective was to build a portable and user friendly tuning system, since traditional methods need a very educated ear for this task. The user positions the microphone in the soundboard, selects the chord to be tuned, initiates the swing of the chord and every 10 seconds will perform a frequency display. A numerical alpha display will show the Hertz value of the oscillation frequency of the chord.

Keywords—Frequency to voltage converter, LCD, microcontroller, microphone.

VIII. INTRODUCCIÓN

El tema de afinación de instrumentos musicales y reconocimiento de tonos no es nuevo.

En los últimos años se han desarrollado y publicado trabajos que abarcan diferentes aspectos del tema usando los últimos avances tecnológicos de computación, sistemas, digitales, programación e inclusive robótica. Específicamente, se han realizado sistemas de afinación de guitarras usando Java y lenguaje de programación Eclipse [1]. Otros trabajos se han centrado en: sistemas de conversión y transcripción de tablaturas de guitarra a partir de señales de audio [2] y sistemas de apoyo en la práctica

de guitarra [3], incluyendo dispositivos robóticos [4]. Donde más se han realizado trabajos e investigaciones es en la afinación de instrumentos musicales como: piano usando microprocesadores [5-6], piano utilizando un robot [7], violín [8], clarinete [9], tambor Indio [10-11] e instrumentos regionales como el Gayageum Coreano [12]. Publicaciones recientes incluyen: dispositivos de afinación usando música pre-grabada tradicional usados cuando no existen frecuencias de afinación establecidas [13], sistemas de acompañamiento para cantantes de música regional [14] y modelos para imitar el oído humano y reconocer tonos de instrumentos y poder afinarlos [15]. La mayoría de estos trabajos requieren el uso de una computadora y algunos una plataforma de programación y actuadores electrónicos e inclusive robots. Esto implica mayor costo y complejidad de uso y diseño comparado con el trabajo aquí presentado donde el costo de la tarjeta es mucho menor al de una computadora, ya que para lograr el objetivo de este trabajo no hace falta la mayoría de componentes de una computadora.

Existen varias formas o métodos de afinar los instrumentos de cuerdas y específicamente guitarras, uno de los más básicos para una persona principiante, es afinando con un afinador eléctrico. Los afinadores electrónicos los podemos encontrar en el mercado alrededor de los 30 dólares y las funciones que ofrecen son: Afinación mostrando una guía visual de la cercanía a las frecuencias de cada tono, un altavoz interno que reproduce los tonos E, A, D, G, B y E para la sintonización, una selección que muestra si subir o bajar el tono manualmente, un micrófono de alta sensibilidad. Un ejemplo de este afinador es el QT-11, como el indicado en la Figura 1.



Figura 1. Afinador electrónico QT-11

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México, México.* vlji@correo.azc.uam.mx.

Uno de los aspectos más difíciles e importantes para el que comienza a utilizar la guitarra es, la afinación de sus cuerdas. Es importante que la guitarra este afinada para poder obtener el provecho de esta.

Las cuerdas son de diferentes materiales dependiendo del instrumento y la aplicación: cuerdas metálicas, estas cuerdas suele ser el acero, son características de las guitarras acústicas, eléctricas y bajos (estos poseen sólo 4 cuerdas y son más gruesas), Las guitarras acústicas, como se muestra en la Figura 2, además de poseer las cuerdas metálicas, tienen un cuerpo más grande que el de las guitarras clásicas, lo que proporciona un sonido más fuerte. Podemos encontrar guitarras acústicas de 6 y 12 cuerdas. Cuerdas de carbón son con un sonido más agresivo, tiene mucha más tensión. Cuerdas de nylon tienen un sonido más dulce y quizás más tradicional.

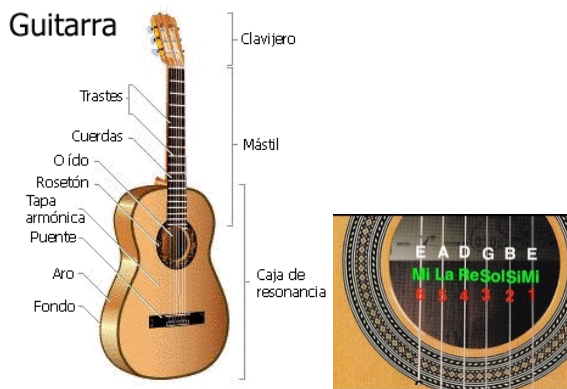


Figura 2. Partes de una guitarra

Las cuerdas de una guitarra generan oscilaciones dependiendo la tensión a la que estén ajustadas. En una guitarra acústica se tienen 6 cuerdas y la nota que debe dar cada cuerda es la siguiente: La cuerda superior (la más gruesa de todas, también llamada 6ta. cuerda) debe dar la nota Mi, las notas de las cuerdas siguientes son La, Re, Sol, Si y la cuerda inferior (la más delgada de todas, también llamada 1ra. cuerda) también al igual que la sexta cuerda debe dar la nota de Mi, pero más aguda claro está. La frecuencia generada por cada cuerda en una guitarra acústica se especifica en la Tabla 1.

TABLA I
FRECUENCIAS GENERADAS POR LA OSCILACIÓN

No.	Cuerda	Frecuencia
1ra	(E):	329.63Hz
2da	(B):	246.94Hz
3ra	(G):	196.00Hz
4ta	(D):	146.83Hz
5ta	(A):	110.00Hz
6ta	(E):	82.41Hz

El método básico para la afinación acústica manual es aflojar la sexta cuerda hasta que no dé ningún sonido, y luego la irás subiendo (apretando) muy despacio hasta que dé un sonido claro sin subirla mucho; en ésta disposición se considerará ya afinada la sexta, pasamos entonces a afinar la quinta cuerda que después de aflojarla como se hizo con la anterior la irás subiendo muy poco a poco hasta que ésta cuerda tocada al aire (es decir, sin que la pise la mano izquierda) produzca el mismo sonido que el de la sexta cuerda pisada en el quinto traste. Ya afinada la quinta se procederá sucesivamente a la afinación de las demás cuerdas de acuerdo a la tabla siguiente:

La cuerda 6ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 5ta al aire.

La cuerda 5ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 4ta al aire.

La cuerda 4ta pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 3ra al aire.

La cuerda 3ra pisada en 4to traste da el sonido que corresponde a la 2da al aire.

La cuerda 2da pisada en 5to traste da el sonido que corresponde a la 1ra. al aire.

Este método puede ser utilizado cuando se tiene un oído musical o un oído entrenado, ya que no teniéndolo puede resultar tardado o incluso molesto. Al notar lo tedioso y tardado que puede ser este método, surgió la idea de realizar un dispositivo electrónico que sea practico para la tarea de afinación de guitarras acústicas. El dispositivo electrónico realizado es de fácil funcionamiento, de bajo consumo de energía y principalmente es realizado con componentes comerciales que se pueden conseguir fácilmente en México.

IX. DESARROLLO

En este trabajo se determina el valor de la frecuencia generada al oscilar una de las seis cuerdas de una guitarra acústica. La metodología utilizada para la resolución de este problema se puede dividir en las siguientes etapas funcionales: adquisición de datos, procesamiento de datos y visualización de los resultados.

A. Etapa de adquisición de datos

En esta etapa se usó para la adquisición de la señal analógica de audio un micrófono de capsula, a continuación acondicionamos la señal para que pase a la etapa de conversión de frecuencia a voltaje. En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la etapa de adquisición.

Se utilizó un micrófono de capsula colocado en la caja acústica de la guitarra para obtener la mejor señal acústica de la guitarra. La señal analógica de pequeño potencial, que se obtuvo del micrófono, la acondicionamos

utilizando un preamplificador de señal MAX4465 [16].

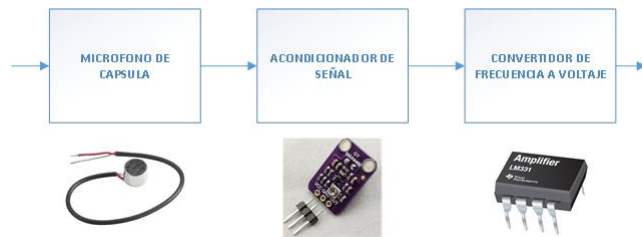


Figura 3. Etapa de adquisición

Los MAX4465 son para uso como preamplificadores de micrófono. Estos proveen la combinación ideal de una ganancia optimizada a usando voltajes de operación de 2.4 a 5.5 V, como se indica en la Figura 4.

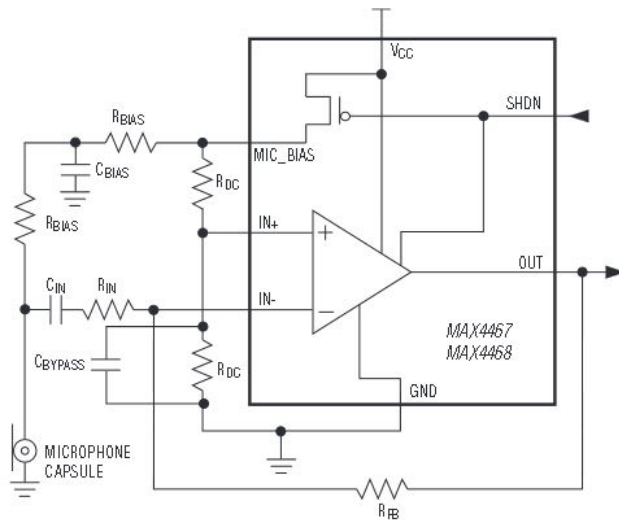


Figura 4. Diagrama de preamplificador MAX4465

A la salida del preamplificador se conectó el módulo convertidor de frecuencia a voltaje la señal requerida.

El convertidor de frecuencia a voltaje, configurado con el LM331, dependiendo la frecuencia de entrada nos genera, un nivel de voltaje linealmente proporcional a la frecuencia (al utilizar bajas frecuencias obtenemos esa aparente linealidad). Los niveles esperados son en el rango de 0-5V, como se indica en la Figura 5.

B. Etapa de procesamiento de datos

En esta etapa está conformada por el microcontrolador PIC16f873. La selección de este microcontrolador fue por sus dimensiones y porque cuenta con los siguientes recursos principales necesarios y suficientes para la realización de este trabajo: CPU de 8 bits, memoria de programa FLASH de 4 KB, memoria RAM de 192 bytes, memoria EEPROM de 128 bytes, convertidor analógico-digital (ADC) de 10 bits y 5 canales, tres puertos paralelo

y tres temporizadores [17].

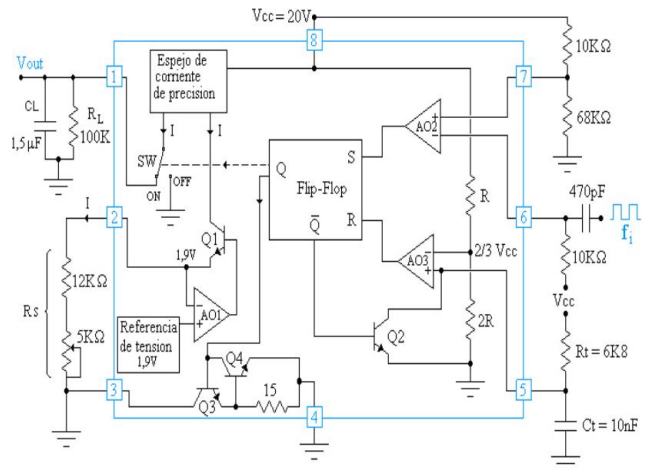


Figura 5. Diagrama de convertidor de frecuencia a voltaje

Aquí se tomaron los datos que nos generó el convertidor de frecuencia a voltaje, para que entren al módulo de conversión analógico/digital dentro del PIC 16F873. Los niveles de entrada en voltaje los muestreamos cada 5ms tomando 20 muestras las cuales se guardan temporalmente en memoria de datos ya digitalizados. Las 20 muestras que se tomaron, se normalizan para tener un resultado más fiel de las mediciones. El siguiente procesamiento es realizar una conversión del dato resultante a una expresión equivalente a las frecuencias que resultara un numero de 16 bits para expresar un número entre 0 y 4000 (donde 0 es 0 Hz y 4000 es 400.0 Hz, esto para abreviar la señal de salida).

La programación del microcontrolador fue realizada de forma tal que se compone de un programa principal y una rutina de atención a una interrupción. El programa principal realiza las siguientes acciones:

- 1.- Establece e inicializa constantes y variables.
- 2.- Configura Puertos A y B como salidas. El bus de datos del LCD (8 líneas) se conectó al Puerto B y el bus de control al Puerto A (5 líneas).
- 3.- Configura LCD.
- 4.- Configura y arranca temporizador 0 para generar una interrupción cada segundo.
- 5.- Configura ADC para usar las entradas analógicas AN0 y AN1, así como el voltaje de referencia y el reloj de conversión.
- 6.- Activa ADC.
- 7.- Espera 20 muestras leídas desde los sensores.

El temporizador 0 genera una interrupción cada 5 ms, la rutina de atención a la interrupción activa la adquisición de la señal analógica de las entradas AN0 y AN1 e inicia la conversión a un valor digital. De esta forma, se toma una muestra del audio cada 5 ms desde la etapa de

adquisición. Los valores de 10 bits entregados por el ADC se almacenan, cada uno de ellos, en un arreglo de 20 elementos en la memoria RAM, incrementando un contador de muestras. El programa principal se encuentra continuamente revisando el contador de muestras. Cuando alcanza el valor de 20 invoca una subrutina de cálculo. Mientras no se alcance el valor de 20, el programa muestra en el LCD un mensaje que indica que está tomando muestras. En la Figura 6 se indica el diagrama de flujo de la programación.

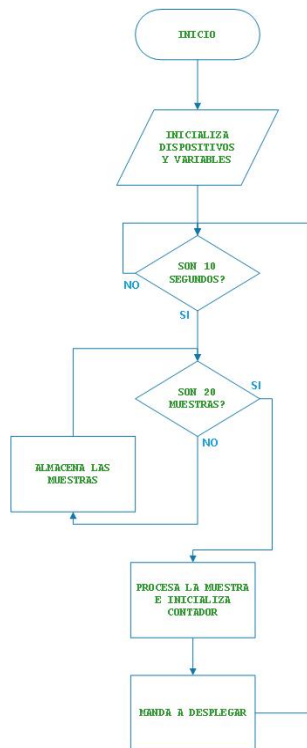


Figura 4. Diagrama de flujo de la programación

Se usan 20 muestras considerando que el 80% de la amplitud de la oscilación de la cuerda dura 1 minuto. La función principal de la rutina de cálculo es obtener el valor de la Los datos de mandaran a la etapa de visualización. Cada secuencia de muestras se realizara cada 10 segundos, para que el usuario tenga el tiempo necesario de realizar el ajuste de las cuerdas en el clavijero, como se indica en el diagrama de la Figura 7.

Las equivalencias de valores digitales a las frecuencias que refiere cada entrada.

C. Etapa de visualización de resultados

El display usado fue un LCD-016M004A [18] de 16x4. Este display se alimenta con una fuente de 5 V y cuenta con un bus de datos de 8 líneas y un bus de control de 3 líneas: R/W, Enable y Register Select.

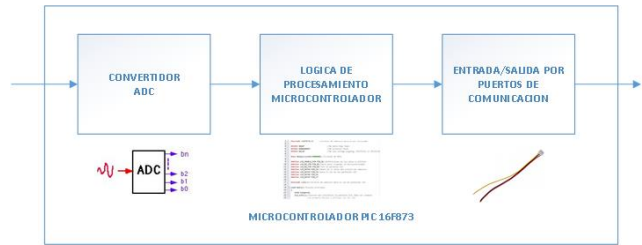


Figura 7. Etapa de procesamiento de datos

Tanto el bus de datos como el de control se conectaron a 11 líneas de salida del microcontrolador. En la Figura 8 se muestra el modulo correspondiente.

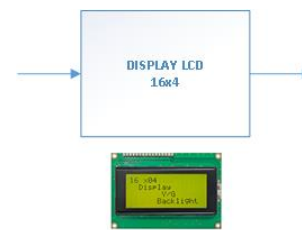


Figura 8. Etapa de visualización de resultados

X. RESULTADOS

Se tomaron varias muestras del sistema realizando comparación entre el prototipo realizado, dispositivo comercial y el valor teórico de tres guitarras previamente afinadas, lo cual se indica en la Figura 9.

NO. CUERDA	PRUEBA	PROTOTIPO	COMERCIAL	TEORICAMENTE
1ra	A	332.6	330.6	329.6
2da	A	241.9	246.9	246.9
3ra	A	190.0	194.0	196.0
4ta	A	147.8	144.8	146.8
5ta	A	105.0	111.0	110.0
6ta	A	80.4	79.4	82.4
1ra	B	343.6	332.6	329.6
2da	B	236.9	244.9	246.9
3ra	B	186.0	195.0	196.0
4ta	B	131.8	147.8	146.8
5ta	B	112.0	111.0	110.0
6ta	B	93.4	84.4	82.4
1ra	C	338.6	331.6	329.6
2da	C	254.9	243.9	246.9
3ra	C	181.0	195.0	196.0
4ta	C	161.8	146.8	146.8
5ta	C	109.0	113.0	110.0
6ta	C	79.4	80.4	82.4

Figura 9. Muestras realizadas a tres guitarras

XI. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El sistema resultante es un prototipo de medianas

dimensiones debido a que es una primera versión. Se realizaron pruebas utilizando tres distintas guitarras, con diferente calidad acústica, y un afinador electrónico comercial para poder realizar comparaciones confiables y precisas el sistema aquí construido. Las medidas fueron ligeramente diferentes entre los dos instrumentos pero aceptables acústicamente. Las diferencias no fueron mayores a +/- 15 Hz. Las medidas fueron diferentes cuando se ubicaba el micrófono en diferentes partes de la guitarra, en algunos casos se saturaba el micrófono por lo que se tuvo que realizar ajustes al amplificador y a la metodología de realización de las medidas. El resultado de este trabajo fue un sistema sencillo, de bajo costo, confiable y fácil de usar, el que se le pueden realizar las siguientes mejoras: 1) aislamiento de ruido al micrófono con algún blindaje, con lo que obtendrían medidas más exactas, 2) construir el circuito impreso del sistema para aislar ruidos inducidos y obtener un dispositivo más compacto, 3) mostrar la onda de la señal muestreada en un display gráfico LCD, de plasma o LED, similar al de dispositivos profesionales y 4) realizar una interfaz inalámbrica para comunicar al sistema con un teléfono móvil inteligente y su correspondiente aplicación para prescindir del display, tener mayor funcionalidad y disminuir el costo.

XII. REFERENCIAS

- [9] 1-Stanojevic, M. S. y Bjelic, M. S. (2011). "Digital guitar tuner", in *Proceedings 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers*, pp. 1574-1577.
- [10] 2-Macrae, R., y Dixon S. (2010). "A guitar tablature score follower", in *Proceedings IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 725-726.
- [11] 3-Yazawa, K., Itoyama, K. y Okuno, H. G. (2014). "Automatic transcription of guitar tablature from audio signals in accordance with player's proficiency", in *Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 3122-3126.
- [12] 4-Trail, S., Tzanetakis, G. y Jenkins, L. (2013). "STARI: A self tuning auto-monochord robotic instrument", in *Proceedings IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM)*, pp. 405-409.
- [13] 5-Rigaud, F., Drémeau, A. y David, B. (2013). "A probabilistic line spectrum model for musical instrument sounds and its application to piano tuning estimation", in *Proceedings IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, pp. 1-4.
- [14] 6-Zhongming, L., Zhuofu, L. y Jia, Z. (2012). "The design of musical instrument tuning system based on stm32f103 microcomputer", in *Proceedings International Conference on Measurement, Information and Control*, pp. 79-82.
- [15] 7-Jaju, V., Sukhpal, A. y Shinde, P. (2016). "Piano playing robot", in *Proceedings International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, pp. 223-226.
- [16] 8-Wang, Z. J., Ortega-Sanchez, C. (2012). "Electronic Assisting Violin Tuner", in *Proceedings TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference*, pp. 1-6.
- [17] 9-Stanek, M. y Smatana, T. (2015). "Comparison of fundamental frequency detection methods and introducing simple self-repairing algorithm for musical applications", in *Proceedings 25th*

- International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*, pp. 217-221.
- [18] 10-Roy, U. K. (2015). "Composing recorded Tabla sound to accompany musicians", in *Proceedings Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pp. 1-6.
- [19] 11-Arunkumar, S., Baalachandar, S. y Dayanidhi, R. (2015). "Microcontroller based Tabla tuning system", in *Proceedings IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 566-568.
- [20] 12- Cho, S. J., Cho, S. B. y Lee, K. H. (2014). "Development of synthesis model for fine tuning and playing style", in *Proceedings 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014)*, pp. 707-711.
- [21] 13-Bozkurt, B. (2012). "A System for Tuning Instruments Using Recorded Music Instead of Theory-Based Frequency Presets", *Computer Music Journal*, vol. 36, Issue: 3, pp. 43-56.
- [22] 14-Verma, P. y Rao, P. (2012). "Real-time Melodic Accompaniment System for Indian Music Using TMS320C6713", in *Proceedings 25th International Conference on VLSI Design*, pp. 119-124.
- [23] 15-Gomez, F. y Stoop, R. (2012). "Tuning the Hopf Cochlea Towards Listening", in *Proceedings Nonlinear Dynamics of Electronic Systems NDES*, pp. 1-4.
- [24] Maxim Instruments (2012) MAX4465 Data Sheet. <http://www.mouser.com/ds/2/256/MAX4465-MAX4469-2764.pdf>.
- [25] Microchip Technology Inc. (2015) PIC16F87XA Data Sheet. <http://www.microchip.com>.
- [26] Vishay Intertechnology. (2015) LCD-016M004A Data Sheet. <http://www.vishay.com/docs/37222/016m004a.pdf>.

XIII. BIOGRAFÍA



Vega-Luna José Ignacio. Estado de México, 1962. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990.

Él labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Lagos-Acosta Mario Alberto. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y redes de computadoras.

Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras y seguridad informática.



Salgado-Guzmán Gerardo. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos.

Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Tapia-Vargas Víctor Noé. CD. de México, 1949. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1988.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de

trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Tapia realiza investigación con sistemas robóticos.



Sánchez-Rangel Francisco Rangel. Cd. de México, 1968. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y lenguajes de descripción de hardware.

M. en C. Sánchez realiza investigación con redes de computadoras y sistemas embebidos.



Cosme-Aceves José Francisco. Atlixco, Puebla, México, 1958. Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985.

Él labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware.

Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.