

Prototipo de monitoreo de signos vitales pulso cardiaco y temperatura corporal mediante IoT.

Trabajo Terminal No.

*Alumnos: *Godínez Cortés Isaac, Lagunes Marin Nelson Alberto, Noroña Cabeza Karla Patricia*

Directores: Maldonado Castillo Idalia, Hernández Tovar Rubén

**e-mail: igodinezc1400@alumno.ipn.mx*

Resumen – Los signos vitales son parámetros que muestran el estado fisiológico de una persona, en este protocolo de trabajo terminal se propone hacer un prototipo de monitoreo de los signos vitales de pulso cardiaco y temperatura corporal utilizando sensores para la medición de los datos, una unidad de procesamiento, un módulo de comunicación y una aplicación web. El usuario podrá observar el estado de dichos signos vitales mediante la aplicación web para el monitoreo del paciente.

Palabras clave - Academia de sistemas digitales¹, signos vitales, IoT, Sistema embebido.

1. Introducción

Los signos vitales son la forma en la que nuestro cuerpo ofrece indicaciones de nuestro estado fisiológico. Estos son instrumentos para que el personal de salud pueda realizar diagnósticos, sin embargo, la facilidad de monitoreo puede ser de gran utilidad para fines deportivos o de salud.

Los principales signos vitales empleados para el monitoreo del estado de salud de un individuo son: temperatura corporal, pulso cardiaco, frecuencia de respiración y presión sanguínea (este último no es considerado un signo vital, sin embargo, es ampliamente utilizado en los diagnósticos médicos) [1].

El corazón es un órgano muscular encargado de bombear sangre a través de los vasos sanguíneos del cuerpo, distribuyéndola por todo el cuerpo y alimentando con oxígeno las células que componen los tejidos, pudiendo provocar consecuencias fatales en caso de presentar anomalías en su funcionamiento [2]. El correcto diagnóstico de una enfermedad cardíaca depende de un conjunto de pruebas, la historia clínica y los antecedentes familiares de un paciente para determinar si se es propenso, así como para detectar y determinar el tratamiento.

El ritmo cardíaco se refiere al número de latidos del corazón por la unidad del tiempo, expresado generalmente como PPM o pulsos por minuto. Los trastornos o enfermedades con influencia cardíaca se deben a las alteraciones en los latidos del corazón respecto del tiempo, provocando que estas sean muy rápidas o en contra parte que vayan más lento.

Los trastornos del ritmo cardiaco más importantes son: taquicardia, bradicardia, arritmias supraventriculares, arritmias ventriculares y bradiarritmias. El monitoreo y medición de los latidos cardíacos contribuye al diagnóstico de enfermedades cardiacas, para ello es necesario tomar el pulso de la persona en alguno de los siguientes puntos: sien, cuello, parte interna del brazo, muñeca, parte interna del pliegue del codo, ingle, dorso del pie y en el seno izquierdo para el caso de los bebés [2].

La temperatura corporal es el grado de calor resultante del equilibrio entre el calor que genera y el calor que pierde el organismo, el primero también es conocido como termogénesis, mientras que el segundo se denomina termólisis. La temperatura corporal normal con base en las cifras de la Asociación Médica Americana fluctúa entre los 36,5° C y 37,2°C [3].

¹ Academia de sistemas digitales no es una palabra clave, sin embargo, se coloca aquí para especificar la academia a la cual pertenece este protocolo.

La termorregulación es un proceso intrínseco al cuerpo encargado de activar los mecanismos que permiten mantener un equilibrio entre sus sistemas y por consiguiente sus funciones vitales [4]. El centro termorregulador se ubica en el hipotálamo, que a su vez funciona mediante un sistema de retroalimentación que aumenta o disminuye la temperatura ante determinados factores.

En ocasiones el control central de la temperatura sufre alteraciones relacionadas con condiciones como la hipotermia que es una disminución anormal en la temperatura del cuerpo, la hipertermia que consiste en un trastorno respecto a la regulación de la temperatura y la fiebre que es una elevación de la temperatura central causada por el termorregulador en el hipotálamo. La temperatura corporal se puede tomar en las siguientes áreas: bucal, axilar, ótica, inguinal y rectal.

Durante los primeros seis meses del 2021 en México, la primera causa de muerte a nivel nacional según los registros del INEGI fue la COVID-19, mientras que las siguientes enfermedades con mayor índice de defunción estuvieron relacionadas con el corazón y diabetes mellitus con 113, 899 y 74, 418 casos respectivamente. Considerando nuevamente este periodo de tiempo, las defunciones por enfermedades del corazón desglosadas por sexo se contabilizaron como 62,617 en Hombres y 51,276 en Mujeres [5].

1.1 Estado del arte

En [6], Chan y otros investigadores proponen el desarrollo de un sistema de información y recopilación de datos de los signos vitales de pacientes clínicos en un hospital, el sistema comprende un servidor conectado a una base de datos donde se almacenan los datos de cada paciente, una tablet la cual tiene la aplicación móvil desarrollada, dispositivos inalámbricos los cuales toman los datos de los signos vitales como un monitor de presión arterial, un termómetro infrarrojo y finalmente un lector de códigos de barras, el cual lee el código de barra asignado a cada paciente y que sirve para traer los datos históricos de las mediciones de estos signos vitales del paciente además de agregar nuevos datos, como resultados obtenidos en la prueba piloto fue una reducción de 12 segundos en el tiempo de medición de los signos vitales en cada paciente comparado con el método tradicional usado, además del tiempo que toma de transcripción de los datos y graficación de estos datos comparados con el método tradicional.

En [7], Minglei Shu y otros miembros del Shandong Provincial Key Laboratory of Computer, desarrollaron e implementaron un sistema basado en IoT que monitorea diariamente, las 24 horas del día y en tiempo real el pulso cardíaco y el ritmo respiratorio para la detección y atención temprana de enfermedades, así como registrar un historial del usuario. Este se compone de un dispositivo de monitoreo de signos vitales que a su vez incluye módulos encargados de recolectar las mediciones de signos vitales, un microcontrolador y un módulo de comunicación. La información obtenida de los sensores es procesada por el microcontrolador y posteriormente enviada de forma inalámbrica a un servidor en la nube, en este se filtra la información de interés, se producen alarmas si los datos están fuera de los rangos normales, se generan gráficas con los datos de los signos vitales y se crea un historial. Finalmente, los trabajadores de la salud pueden verificar la información de los signos vitales del paciente mediante una aplicación móvil e informar si se observa alguna anomalía.

En [8], Bernabé Aparicio y Granados Puerto plantearon el desarrollo de un prototipo de un sistema embebido que permite el monitoreo remoto de la frecuencia cardíaca y temperatura corporal de una persona, haciendo uso de un sensor de pulso cardíaco y un sensor de temperatura corporal, las señales obtenidas por estos sensores son procesadas por su microcontrolador y enviadas por el módulo de comunicación a la aplicación móvil la cual guarda y muestra estos datos, como resultados obtenidos se tiene un promedio de 12.65 seg en el cálculo de la frecuencia cardíaca, 12.7 seg en la obtención de la temperatura, 19.2 seg en la inicialización del módulo de comunicación, 25.6 seg en el envío del mensaje de texto y un mínimo 27 seg en la recepción del mensaje de texto.

En [9], Chunga Luis y Roa Larry diseñaron e implementaron un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales; temperatura corporal, pulso cardíaco y la saturación de oxígeno. El prototipo obtiene los valores de los signos vitales con un sensor LM35 para la temperatura, un Pulse Sensor Amped en el caso de la oxigenación y el pulso

cardiaco, placas Raspberry Pi y Arduino Nano para procesar y enviar los datos de dos maneras, la primera envía los datos del pulso cardiaco a un monitor por HDMI y la segunda los hace llegar a una aplicación móvil para dispositivos Android mediante un módulo Bluetooth.

En [10] Rajkumar y otros investigadores realizaron un sistema de monitoreo de signos vitales de un paciente como lo son la temperatura y la frecuencia cardíaca utilizando sensores y un Fitbit conectado a una raspberry pi, el sistema alerta al médico mediante un SMS si alguno de estos signos vitales tiene valores anormales, además de ayudar al médico a monitorear los signos vitales del paciente, el sistema notifica en el momento al paciente de cuando debe tomar su medicación prescrita, el artículo menciona que se realizaron el registro de temperaturas de diferentes pacientes para comprobar el funcionamiento del sistema enviando un SMS al médico en caso de que un paciente tuviera una temperatura corporal superior a los 37.5 °C o cuando el número de latidos del corazón por minuto excediera el umbral de 80.

| Nombre | Signo vital | Tecnología | Módulo de comunicación | Software de aplicación |
|--|--|------------------------------|---|--|
| Using Wireless Measuring Devices and Tablet PC to Improve the Efficiency of Vital Signs Data Collection in Hospital [6]. | Temperatura corporal. Pulso cardiaco. Presión arterial. | Tablet PC TF101 (ASUS) | Bluetooth Wifi | Aplicación móvil para Android. |
| The vital signs real-time monitoring system based on Internet of things [7]. | Pulso cardiaco. Ritmo respiratorio. | Microcontrolador | Wifi 3G 4G | Aplicación móvil. |
| Sistema de Monitoreo de Signos Vitales Utilizando IoT. [8] | Pulso cardiaco. Temperatura corporal. | PIC30F4014 | 4G LTE-AT&T CLICK con el chip LARA-R202 de ublox | Aplicación móvil para Android. |
| Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles [9]. | Pulso cardiaco. Temperatura corporal. Saturación de oxígeno. | Arduino Nano Raspberry Pi | Bluetooth | Aplicación móvil para Android. Monitor. |
| Health Monitoring System using Raspberry PI [10] | Temperatura. Pulso cardiaco. | Raspberry Pi 3 | Wifi. Bluetooth. | Aplicación Web Comunicación SMS |

Tabla 1. Resumen de productos similares.

Fuente: Obtención propia.

2. Objetivo

Desarrollar e implementar un prototipo de un sistema embebido que permita el monitoreo de dos signos vitales, la frecuencia cardíaca y temperatura corporal, dichas señales serán enviadas a través de un módulo de comunicación que nos permita transmitir los datos a una aplicación web.

2.1 Objetivos específicos

- Configurar un sensor de pulso cardiaco para la medición del número de pulsaciones por minuto usando un dispositivo SoC.
- Configurar un sensor de temperatura corporal para la medición de la temperatura usando un dispositivo SoC.
- Implementar un sistema embebido para el monitoreo de los sensores mediante un módulo de comunicación.
- Desarrollar una aplicación web para la recepción de los datos de la temperatura y pulso cardiaco.

3. Justificación

Una de las principales causas de muerte en México en 2021, acorde con el INEGI, fueron enfermedades que causan incidentes cardio vasculares. La importancia del constante monitoreo de los signos vitales, desde la canalización de un paciente con metodologías como TRIAGE, hasta usos deportivos o de prevención, son clave para el conocimiento del estado fisiológico de una persona en un momento determinado [11].

Los dispositivos que miden algunos de estos signos vitales han ido en aumento, algunos ejemplos son los incluidos en WOW (World of Warables) que se compone de poblaciones como: personal de primera respuesta, adultos mayores, jugadores de videojuegos, escaladores de montaña, corredores de carreras, entre otros. La pandemia ocasionada por el SARS-COV-2 del año 2020 ha sido un hito en la consciencia del monitoreo de estos [12].

Por otra parte, en 2016 la OMS indicó que la cantidad requerida de trabajadores de la salud es de 4.45 por cada 1000 habitantes [13]. Mientras que la OCDE señaló una necesidad promedio de 3.5 médicos por cada 1000 habitantes, al mes de octubre de 2021 el INEGI reportó que México cuenta con 2.4 por cada 1000 habitantes [14].

Con base en los datos anteriores, es posible observar que México se encuentra casi en un 50% por debajo de las recomendaciones de la OMS y en menor cantidad según los índices establecidos por la OCDE. Por lo tanto, cobra importancia la implementación del presente prototipo como una herramienta que facilite la atención a los pacientes considerando la escasez de personal de la salud, además de que fomente la prevención en materia de salud por parte de los usuarios no especializado.

4. Productos o Resultados esperados

La presente propuesta abarca un dispositivo compuesto por dos sensores para el monitoreo de la temperatura corporal y el pulso cardiaco, estos datos se enviarán a la aplicación web para su consulta, tal como se muestra en la figura 1.

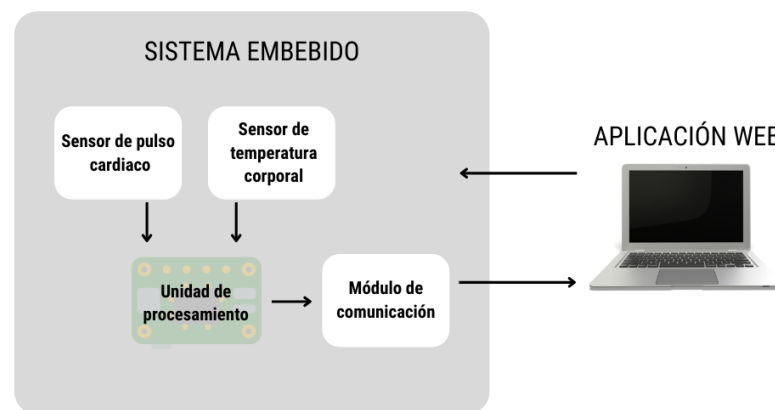


Figura 1. Arquitectura del prototipo de un sistema embebido para el monitoreo de signos vitales.

Sensor pulso cardiaco: En el módulo del sensor pulso cardiaco, se utilizará un sensor pulso cardiaco para medir las pulsaciones por minuto del usuario.

Sensor de temperatura corporal: En el módulo del sensor de temperatura corporal, se utilizará un sensor de temperatura corporal para medir la temperatura del usuario.

Módulo de comunicación: El módulo de comunicación será el encargado de enviar la información procesada por la unidad de procesamiento para su consulta mediante la aplicación web.

Unidad de procesamiento: La unidad de procesamiento será la encargada procesar e interpretar las señales obtenidas de los sensores, posteriormente codificará los resultados para ser enviados por medio del módulo de comunicación.

Aplicación web: La aplicación web será la encargada de mostrar al usuario los datos obtenidos mediante el sistema embebido y enviados por el módulo de comunicación.

Productos esperados:

- Sistema embebido para el monitoreo del pulso cardiaco y la temperatura corporal.
- Aplicación web para la consulta de los datos obtenidos del monitoreo del pulso cardiaco y la temperatura corporal.
- Documentación del sistema.

La selección de componentes para la realización de este trabajo terminal se realiza durante la etapa de análisis y diseño que se lleva a cabo durante Trabajo Terminal 1. Por lo que la evaluación de costo por prototipo se determina en esta unidad de aprendizaje.

5. Metodología

Para la implementación de este prototipo se tomó en cuenta una adaptación del modelo en V para el desarrollo de sistemas embebidos, la cual consta de 7 etapas, en las cuales se parte de un análisis y diseño, siguiendo una implementación y por último una depuración e integración final [15]. Las etapas que tiene este modelo se muestran en la Figura 1.

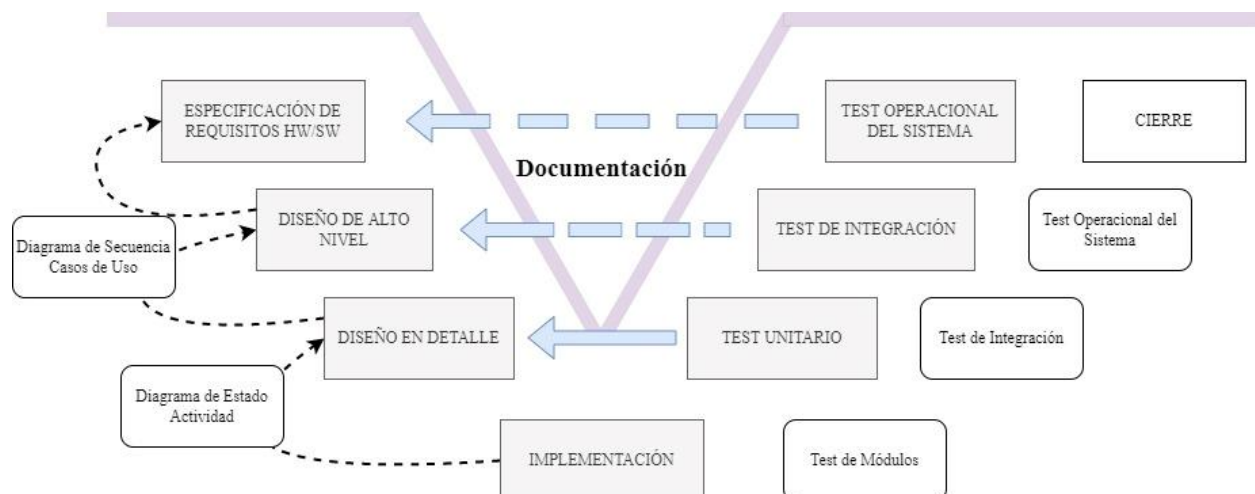


Figura 2. Modelo en V

Partiendo de la especificación de requisitos, se pretende definir y documentar los diferentes requerimientos del sistema a implementar siguiendo un diseño global el cual tiene como objetivo obtener una visión general del sistema. El diseño

en detalle consiste en detallar cada bloque de la fase anterior, aquí se pretende especificar el diseño del sistema embebido, el receptor y la aplicación móvil, seguida de la implementación de cada uno de estos. La prueba unitaria verifica cada módulo de HW y SW de manera individual, en donde se depurará cada uno de los módulos hasta obtener el resultado deseado. La fase de integración acopla los diferentes módulos del sistema siguiendo la prueba operacional, en donde se realizan las últimas pruebas sobre un escenario real.

6. Cronograma

Cronograma no.1 Configuración de los sensores.

Alumno: Lagunes Marin Nelson Alberto.

| Actividad | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Investigación de sensores y algoritmos de control | | | | | | | | | | | |
| Diseño de alto nivel de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Diseño detallado de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Presentación TT-I | | | | | | | | | | | |
| Implementación de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Pruebas unitarias de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Pruebas integración de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Pruebas operacionales de sensores y algoritmo de control | | | | | | | | | | | |
| Presentación de TT-II | | | | | | | | | | | |
| Documentación | | | | | | | | | | | |

Cronograma no.2 Módulo de comunicación y sistema embebido.

Alumno: Noroña Cabeza Karla Patricia.

| Actividad | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Investigación de módulos de comunicación y sistemas embebidos | | | | | | | | | | | |
| Diseño de alto nivel del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |
| Diseño detallado del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |
| Presentación TT-I | | | | | | | | | | | |
| Implementación del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |
| Pruebas unitarias del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |
| Pruebas de integración del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |
| Pruebas operacionales del módulo de comunicación y el sistema embebido | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Presentación de TT-II | | | | | | | | | | | |
| Documentación | | | | | | | | | | | |

Cronograma no.3 Aplicación web.

Alumno: Godínez Cortés Isaac.

| Actividad | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Investigación sobre el desarrollo de aplicaciones web | | | | | | | | | | | |
| Diseño de alto nivel de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Diseño detallado de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Presentación TT-I | | | | | | | | | | | |
| Implementación de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Pruebas unitarias de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Pruebas de integración de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Pruebas operacionales de la aplicación web | | | | | | | | | | | |
| Presentación de TT-II | | | | | | | | | | | |
| Documentación | | | | | | | | | | | |

7. Referencias

- [1] «Vital Signs (Body Temperature, Pulse Rate, Respiration Rate, Blood Pressure),» [En línea]. Available: <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/vital-signs-body-temperature-pulse-rate-respiration-rate-blood-pressure>. [Último acceso: Abril 2022].
- [2] P. S. Esmeraldas, La simulación en Ingeniería. Trascendiendo fronteras, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, 2018, p. 57.
- [3] C. B. Clayman, S. Vaughn y J. Donnaud, The American Medical Association Encyclopedia of Medicine, 1989.
- [4] J. E. Orozco Chinome, Y. A. Picón Jaimes, J. Molina Franky y M. P. Franky Rojas, «Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia.,» *Revista de la facultad de ciencias de la salud.*, vol. 23, 2020.
- [5] INEGI, *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 24/22*, 2021.
- [6] Y.-S. Chan, H.-J. Liang y Y.-H. Lin, «Using wireless measuring devices and Tablet PC to improve the efficiency of vital signs data collection in hospital,» *2014 IEEE International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics*, pp. 1-4, 2014.
- [7] M. T. M. Y. a. N. W. M. Shu, «The Vital Signs Real-Time Monitoring System Based on Internet of Things,» *IEEE*, vol. 4 International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), pp. 747-751, 2017.

- [8] M. E. Bernabé Aparicio y C. A. Granados Puerto, Artists, *Sistema de Monitoreo de Signos Vitales Utilizando IoT*. [Art]. Instituto Politécnico Nacional, 2019.
- [9] L. y. R. L. Chunga, Artist, (*Tesis de licenciatura*) *Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles*. [Art]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- [10] S. Rajkumar, M. Srikanth y N. Ramasubramanian, «Health monitoring system using Raspberry PI,» de *International Conference on Big Data, IoT and Data Science (BID)*, Pune, 2017.
- [11] D. L. S. H. L. F. E. J. L. K. A. H. Richelle J. Cooper, «Effect of vital signs on triage decisions,» *Annals of Emergency Medicine An International Journal* , 2002.
- [12] E. Sazonov, *Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*, Academic Press, 2020.
- [13] World Health Organization, *Health workforce requirements for universal health coverage and the Sustainable Development Goals.*, 2016.
- [14] INEGI, *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 580/21*, 2021.
- [15] A. Pérez, O. Berreteaga, A. Ruiz de Olano, A. Urkidi y J. Pérez, «Una Metodología para el Desarrollo de Hardware y Software Embebidos en Sistemas Críticos de Seguridad,» *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, vol. 3, nº 2, pp. 70-75, 2006.

8. Alumnos y Directores

Isaac Godínez Cortes.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta:2015080490, Tel. 5543841551, email igodinezc1400@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Karla Patricia Noroña Cabeza.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta:2015130958, Tel. 5588068594, email knoronac1400@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Nelson Alberto Lagunes Marin.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2017301371, Tel. 2292448674, email nlagunesm1601@alumno.ipn.mx

Firma: _____

M. en C. Maldonado Castillo Idalia.- Profesora de la ESCOM, egresada de la Ing. En Sistemas Computacionales de la Escuela Superior de Cómputo del IPN, Maestría en Ciencias de la Computación en la University of Saskatchewan, Canadá. Áreas de interés: Sistemas de Información, Clasificación y Procesamiento de Imágenes e Ingeniería de Software, agilidad y calidad de software, email idalia.maldonadoc@gmail.com

Firma: _____

Rubén Hernández Tovar.- Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en la ESIME-IPN, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, especialidad en Ingeniería Eléctrica, opción Comunicaciones en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección Comunicaciones de 1993 a 1995, email rhtovar@ipn.mx

Firma: _____

CARÁCTER: Confidencial
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.