

# Sistema embebido para el monitoreo remoto de la saturación de oxígeno en la sangre usando IoT.

**Trabajo Terminal No. \_\_\_\_-\_\_\_\_**

*Alumnos: \*Juarez Flores Alexis Yael, Quiroz Ventura Miguel Ibrahim*

*Directores: Rubén González Ortega, Rubén Hernández Tovar*

*e-mail: ajuarezf1401@alumno.ipn.mx \*Alexis, ttfrecuenciar@gmail.com \*Secundario*

**Resumen** - El siguiente proyecto propone el desarrollo de un sistema embebido para el monitoreo de saturación de oxígeno en la sangre de personas vulnerables ante enfermedades respiratorias o que padezcan de estas de forma crónica. La elaboración del sistema embebido se conforma por 3 módulos, donde el primero es un sensor para la adquisición de datos, el segundo es el responsable del procesamiento y transmisión de datos implementando internet de las cosas (IoT), el tercer módulo es la aplicación móvil que se encarga de recibir los datos, el usuario recibirá alertas por alguna actividad riesgosa registrada en su monitoreo. Este sistema se plantea como una herramienta auxiliar para el personal médico.

**Palabras Clave** - Aplicación móvil, saturación de oxígeno, sistema embebido, IoT.

## 1. Introducción

El sistema de salud público en México presenta diferentes problemas que lo posicionan como poco eficiente ante los ojos de diversos organismos como la OMS o la OCDE. Uno de los factores que más contribuye a esto es la falta de la infraestructura necesaria en los hospitales para brindar atención a todo aquel que lo requiera. Instituciones públicas como el ISSSTE y el IMSS tienen en conjunto menos del 25% de todas las unidades hospitalarias y atienden a cerca de 100 millones de personas, por lo que es común ver una falta de equipo necesario para brindar el servicio [1].

Los signos vitales son indicadores que reflejan las funciones esenciales de un cuerpo, estos deben de ser tomados por los médicos como referencia para evaluar el estado de un paciente, cambian conforme a la edad, peso, sexo y capacidad para ejercitarse, los rangos normales para un adulto sano que se encuentra en reposo son:

- Presión arterial: 90/60 mm Hg hasta 120/80 mm Hg
- Respiración: 12 a 18 respiraciones por minuto (95 - 100% de Saturación de Oxígeno)
- Pulso: 60 a 100 latidos por minuto
- Temperatura: 97.8°F a 99.1°F (36.5°C a 37.3°C); promedio de 98.6°F (37°C) [2]

Hemos detectado que el monitoreo de los niveles de oxígeno en la sangre indica la eficiencia con la que es transportado el oxígeno de los pulmones a los tejidos que lo requieran, siendo de suma importancia este diagnóstico para la toma de decisiones a la hora de atender este tipo de enfermedades respiratorias debido a los síntomas que estas suelen presentar. Estos síntomas comúnmente son: tos, dolor de cabeza, nariz tapada, irritabilidad y ronquera. Dentro de las enfermedades respiratorias podemos encontrar algunas de las más comunes y contagiosas que se conocen, tales como el resfriado común, influenza, faringitis o neumonía, esto debido a los propios medios de transmisión de estas, los cuales suelen ser virus, bacterias o parásitos que se transmiten de persona a persona por contacto directo o con los fluidos de alguien ya infectado. A la vez existen enfermedades respiratorias crónicas como asma o alergias respiratorias, las cuales son padecidas por más de 230 millones de personas [3].

La propuesta de proyecto consiste en el desarrollo de un sistema embebido no invasivo, es decir, que no requerirá tomar muestras directamente del paciente, pero que con la implementación de un sensor pueda registrar de manera sistemática la saturación de oxígeno del usuario. Para el monitoreo de esta, el dispositivo se conectará con uno o varios dispositivos móviles los cuales permitirán observar los resultados obtenidos mediante una aplicación móvil. La aplicación realizará un análisis de los datos recopilados del paciente para detectar cambios fuera de los rangos establecidos como recomendados o seguros para la saturación de oxígeno en la sangre, y enviará mensajes de advertencia a los usuarios de la aplicación en los casos que no se cumplan estos.

En el estado del arte podemos encontrar el desarrollo de sistemas para la medición de signos vitales en especial de saturación de oxígeno. En 2015 Mohamed y Khalifa [4], de la Universidad Islámica Internacional de Malasia en su artículo “Health Monitoring System using Pulse Oximeter with Remote Alert” presentan un sistema para el monitoreo en tiempo real de diversos signos vitales de un paciente de forma remota. Implementan una técnica denominada Fotoplethysmografía, el sistema solo envía un SMS a un dispositivo móvil.

En 2018 Murali, Rai y Ananda [5], del Instituto de Tecnología de PES en su artículo “Pulse Oximetry and IOT based Cardiac Monitoring Integrated Alert System” presentan un sistema integrado y IoT para la medición continua y no invasiva de los niveles de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca utilizando una tecnología conocida como pulsioximetría. Con esta tecnología se obtiene la frecuencia cardíaca, posteriormente se digitaliza, se almacena y se carga a la nube.

Otro ejemplo de este sistema implementado es el trabajo realizado en la Escuela Superior de Cómputo. En 2015 Chavez Miguel y Torres Luis [6], en su trabajo terminal presentan un “Sistema para monitoreo remoto de signos vitales”, ellos implementan un sistema para la recolección de muestras, los signos que registran son presión arterial, pulso cardíaco y temperatura corporal esto se envía a una aplicación de escritorio mediante internet y protocolos.

A continuación, se muestra una tabla de las características que presentan los trabajos presentados incluyendo el nuestro:

Sistema	Signo Vital	Tecnología Implementada	Tipo de Comunicación	Despliegue de datos
Health Monitoring System using Pulse Oximeter with Remote Alert	<b>Saturación de Oxígeno</b>	Implementan un diseño propio de un circuito de oxímetro, procesan los datos mediante un Arduino Mega y un módulo GSM	<b>GSM (Red 2G)</b>	<b>Mensaje SMS</b>
Pulse Oximetry and IOT based Cardiac Monitoring Integrated Alert System	<b>Saturación de Oxígeno Frecuencia cardíaca</b>	Implementan un microcontrolador ATmega32 como unidad de procesamiento, un fotodiodo.	<b>GSM (Red 2G)</b>	<b>Asistente de Google para generación de Alertas.</b>
Sistema embebido para monitoreo remoto de signos vitales	<b>Frecuencia cardíaca Presión arterial Temperatura corporal</b>	Implementan un dsPIC30F3013, Módulo Ethernet, sensor de pulso cardíaco y sensor de presión arterial, sensor de temperatura.	<b>Internet (Cable Ethernet)</b>	<b>Aplicación de Escritorio</b>
Sistema embebido para el monitoreo remoto de la saturación de oxígeno en la sangre usando IoT.	<b>Saturación de Oxígeno</b>	Sistema en chip basado en linux.	<b>Red 4G</b>	<b>Aplicación Móvil</b>

## 2. Objetivo

Implementar un prototipo de sistema embebido usando un sistema en chip basado en Linux, que permita monitorear la saturación de oxígeno en la sangre del usuario para que posteriormente se envíen los datos a una aplicación móvil que permita la visualización de información obtenida de la saturación de oxígeno y finalmente pueda enviar alertas en caso de detectar cambios de niveles de saturación fuera de los establecidos como seguros.

Objetivos Específicos:

- Configurar un sensor para medir la saturación de oxígeno en sangre usando la interfaz de comunicación que se proporcione.
- Diseñar un sistema embebido para la adquisición de datos proporcionados por el sensor, implementado en un SoC.
- Configurar un módulo de comunicación para la transmisión de los datos a la aplicación móvil, usando un módulo IoT.
- Desarrollar una aplicación móvil para el despliegue de los datos obtenidos, en dispositivos android.

## 3. Justificación

La necesidad del monitoreo de la saturación de oxígeno de las personas se ha visto aumentada en épocas recientes a causa del COVID-19, una enfermedad infecciosa causada por un virus. Esto provoca síntomas como fiebre, tos seca, dolor de cabeza y garganta y la mayoría de las personas contagiadas presentan. En este contexto, 1 de cada 5 personas que la contraen terminan presentando un cuadro grave y dificultades para respirar [7]. En México se han confirmado cerca de 2 millones de casos acumulados y más de 160 mil defunciones a causa de esta enfermedad, con aproximadamente el 77% de los casos activos en estado ambulatorio, es decir, se encuentran resguardados en casa [8]. El daño provocado a los pulmones por la inflamación o neumonía causadas por enfermedades respiratorias como el COVID-19 o enfermedades crónicas como el asma, puede afectar la transferencia del oxígeno a través del torrente sanguíneo; este daño se puede ver reflejado desde etapas tempranas de la enfermedad y desafortunadamente ser indetectable para una persona en una primera instancia [9].

Derivado de la situación actual el uso del oxímetro se ha incrementado, siendo este un instrumento clínico que permite medir la saturación de oxígeno en la sangre al utiliza la refracción de la luz infrarroja para medir que tan bien se combina el oxígeno con los glóbulos rojos de la sangre. Este instrumento ha mostrado ser de gran utilidad al fungir como indicador de riesgo ante posibles problemas respiratorios.

El propósito de este sistema es auxiliar en el monitoreo de la saturación de oxígeno en la sangre, a partir de la medición de los niveles de oxígeno en tiempo real de una persona, pudiéndose obtener el registro de diversas mediciones, las cuales pueden ser presentadas por medio de gráficas; que finalmente pueden ser utilizadas por diferentes usuarios para tener información precisa de niveles de saturación de oxígeno.

Con el desarrollo de este trabajo se pondrán en práctica muchas áreas de formación adquiridas en la carrera, tales como sistemas embebidos, instrumentación, sistemas operativos, ingeniería de software, aplicaciones móviles, entre otras.

## 4. Productos esperados

En la Figura 1. Se muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto, el cual está conformado básicamente por 3 módulos o bloques.

1. Bloque de adquisición de datos: El bloque está formado por un sensor que permitirá medir la saturación de oxígeno en la sangre, los datos adquiridos se enviarán al módulo de procesamiento y comunicación.
2. Bloque de procesamiento y comunicación: Este módulo recibirá los datos del sensor, los procesa y los enviará empleando un módulo IoT hacia la aplicación móvil.
3. Bloque de Aplicación Móvil: Este bloque es el encargado del despliegue de los datos adquiridos por el sensor.



Figura 1. Diagrama a bloques.

Los productos esperados del trabajo terminal son:

1. Sistema embebido integrado por:
  - Módulo de adquisición de datos formado por el sensor.
  - Módulo de procesamiento y comunicación formado por el sistema en chip y el módulo IoT.
2. Aplicación Móvil.
3. Reporte técnico y manual de usuario.

## 5. Metodología

La metodología implementada para el desarrollo del proyecto es una adaptación del modelo en V usado en el desarrollo de sistemas embebidos, esta metodología consta de 7 capas, partiendo de un análisis y diseño para cada componente que integrará el sistema, posteriormente se realiza la implementación de cada parte del sistema, se realizan las pruebas de los componentes y por último se realiza la integración de todo el sistema, así como las pruebas del sistema operando. Las etapas que componen la metodología se muestran en la Figura 2.

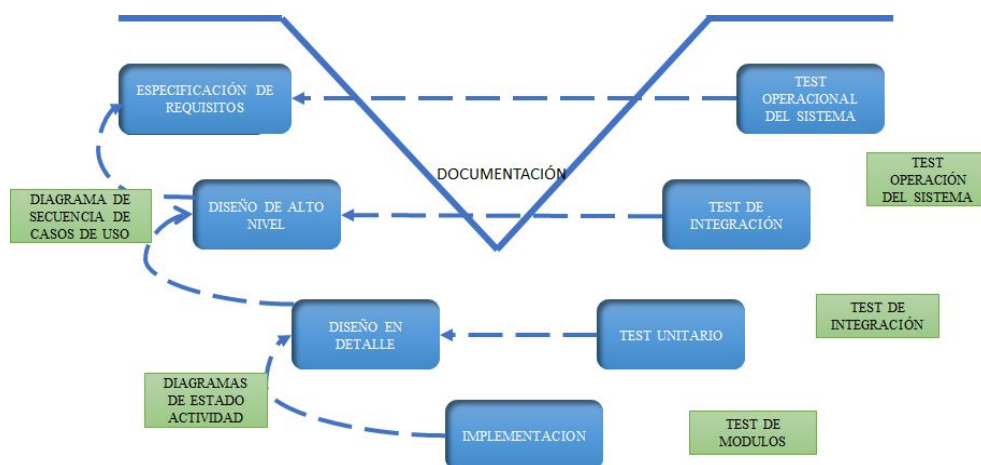


Figura 2. Modelo en V

Partiendo de la especificación de requisitos, se pretende definir y documentar los requerimientos del sistema, siguiendo un diseño de alto nivel, el cual tiene como objetivo obtener un diseño y visión general del sistema. En el diseño se describe cada bloque del sistema definido por la fase anterior. Particularmente, en esta fase se pretende hacer el diseño del sistema embebido, de los módulos de comunicación, así como de la aplicación

## 6. Cronograma

TT No.:

[illegible]

TT No.:

Actividad	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Análisis y diseño del programa para el sistema en chip.										
Análisis y diseño para la aplicación móvil.										
Análisis y diseño de la trama de comunicación.										
Evaluación TTI										

Implementación y test del programa para el sistema en chip.										
Implementación y test del programa la trama de comunicación.										
Implementación y test de la aplicación móvil.										
Integración y test del sistema										
Generación del reporte técnico										
Evaluación										TTII

## 7. Referencias

- [1] A. Garcia, "Los retos para mejorar el sistema de salud pública en México", *el economista*, 2019. [Online]. Available: <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Los-retos-para-mejorar-el-sistema-de-salud-publica-en-Mexico-2019-0105-0001.html>. [Accessed: 17- Oct- 2020].
- [2] Medline, "Signos vitales", *Medlineplus.gov*, 2020. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002341.htm#:~:text=Los%20signos%20vitales%20reflejan%20funciones,su%20nivel%20de%20funcionamiento%20f%C3%ADsico>. [Accessed: 27- Oct- 2020].
- [3] OMS, "Acerca de las enfermedades respiratorias crónicas", *Who.int*, 2020. [Online]. Available: [https://www.who.int/respiratory/about\\_topic/es/](https://www.who.int/respiratory/about_topic/es/). [Accessed: 27- Oct- 2020].
- [4] M. Mahgoub and O. Khalifa, "Health Monitoring System using Pulse Oximeter with Remote Alert", International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering, 2015.
- [5] D. Murali, D. Rao and S. Rao, "Pulse Oximetry and IOT based Cardiac Monitoring Integrated Alert System", International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, 2018.
- [6] M. Chavez, D. Martínez and L. Torres, "Sistema embebido para monitoreo remoto de signos vitales", Ingeniería, Escuela Superior de Cómputo, 2015.
- [7] OMS, "Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)", *Who.int*, 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses#:~:text=La%20COVID%20E2%80%9119%20es%20la,China>. [Accessed: 25- Oct- 2020].
- [8] CONACYT, "COVID-19 Tablero México", *conacyt.mx*, 2020. [Online]. Available: <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>. [Accessed: 25- Oct- 2020].
- [9] K. McCallum, "Can an Oximeter Help Detect COVID-19 at Home?", *Houstonmethodist.org*, 2020. [Online]. Available: <https://www.houstonmethodist.org/blog/articles/2020/aug/can-an-oximeter-help-detect-covid-19-at-home/>. [Accessed: 25- Oct- 2020].

[10] Pérez, A; et al. “Una metodología para el desarrollo de hardware y software embebidos en sistemas críticos de seguridad”. Systemics, Cybernetics and Informatics Journal, vol 3, Num. 2, 2006, pp. 70-75.

## **8. Alumnos y Directores**

*Juarez Florez Alexis Yael* .- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM. Especialidad Sistemas, Boleta: 2015090357, Tel. 5531156942 , email [ajuarezf1401@alumno.ipn.mx](mailto:ajuarezf1401@alumno.ipn.mx) .

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.

Firma: \_\_\_\_\_

*Quiroz Ventura Miguel Ibrahim*.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM. Especialidad Sistemas, Boleta: 2015090587, Tel. 5520872147, email: [mquirozv1400@alumno.ipn.mx](mailto:mquirozv1400@alumno.ipn.mx) .

Firma: \_\_\_\_\_

*Hernández Tovar Rubén*.- 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. e-mail: [rhtovar@ipn.mx](mailto:rhtovar@ipn.mx) .


Firma: \_\_\_\_\_

*Ortega González Rubén*.- Recibí el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 1999, el grado de M.Sc. en ingeniería de sistemas en el Instituto Politécnico Nacional, México, el de M.Sc. en ingeniería eléctrica, electrónica de computadores y sistemas de la Universidad de Oviedo, Oviedo, España, en 2009. El grado de Ph.D con mención honorífica en ingeniería electrónica por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, en 2012. He sido profesor en la Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional desde 1995. Mis principales campos de investigación son el modelado y control de convertidores de potencia aplicados en la generación de energía en el ámbito de las microrredes, smartgrids y energías renovables, así como procesamiento digital de señales. e-mail: [rortegag@ipn.mx](mailto:rortegag@ipn.mx) .

Firma: \_\_\_\_\_

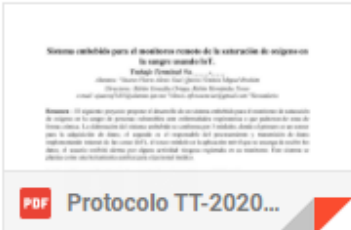


Envío de protocolo a involucrados:


 **Alexis Juárez** <tffrecuenciar@gmail.com> 20:10 (hace 3 horas) ☆ ↩ ⋮  
para rhtovar, rortegag, ajuarezf1401, mquirozv1400, floresya, ocarraznac, vgarciaortega ▾

Anexo el documento del protocolo con las correcciones señaladas en el dictamen.  
Favor de contestar con acuse de recibido. Para enviar el documento a la CATT

---



Acuse de recibido de: Alexis Yael Juárez Flores


 **Alexis Yael Juarez Flores** 20:11 (hace 3 horas) ☆ ↩ ⋮  
para mí ▾

Acuso de recibido.

---

De: Alexis Juárez <tffrecuenciar@gmail.com>  
Enviado: lunes, 15 de febrero de 2021 08:10 p. m.  
Para: Ruben Hernandez Tovar <rhtovar@ipn.mx>; Ruben Ortega Gonzalez <rortegag@ipn.mx>; Alexis Yael Juarez Flores <ajuarezf1401@alumno.ipn.mx>; Miguel Ibrahim Quiroz Ventura <mquirozv1400@alumno.ipn.mx>; floresya@hotmail.com <floresya@hotmail.com>; Oscar Carranza Castillo <ocarranzac@ipn.mx>; vgarciaortega <vgarciaortega@yahoo.com.mx>  
Asunto: Corrección protocolo TT 2020-B041

Acuse de recibido de: Miguel Ibrahim Quiroz Ventura

 **Miguel Ibrahim Quiroz Ventura** 20:30 (hace 3 horas) ☆ ↩ ⋮  
para mí ▾

Acuso de Recibido

---

De: Alexis Juárez <tffrecuenciar@gmail.com>  
Enviado: lunes, 15 de febrero de 2021 18:10  
Para: Ruben Hernandez Tovar <rhtovar@ipn.mx>; Ruben Ortega Gonzalez <rortegag@ipn.mx>; Alexis Yael Juarez Flores <ajuarezf1401@alumno.ipn.mx>; Miguel Ibrahim Quiroz Ventura <mquirozv1400@alumno.ipn.mx>; floresya@hotmail.com <floresya@hotmail.com>; Oscar Carranza Castillo <ocarranzac@ipn.mx>; vgarciaortega <vgarciaortega@yahoo.com.mx>  
Asunto: Corrección protocolo TT 2020-B041

\*\*\*

## Acuse de recibido de: Prof. Rubén Ortega González

**Ruben Ortega Gonzalez**20:52 (hace 2 horas)☆ ↶ ⋮

para mí ▾

Me doy por enterado y acuso de recibido.  
Atentamente  
Prof. Rubén Ortega González

---

**De:** Alexis Juárez <[ttfrecuenciar@gmail.com](mailto:ttfrecuenciar@gmail.com)>  
**Enviado:** lunes, 15 de febrero de 2021 08:10 p. m.  
**Para:** Ruben Hernandez Tovar <[rhtovar@ipn.mx](mailto:rhtovar@ipn.mx)>; Ruben Ortega Gonzalez <[rortegag@ipn.mx](mailto:rortegag@ipn.mx)>; Alexis Yael Juarez Flores <[ajuarezf1401@alumno.ipn.mx](mailto:ajuarezf1401@alumno.ipn.mx)>; Miguel Ibrahim Quiroz Ventura <[mquirozv1400@alumno.ipn.mx](mailto:mquirozv1400@alumno.ipn.mx)>; [floresya@hotmail.com](mailto:floresya@hotmail.com) <[floresya@hotmail.com](mailto:floresya@hotmail.com)>; Oscar Carranza Castillo <[ocarranzac@ipn.mx](mailto:ocarranzac@ipn.mx)>; [vgarciaortega@yahoo.com.mx](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx) <[vgarciaortega@yahoo.com.mx](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx)>  
**Asunto:** Corrección protocolo TT 2020-B041

## Acuse de recibido de : Rubén Hernández Tovar

**Ruben Hernandez Tovar**20:59 (hace 2 horas)☆ ↶ ⋮

para [vgarciaortega](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx), Alexis, Miguel, [floresya@hotmail.com](mailto:floresya@hotmail.com), Oscar, Ruben, mí ▾

correo recibido

---

**From:** Victor Garcia <[vgarciaortega@yahoo.com.mx](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx)>  
**Sent:** Monday, February 15, 2021 8:51 PM  
**To:** Ruben Hernandez Tovar <[rhtovar@ipn.mx](mailto:rhtovar@ipn.mx)>; Ruben Ortega Gonzalez <[rortegag@ipn.mx](mailto:rortegag@ipn.mx)>; Alexis Yael Juarez Flores <[ajuarezf1401@alumno.ipn.mx](mailto:ajuarezf1401@alumno.ipn.mx)>; Miguel Ibrahim Quiroz Ventura <[mquirozv1400@alumno.ipn.mx](mailto:mquirozv1400@alumno.ipn.mx)>; [floresya@hotmail.com](mailto:floresya@hotmail.com) <[floresya@hotmail.com](mailto:floresya@hotmail.com)>; Oscar Carranza Castillo <[ocarranzac@ipn.mx](mailto:ocarranzac@ipn.mx)>; Alexis Juárez <[ttfrecuenciar@gmail.com](mailto:ttfrecuenciar@gmail.com)>  
**Subject:** Re: Corrección protocolo TT 2020-B041

\*\*\*  
...

## Acuse de recibido de: Prof. Oscar Carranza Castillo



**Oscar Carranza Castillo**

20:19 (hace 3 horas)



para mí ▾

Buenas Noches

Acuso de Recibido

Saludos

Dr. Oscar Carranza Castillo  
Profesor Investigador  
Escuela Superior de Cómputo  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Juan de Dios Batiz S/N  
Col. Lindavista, Ciudad de México, México  
Tel. (52)55 57 29 60 00 Ext 52066 y 54861

## Acuse de recibido de : Prof. Víctor Hugo García Ortega



**Víctor García**

20:51 (hace 2 horas)



para rhtovar, rortegag, ajuaarezf1401, floresya, ocarranzac, mquirozv1400, mí ▾

correo recibido

M. en C. Víctor Hugo García Ortega  
Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Cómputo  
Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales  
Academia de Sistemas Digitales  
Tel. (52)55 57296000 ext. 52064

\*\*\*

## Acuse de recibido de : Prof. Yaxkin Flores Mendoza

No se recibió acuse.