

# Prototipo de sistema de conducción autónomo con características de automatización nivel 3 para un prototipo móvil a escala en un ambiente controlado

*Trabajo Terminal No. — — — — —*

*Alumnos: \*Molina Santiago Isaac, Velázquez Flores David*

*Directores: Martínez Díaz Juan Carlos, Martínez Navarro José Ángel*

*\*e-mail: [protocolo.c.autonoma2021@gmail.com](mailto:protocolo.c.autonoma2021@gmail.com)*

**Resumen** – En el desarrollo del trabajo terminal se diseñará un prototipo de software que permita otorgarle autonomía de conducción a un prototipo móvil a escala y este tenga la capacidad de detectar señalamientos de tránsito (alto, siga, cruces, etc), detectar obstáculos para que tenga una respuesta adecuada dependiendo del obstáculo y finalmente tener la capacidad de controlar la velocidad a la cual se desplaza el prototipo. La autonomía del vehículo estima características de nivel 3 establecido en la norma SAE J3016, la cual establece las características que debe tener un piloto automático y automatización del tráfico rodado.

**Palabras clave** – Academia de Ciencias de la Computación, Academia de Fundamentos de Sistemas Electrónicos, algoritmo de aprendizaje conducción autónoma.

## 1. Introducción

Hoy en día, la tecnología comprende grandes aspectos la vida humana, confiando cada día un mayor número de actividades, debido a la precisión que se puede tener al confiar las tareas a un software, la forma de comunicarse, venta y compra, administración de recursos, entre otras. Sin embargo, la tecnología comprende cada día más aspectos de la vida cotidiana, los cuales hasta hace unos años se creía que era imposible realizar por las computadoras, como lo es la conducción autónoma. Hoy en día, los vehículos autónomos ya son una realidad, sin embargo, aún deben recorrer un largo camino para ser totalmente independientes y confiables en situaciones no controladas. Existen proyectos impulsados por grandes compañías dedicadas a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que mediante enfoques tecnológicos y científicos han logrado delimitar los requerimientos para la conducción autónoma, y aunque se han invertido recursos para el desarrollo de esta, aún es una actividad lejos de obtener alcances aceptables de desarrollo.

Actualmente, los niveles de autonomía expuestos en la norma SAE J3016 son los siguientes:

0. **Sin automatización:** El conductor tiene toda la responsabilidad y control del automóvil en la conducción dinámica, sin embargo, puede recibir ayuda de sistemas de alerta.
1. **Asistencia al conductor:** Existe un sistema de respaldo que puede activar un modo de conducción específico que controla el volante o la aceleración, no obstante, el conductor sigue teniendo el control de las demás funciones de la conducción dinámica.
2. **Automatización parcial:** Existen varios sistemas de respaldo que pueden activar un modo de conducción específico que controla el volante y la aceleración, pero dejando el control de las demás tareas de conducción dinámica al conductor.
3. **Automatización condicionada:** Existe un sistema de conducción que posee el control de todos los aspectos de la conducción dinámica, pero el conductor tiene la posibilidad de intervenir en cualquier momento.
4. **Alta automatización:** Existe un sistema de conducción que posee el control de todos los aspectos de la conducción dinámica, el sistema se activa incluso si el conductor no contesta una solicitud de intervención.
5. **Automatización completa:** Existe un sistema de conducción que posee el control de todos los aspectos de la conducción dinámica y se ejecuta para cualquier tipo de medio en el que un conductor podría actuar. [1]

El aumento de vehículos autónomos traerá consigo un gran número de ventajas a la sociedad, como dijo el CEO de NVIDIA, Jensen Huang, “The contribution of self-driving cars to society is, arguably, incredible (La contribución de la conducción autónoma a la sociedad es, indiscutiblemente, increíble)”. La primera y principal ventaja será la seguridad. Por citar un ejemplo, según un informe de la consultora McKinsey & Company, sólo con que existieran un 10-20% de coches con algún nivel de autonomía en Estados Unidos, se podrían evitar aproximadamente 140.000 muertes en un año por accidentes ahora provocados por errores humanos. [2]

Actualmente, casi todo el mundo tiene un auto, es casi una necesidad, tan solo en la Ciudad de México se registran

6,084,903 vehículos de motor en circulación con una población de 8,918,653, informa el INEGI. Sin embargo, existen una gran cantidad de accidentes automovilísticos cada día. Estos accidentes en muchos casos se deben, a la falta de atención del conductor, la fatiga, somnolencia, consumo de sustancias nocivas, al estrés que ocasiona vivir en las zonas urbanas con sobrepoblación como lo es la Ciudad de México, entre otros factores. En el año 2019 se registraron 10,673 accidentes vehiculares, informó el INEGI [3].

De acuerdo con un estudio realizado por la IIHS (Instituto de Seguros para la Seguridad en Carreteras) [4], establece que 9 de cada 10 accidentes automovilísticos podrían evitarse con el uso de la conducción autónoma. Países como Estados Unidos de América, Japón, China, Alemania, han desarrollado prototipos, los cuales en su mayoría se encuentran en un nivel de automatización 3 o 4 según el estándar internacional SAE J3016 establecido por la sociedad de ingenieros automotrices. En México aún no se tiene planes de realizar normas de acuerdo con la ley, los vehículos con estas tecnologías son escasos en el país y muy costosos, pero ya hay compañías internacionales con filiales en México que se encuentran ensamblando proyectos de este tipo.

Por lo anterior expuesto es posible apreciar que la tecnología puede emplearse como una herramienta que podría hacer más segura la conducción en diversas partes del mundo lo que por consecuencia impactaría favorablemente en las estadísticas de muertes por accidentes de automóviles. De manera que en presente Trabajo Terminal se estima desarrollar un sistema que permita implementar una automatización superior al nivel 2 y con características de nivel 3 con referencia en el estándar internacional SAE J3016 que sirva como parteaguas en el desarrollo de estas tecnologías en México, ya que el desarrollo en estos temas en el país es aún escaso y con poca presencia a nivel internacional.

Sistemas similares que se han desarrollado se muestran en la Tabla 1:

TIPO DE TRABAJO	NOMBRE DE SISTEMA / SOFTWARE	CARACTERÍSTICAS	ALCANCE
<b>TESIS (Grado: Licenciatura) [3]</b> ESIME Zacatenco (Ciudad de México).	“Diseño de un sistema autónomo de navegación terrestre usando visión por computadora”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmo de detección de objetos.</li> <li>• Mapa de disparidad para determinar la profundidad</li> <li>• Alcance de detección de objetos 80cm a 350cm</li> <li>• Uso de técnicas visión molecular y visión estereoscópica</li> </ul>	Se diseña un sistema de navegación con aplicaciones teóricas. El sistema es diseñado mediante el uso de diferentes sensores ultrasónicos que permiten identificar objetos en una distancia inferior a 80cm y se usan técnicas de visión molecular y visión estereoscópica para el diseño de un algoritmo que permita identificar objetos en un rango de 80cm a 350cm, realizando la conversión 3D a 2D mediante la aplicación del algoritmo a imágenes en 2 cámaras.
<b>TESIS (Grado: Maestría) [5]</b> Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (Puebla).	“Navegación autónoma de un robot con técnicas de localización y ruteo”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de visión por computadora y control difuso orientado a la navegación autónoma de un robot móvil.</li> <li>• Capacidades de localización y mapeo en un ambiente controlado.</li> <li>• Búsqueda de la ruta más cercana</li> <li>• Evasión de obstáculos.</li> <li>• Alineación en el desplazamiento basada en visión y lógica difusa.</li> </ul>	Se diseño un sistema de navegación, implementando una arquitectura móvil equipada con una cámara web y un sensor de ultrasonido para la percepción del ambiente y de los obstáculos presentes. Un sistema desarrollado en Matlab utilizando una interfaz gráfica para visualizar la simulación de la posición y movimiento del móvil, con ayuda del tratamiento de imágenes.

<b>TESIS (Grado: Maestría)</b> [6] Centro de Investigación en Computación (Ciudad de México).	“Navegación autónoma de un robot tipo automóvil en pista de carreras con obstáculos”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de un sistema utilizando la plataforma de desarrollo “AutoNOMOS”.</li> <li>• Navegación de un vehículo en una pista sin obstáculos a mayor velocidad.</li> <li>• Ajuste de velocidad para la persecución.</li> <li>• Identificación de obstáculos estáticos para estacionarse en S o en paralelo.</li> <li>• Rebasar obstáculos estáticos.</li> </ul>	Sistema capaz de trabajar en un vehículo sometido a un entorno de pista de carreras, con una pista definida y obstáculos estáticos, incluyendo objetos dinámicos (vehículos) para la variación de velocidad que permita rebasar otros vehículos, finalmente se tiene la capacidad de estacionarse en paralelo y en “S”.
<b>Trabajo Terminal (TT)</b>  ESCOM	“Prototipo de sistema de conducción autónomo con características de automatización nivel 3 para un prototipo móvil a escala en un ambiente controlado”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo de sistema de automatización con características de nivel 3 de acuerdo con el estándar internacional SAE J3016.</li> <li>• Desarrollo de sistema con base en herramientas de autoaprendizaje.</li> <li>• Identificación y mapeo de objetos en un entorno controlado</li> <li>• Variación de velocidad y movimientos dependiendo de los estímulos en el entorno</li> <li>• Auxiliar del conductor para la conducción automática.</li> </ul>	Se diseña un sistema que permita la automatización con algunas características del nivel 3 establecidas en el estándar SAEJ3016 de conducción autónoma, el sistema permitirá la recolección de datos en el entorno percibida por los sensores instalados en el prototipo de auto, el procesamiento de los datos para convertirlos en información que pueda ser analizada y almacenada para su posterior tratamiento de manera que el sistema pueda emplear herramientas de autoaprendizaje como machine learning y/o deep learning con el fin de mejorar la toma de decisiones en torno a la conducción hasta que alcance un nivel de autonomía superior al nivel 2 y con características del nivel 3 según la norma SAE J3016.

**Tabla 1.** Resumen de productos similares.

## 2. Objetivo

Desarrollar un prototipo de sistema que sea capaz de otorgarle una autonomía superior al nivel 2 y con características comprendidas en el nivel 3 dentro de la clasificación de coches autónomos según el estándar internacional (SAE J3016) y la cual será aplicada a un prototipo a nivel escala de auto.

## 3. Justificación

La conducción autónoma, aunque es un tema que ya lleva años en desarrollo, en la actualidad es un tema que aún no se completa, es decir ya se tienen establecidos los parámetros de grado que permiten la cuantificación del avance y evolución de estas tecnologías, pero los prototipos más avanzados llevan muchos años en desarrollo y aún no se tiene un prototipo que contemple el 100% de las características de la conducción autónoma. Países como Estados Unidos de América, Japón, China, Alemania, han desarrollado prototipos, los cuales en su mayoría se encuentran en un nivel de automatización 3 o 4 según el estándar internacional SAE J3016 establecido por la sociedad de ingenieros automotrices. Este tipo de tecnología al estar en desarrollo y ser reciente no se encuentra litigada en ningún organismo, aunque algunos países ya trabajan en normas y políticas que controlen las actividades de esta tecnología. En México aún no se tiene planes de realizar normas de acuerdo con la ley, los vehículos con estas tecnologías son escasos en el país y muy costosos, pero ya hay compañías internacionales con filiales en México que se encuentran ensamblando proyectos de este tipo.

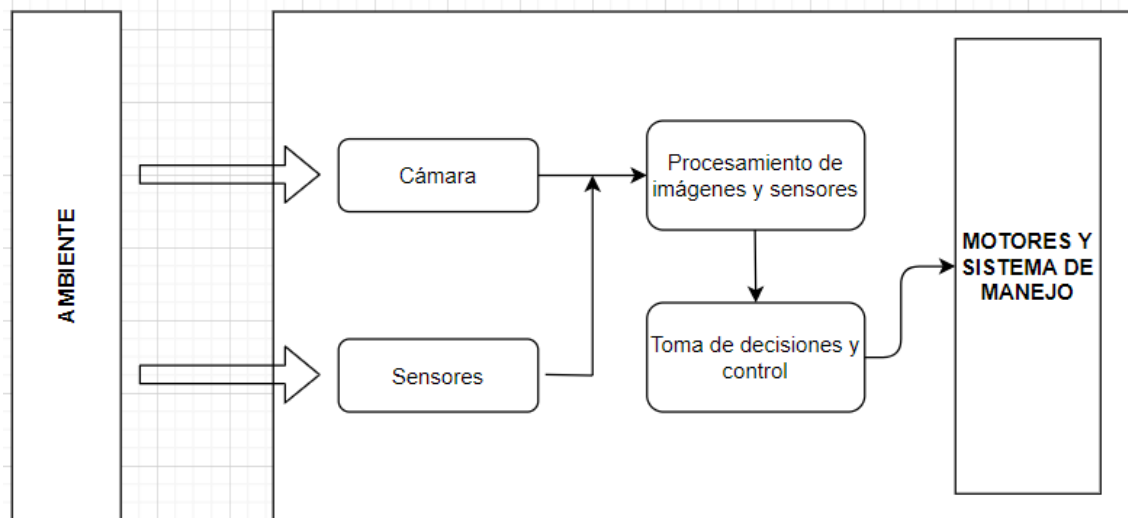
En el área de investigación sobre sistemas de este tipo en México ya se cuenta con algunos proyectos desarrollados, aunque los prototipos aún son escasos y la mayoría de los sistemas se enfocan en la navegación, más que en emplear sistemas que puedan adaptarse a un prototipo, es por ello por lo que se pretende que el proyecto actual sirva como parteaguas para el desarrollo e implementación de estas tecnologías en México además de adicionar algunos beneficios sobre los sistemas de navegación actuales.

Además, en la Ciudad de México, existen una gran cantidad de accidentes automovilísticos cada día. Estos accidentes en muchos casos se deben, a la falta de atención del conductor, la fatiga, somnolencia, consumo de sustancias nocivas, estrés provocado por vivir en zonas urbanas con sobrepoblación como lo es la Ciudad de México, entre otros factores. En el año 2019 se registraron 10,673 accidentes vehiculares, informó el INEGI [2], es por ello por lo que en este Trabajo Terminal se identifican algunos de los factores que con más frecuencia ocasionan accidentes y se desarrolla una propuesta de solución con la cual haciendo uso de la tecnología sea capaz de darle autonomía superior al nivel 2 y con características de nivel 3 a un auto (prototipo) a escala. En busca de que el sistema pueda ser usado y probado en el prototipo a escala sometiéndose a situaciones simuladas de un entorno real y sea capaz de efectuar acciones que en un auto real permita disminuir las causas más comunes de accidentes.

#### 4. Productos o Resultados esperados

1. Diseño de un prototipo de sistema capaz de brindar autonomía en conducción.
2. Evolución del software empleando herramientas de aprendizaje profundo y/o autónomo.
3. Implementación del prototipo de sistema a un prototipo móvil (auto) a escala.
4. El prototipo de sistema contará con un módulo, capaz de procesar los datos del entorno y navegación para adaptarlo al prototipo a escala.
5. Documentación técnica.

**Figura 1. Arquitectura del sistema.**

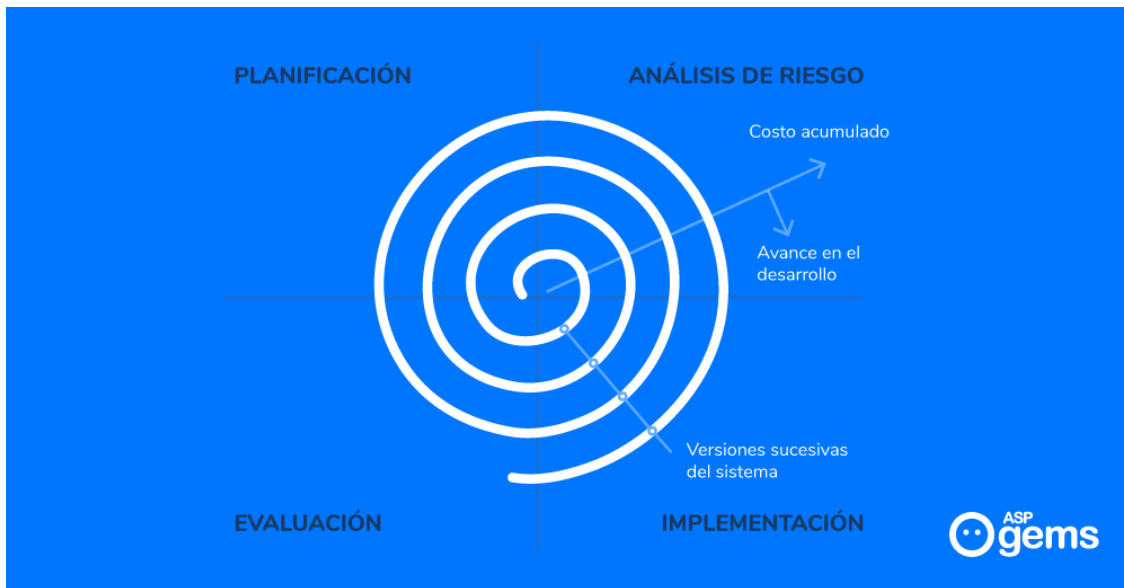


#### 5. Metodología

Se utilizará un modelo en espiral para el desarrollo del sistema, debido a que, en este tipo de desarrollo de software, los productos son creados a través de múltiples repeticiones del proceso del ciclo de vida, teniendo en cuenta la naturaleza de los algoritmos de aprendizaje. De manera inicial se estima que el modelo sea empleado con 3 a 5 vueltas para el desarrollo del prototipo de sistema tomando como referencia 4 etapas en el desarrollo del trabajo.

1. **Planificación:** En esta etapa de desarrollo se realizan diversas investigaciones que permitan la transformación de una idea en un avance de sistema, para lo cual se emplean diversas herramientas que permiten el modelado y análisis de las características y entregables del proyecto. Así como el análisis de requerimientos de sistema.
2. **Análisis de Riesgo:** La etapa comprende un análisis mediante diferentes herramientas como matrices y diversas ponderaciones de acciones que pueden suceder en el desarrollo del sistema, así como durante la implementación del este, es decir a lo largo del ciclo de vida de software, tales ponderaciones son designadas para clasificación y con base en esa ponderación se toma una ruta de acción para la planificación de una solución en eventos cuya ponderación vuelva probable o crítico el riesgo.

3. Implementación: Se desarrolla y valida el software según el alcance acordado, el cual está íntimamente relacionado y condicionado con el análisis de riesgos
4. Evaluación: Antes de proceder a realizar otra vuelta en la espiral, se debe prestar atención a lo que sucedió en la vuelta anterior. Se debe analizar en detalle si los riesgos detectados anteriormente ya tuvieron solución. Básicamente, esta fase servirá para determinar el avance del proyecto y dar pistas de hacia dónde debe enfocarse la próxima iteración.



**Figura 2 (Metodología de desarrollo) [7]**

Se decidió implementar esta metodología debido a su naturaleza y también por la fase de análisis de riesgo, el cual otorga un enfoque global sobre “Cómo” desarrollar el proyecto, al igual que los alcances y las áreas de oportunidad de este, es decir otorga una visión general de hacia “Dónde” se dirige lo que en un comienzo era una idea.

## 6. Cronograma

Nombre del alumno(a): Molina Santiago Isaac

TT No.:

Título del TT: “Prototipo de sistema de conducción autónomo con características de automatización nivel 3 para un prototipo móvil a escala en un ambiente controlado”

[illegible]

TT No.:

[illegible]

## 7. Referencias

- [1] Buitrago, J., Vera, M., & Nino, J., «AUTOS Y SU INDEPENDIZACION,» [En línea]. Available: <http://wiki.sc3.uis.edu.co/images/d/d5/ArchiG12.pdf>. [Último acceso: 1 11 2020].
- [2] S. H. Bermejo, «Control para Navegación de Robot por,» Junio 2017. [En línea]. Available: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27803/TFG\\_Samuel\\_Hernandez\\_Bermejo\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27803/TFG_Samuel_Hernandez_Bermejo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 4 11 2020].
- [3] Jonathan Abraham Aparicio Osorio, César Leyva González, «Diseño de un sistema autónomo de navegación terrestre utilizando visión por computadora,» Ciudad de México, 2019.
- [4] Unknow, «Mundo en línea,» Unknow, 5 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://mundoenlinea.cl/2020/06/05/vehiculos-autonomos-podrian-evitar-solo-un-tercio-de-accidentes-en-eeuu/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [5] M. N. I. Bonilla, «Navegación autónoma de un robot con técnicas de localización y ruteo,» Diciembre 2009. [En línea]. Available: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/394/1/IbarraBMN.pdf>. [Último acceso: 06 11 2020].
- [6] C. G. B. Conejo, «Navegación autónoma de un robot tipo automóvil,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/26294>. [Último acceso: 06 Mayo 2020].
- [7] Unknow, «Metodologías de desarrollo de software III (Modelo en espiral),» ASPgems, 5 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://aspgems.com/metodologia-de-desarrollo-de-software-iii-modelo-en-espiral/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].



## 8. Alumnos y Directores

*Molina Santiago Isaac. - Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2015030855, Tel. 5560292435 , Email: isaacmolinasantiago@gmail.com.*

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

*Velázquez Flores David. - Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2015021375, Tel. 5531970921, Email: davidceyt@gmail.com*

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

*Martínez Díaz Juan Carlos .- Titular C de ESCOM, de 1998 a la fecha. Prof. De ESIME Zacatenco, 1999 – 2000. Ing. En Comunicaciones y Electrónica con especialidad en Acústica por la ESIME Zacatenco, 1990-1995. Maestría en Ingeniería de Sistemas por SEPI de ESIME Zacatenco, 2001 – 2003.*

*Áreas de interés, Instrumentación Electrónica, Instrumentación Acústica, Instrumentación Industrial, Electrónica, Acústica, Electroacústica, Electrónica de Potencia.*

*Contacto: Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Edificio de Laboratorios de ESCOM, 1er. Piso. Tel. 57296000 ext. 52022.*

*Email: ingmardi@hotmail.com*

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

*Martínez Navarro José Ángel. - Profesor de Estadística y Probabilidad, Métodos Numéricos y Sistemas Inteligentes, 2018 – 2019, Ing. En Comunicaciones y Electrónica por la ESIME Zacatenco, 2010-2014. Maestría en Ciencias de la Computación por el CIC IPN, 2015 – 2018.*

*Áreas de Interés: Control, Electrónica, Aprendizaje Automático, Robótica, Desarrollo de Software, Contacto: CIC – IPN.*

*Email: josekun13@gmail.com*

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.

# Confirmaciones para la entrega de protocolo de investigación

## M. Juan Carlos Martínez Díaz

Entrega de Protocolo Recibidos x



**David Velázquez** <protocolo.c.autonoma2021@gmail.com>  
para ingmardi ▾

📧 lun, 9 nov 2020, 00:21 ☆ ↩ ⋮

Buenos días, por medio del presente mensaje se adjunta el archivo final del Protocolo de Investigación, mismo que será entregado a la CATT para su revisión, evaluación y en su caso aprobación para poder desarrollarlo como Trabajo Terminal.

Gracias y excelente inicio de semana!

ATT.  
Isaac Molina Santiago  
David Velázquez Flores



**ingmardi@hotmail.com** <ingmardi@hotmail.com>  
para mí ▾

lun, 9 nov 2020, 12:34 ☆ ↩ ⋮

Saludos

Acuso de Recibido

Atte. Prof. Juan Carlos Martínez Díaz

## M. José Ángel Martínez Navarro



**David Velázquez** <protocolo.c.autonoma2021@gmail.com>  
para josekun13 ▾

📧 9 nov 2020, 00:09 ☆ ↩ ⋮

Buenos días, por medio del presente mensaje se adjunta el archivo final del Protocolo de Investigación, mismo que será entregado a la CATT para su revisión, evaluación y en su caso aprobación para poder desarrollarlo como Trabajo Terminal.

Gracias y excelente inicio de semana!

ATT.  
Isaac Molina Santiago  
David Velázquez Flores



**José Ángel Martínez Navarro** <josekun13@gmail.com>  
para mí ▾

9 nov 2020, 03:04 ☆ ↩ ⋮

Perfecto, estoy de acuerdo  
atte José Ángel Martínez Navarro



M. en C. José Ángel Martínez Navarro  
Centro de Investigación en Computación  
Laboratorio de Robótica y Mecatrónica  
Instituto Politécnico Nacional

## Molina Santiago Isaac



**Isaac Molina** <isaacmolinasantiago@gmail.com>  
para mí ▾

lun, 9 nov 2020, 00:28 ☆ ↩ ⋮

Estoy de acuerdo

\*\*\*

El lun., 9 nov. 2020 a las 0:14, David Velázquez (<protocolo.c.autonoma2021@gmail.com>) escribió:

Buenos días, por medio del presente mensaje se adjunta el archivo final del Protocolo de Investigación, mismo que será entregado a la CATT para su revisión, evaluación y en su caso aprobación para poder desarrollarlo como Trabajo Terminal.

Gracias y excelente inicio de semana!

ATT.

Isaac Molina Santiago  
David Velázquez Flores

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

ESCOM

**Molina Santiago Isaac**

## Velázquez Flores David

Entrega de Protocolo Recibidos x



**David Velázquez** <protocolo.c.autonoma2021@gmail.com>  
para davidceyt ▾

lun, 9 nov 2020, 00:15 ☆ ↩ ⋮

Buenos días, por medio del presente mensaje se adjunta el archivo final del Protocolo de Investigación, mismo que será entregado a la CATT para su revisión, evaluación y en su caso aprobación para poder desarrollarlo como Trabajo Terminal.

Gracias y excelente inicio de semana!

ATT.

Isaac Molina Santiago  
David Velázquez Flores



**David Velázquez Flores** <davidceyt@gmail.com>  
para mí ▾

lun, 9 nov 2020, 13:39 ☆ ↩ ⋮

Buenas tardes!  
Estoy de acuerdo con lo establecido en el documento!

ATT: David Velázquez Flores

\*\*\*