

Sistema embebido para la navegación y evasión de obstáculos en un sistema móvil

Trabajo Terminal No. 2021-A035

Alumnos: Estrada González David¹ [, Vite Cruz Rodrigo²]

Directores: Ortega González Rubén, Oliva Moreno Luz Noé

e-mail: destradag1701@alumno.ipn.mx¹ [, rvitec1700@alumno.ipn.mx²]

Resumen

La navegación autónoma en sistemas móviles permite desplazarnos por ciertas trayectorias sin la necesidad de la intervención humana, la importancia de estos sistemas continúa aumentando debido al incremento de las aplicaciones donde pueden ser utilizados. En esta propuesta de trabajo terminal se plantea el desarrollo de un prototipo de sistema embebido que permita la evasión de obstáculos y el monitoreo remoto mediante IoT de la escena donde se encuentra un móvil usando un servidor de video. Para lograr dicho objetivo se utilizará una tarjeta de desarrollo que empleará una cámara e implementará dicho servidor de video para la visualización de los obstáculos que encuentre. El video podrá ser accesible desde una dirección IP estática en un ambiente controlado.

Palabras clave

Algoritmo de evasión de obstáculos, IoT, robot móvil, sensores, SoC.

1. Introducción.

Conforme pasan los años la investigación en robots móviles se ha incrementado en gran escala, esto se debe a la infinidad de aplicaciones que un robot puede ofrecer con el propósito de reducir el riesgo que supondría a una persona el realizar dichas actividades. Dentro de las múltiples ramas de investigación, existe una que se enfoca en el comportamiento autónomo de los robots, los sistemas de navegación en dispositivos móviles del área de robótica ayudan a que el robot pueda desplazarse sin la necesidad de la gestión humana. Estos sistemas pueden ir desde pequeños aparatos inteligentes con algoritmos sencillos como juguetes o aspiradores robóticos hasta complejos sistemas para vehículos no tripulados de uso tanto comercial como militar.

La importancia de los sistemas embebidos aumenta continuamente teniendo en cuenta la amplitud de los campos de aplicación donde son empleados, esto ha impulsado al surgimiento de una industria fuerte que los desarrolla y utiliza. Su importancia para los servicios en todos los frentes y para el crecimiento tecnológico y, por lo tanto, económico ha llevado a esfuerzos significativos para abordar los desafíos planteados por el desarrollo y despliegue de sistemas embebidos [1].

Los sistemas embebidos están relacionados con la robótica, la cual se define como la técnica que se utiliza en el diseño y la construcción de robots o aparatos que realizan operaciones o trabajos, generalmente en instalaciones industriales. Esta técnica, o conexión, viene de la necesidad de la automatización industrial caracterizada durante los periodos de cambios bruscos en los métodos populares [2].

Según George Corser [3] los sistemas autónomos de Internet de la cosas (IoT-Internet of Things) son un conjunto de dispositivos en red que se comunican entre sí, sin la intervención de humanos. Estos dispositivos normalmente usan un conjunto de sensores para realizar monitoreo y/o control del sistema e informar al usuario de su estado.

Hay tres componentes o elementos básicos que interactúan entre sí: a) el hardware, como sensores, actuadores (dispositivos que controlan los sistemas) y otros dispositivos de comunicación alojados en los objetos; b) la plataforma de middleware, que es el software que permite el intercambio de información entre las aplicaciones, así como las herramientas computacionales que permitan el análisis de datos; y c) las herramientas que en forma fácil permitan la visualización e interpretación de la información y que deben ser diseñadas para ser accesadas por diferentes aplicaciones y dispositivos [4].

La investigación en sistemas de monitoreo para robots móviles ha logrado avanzar gracias a los prototipos que se desarrollan, a continuación mencionamos algunos de ellos.

Tenorio Diaz en [5] establece un sistema de monitoreo para un robot móvil, la manera en la que se implementó el sistema fue en base al mapeo, es decir, para que el robot se mueva debe mapear previamente su entorno antes de poder moverse, el mapeo se realiza con sensores láser.

También podemos encontrar que se puede usar el aprendizaje profundo como se estipula en [6]. Con la creación de 2 redes neuronales bien definidas usando python 2.7 se experimentó con un robot móvil P3-DX, un sensor láser URG y una cámara web Logitech C210 de 640×480 píxeles usando OpenCV (Python), de esta forma se obtuvo la matriz de datos de los píxeles de la imagen a 30 frames por segundo.

[7] utiliza dos algoritmos de navegación para poder mover un hexápodo, el seguimiento de pelota y el seguimiento de línea utilizando como principal hardware una Raspberry Pi y el procesamiento de imágenes. Cabe aclarar que estos algoritmos funcionan en escenarios creados parcialmente para él.

Por otro lado, la revista Ingenium [8] publica un artículo donde se busca la aproximación a un sistema de visión artificial que permita la navegación de un robot, desacoplando un módulo sensor e implementarlo como una unidad independiente sobre un pequeño robot diferencial. Sobre él, se realizaron estudios básicos de navegación por identificación visual de landmarks (marcas especiales) en un ambiente desconocido.

En la tabla 1 se puede ver una comparación de los aspectos más relevantes de los trabajos a los que se hizo referencia anteriormente.

Trabajo	Unidad de Procesamiento	Módulo de comunicación	Tipo de robot	Envío de imágenes
Diseño e implementación de un sistema para el mapeo y navegación de un robot móvil [5]	Arduino DUE	Robot Operative System (ROS)	Robot móvil	No
Aplicación de Deep learning de robótica móvil para exploración y reconocimiento de objetos basados en imágenes [6]	Microcontrolador	Wi-fi	Robot P3-DX	Sí
Sistema de navegación autónoma de robot hexapodo [7]	Raspberry Pi	Módulo serial	Hexápodo	NO
Identificación visual sobre sistema embebido para navegación robótica autónoma [8]	Teléfono inteligente	Wi-fi	Robot diferencial	Sí
Sistema embebido para la navegación y evasión de obstáculos en un sistema móvil	Microcontrolador	Wi-fi	Robot móvil	Sí

Tabla 1. Características comparables del estado del arte de los trabajos referenciados.

Objetivo

Implementar un prototipo de sistema embebido para la navegación de un móvil robótico ante la presencia o ausencia de obstáculos usando una arquitectura computacional basada en SoC (System on Chip) con sensores de distancia y una cámara para el envío de video utilizando IoT.

Objetivos específicos:

1. Implementar un algoritmo de navegación de trayectorias de un móvil robótico y evasión de obstáculos teniendo como referencia la lectura de sensores de distancia, con la finalidad de evitar colisiones.
2. Configurar y programar los sensores de distancia para la correcta implementación del algoritmo de evasión de obstáculos usando la arquitectura computacional basada en SoC.
3. Configurar y programar los módulos PWM para el control de la velocidad de los motores del robot implementando algoritmos de control proporcional (P) implementados en una tarjeta de desarrollo.
4. Configurar y programar la cámara para la toma de video utilizando la tarjeta de desarrollo.
5. Configurar y programar un servidor de video en la tarjeta de desarrollo para su envío utilizando el IoT.

2. Justificación

Contar con un dispositivo móvil autónomo que cuente con su propio algoritmo de navegación en un ambiente controlado puede ser la base de un campo de aplicaciones tan extenso como: procesos industriales, sistemas de vigilancia, automóviles, equipos médicos, dispositivos de trabajo doméstico, aviones, drones, juguetes, etc.

En la industria muchas empresas recurren a la automatización de tareas en el área de producción, sin embargo la manipulación de materiales y el transporte interno a menudo se realiza de forma manual. Con robots móviles de colaboración estas actividades pueden automatizarse.

Para poder conseguir la realización de cada una de las tareas planeadas en la industria, necesitamos un algoritmo de navegación que nos permita poder encontrar al móvil en un entorno real de trabajo real, es decir en un plano físico, y poder interactuar con él mediante la navegación.

La navegación implica una serie de tareas coordinadas, como lo es captar y transformar señales de los diversos sensores que podemos implementar, y poder coordinarlas en tiempo real para tener un tiempo de respuesta acorde a lo que se plantee en un escenario físico, y hacer esta coordinación general para poder ser utilizada en diversos entornos .

Usualmente dentro de los entornos podemos encontrar a las escuelas e instituciones suelen invertir recursos financieros para comprar robots móviles terrestres comerciales para su programación y, posteriormente, pruebas de algoritmos de evasión de obstáculos los cuáles están limitados a las librerías y funciones de propiedad intelectual que el proveedor ofrezca con el equipo, además, en ocasiones el código fuente de dichas funciones no está disponible al usuario o se encuentra pobremente documentado.

3. Productos o Resultados esperados

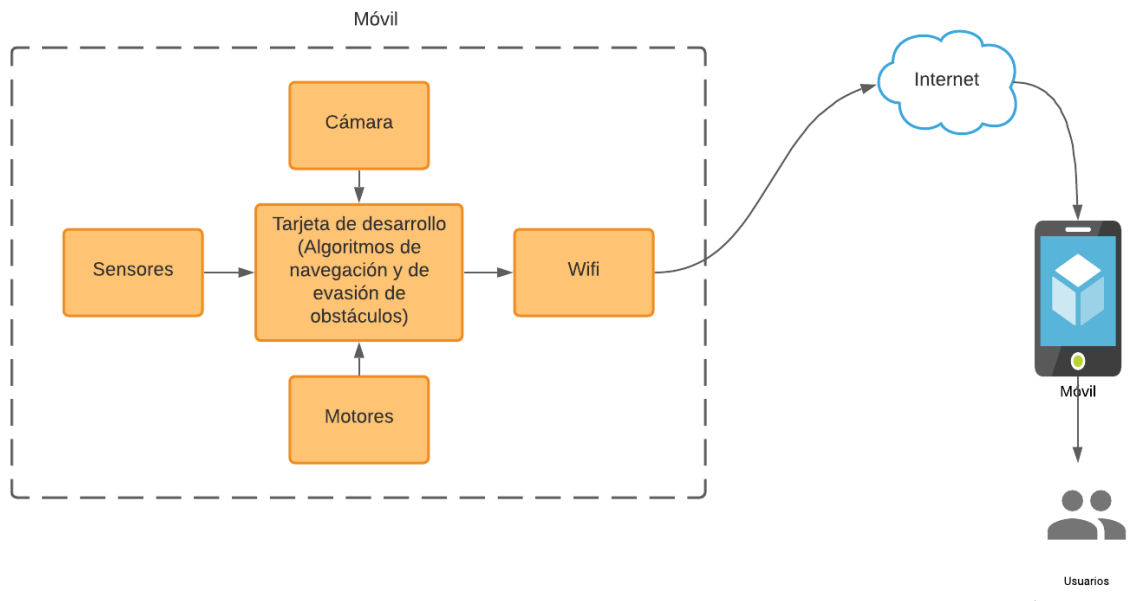


Figura 1. Arquitectura del sistema de IoT.

En la Figura 1 se muestra la arquitectura del sistema de IoT propuesto que se compone de cinco unidades.

- a. Cámara: Este módulo se encargará de la toma de vídeo del escenario en el que se encuentra el móvil.
- b. Sensores: Este módulo se encargará de detectar los obstáculos cercanos al móvil.
- c. Motores: Este módulo es el encargado de que nuestro móvil se mantenga en movimiento.
- d. Wi-fi: Este módulo es el encargado de comunicarse mediante IoT con el usuario mediante una dirección IP estática.
- e. Tarjeta de desarrollo: Este módulo será el cerebro de nuestro sistema, aquí se ejecutará el algoritmo de evasión de obstáculos a desarrollar. También se encarga de la configuración y programación de todos los periféricos del sistema.

Se aclara que dentro de esta propuesta solo se trabajará con la parte computacional del móvil ya que la parte robótica ya se encuentra implementada.

Resultados finales.

1. Sistema de embebido para la evasión de obstáculos del móvil.
2. Servidor de video implementado sobre la tarjeta de desarrollo..
3. Documento técnico.

4. 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. Las etapas que tiene este modelo se muestran en la Figura 2.

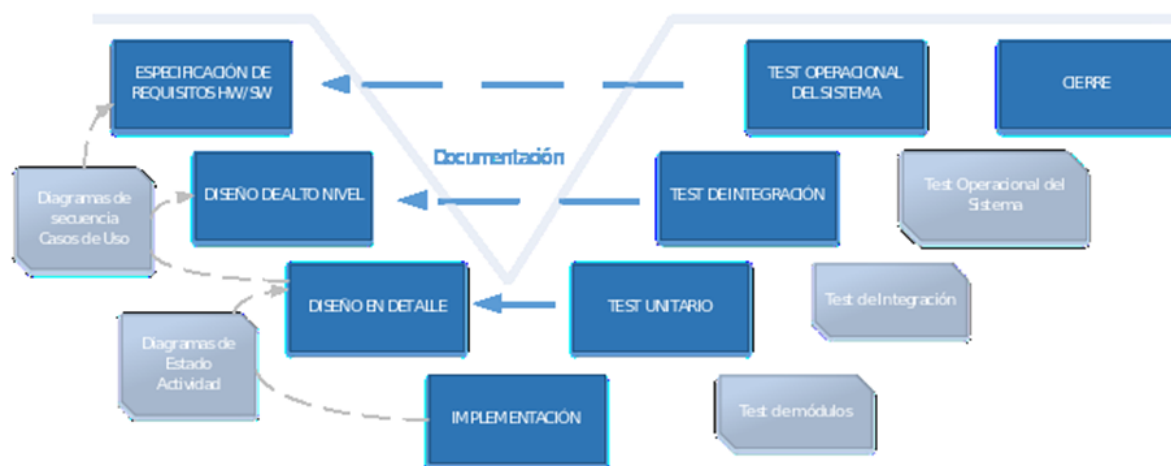


Figura 2. Modelo en V

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. El test unitario 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 el test operacional, en donde se realizan las últimas pruebas sobre un escenario real. [9]

5. Cronograma

Actividades para Estrada González David

- Programación de sensores de distancia.
- Programación de módulos PWM junto con control proporcional.
- Implementación del algoritmo de navegación de trayectorias y de evasión de obstáculos.
- Generación de documento técnico.

Actividades para Vite Cruz Rodrigo

- Configuración y programación de cámara.
- Configuración y programación del módulo WIFI.
- Configuración de servidor de vídeo.
- Generación de documento técnico.

6. Bibliografía

- [1] M. Rouse, "Embedded systems." IoT Agenda, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/DhqEUvv>. [Accedido: 18-mar-2021].
- [2] "Robótica." Lexico, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.lexico.com/es/definicion/robotica>. [Accedido: 18-mar-2021].
- [3] George Corser. "IEEE Talks IoT: George Corser". IEEE Internet of Things, 2018. [Online]. Available: <https://iot.ieee.org/articles-publications/ieee-talks-iot/206-ieee-talks-iot-george-corser.html>
- [4] "Entendiendo el internet de las cosas", Investiga.TEC, no. 24, p. 22, 2015.
- [5] D. Díaz Tenorio, "Diseño e implementación de un sistema para el mapeo y navegación de un robot móvil", Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Oriente, pp. 83-84, 2017.
- [6] S. Contreras y F. De la Rosa, "Aplicación de deep learning en robótica móvil para exploración y reconocimiento de objetos basados en imágenes," 2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC), Popayan, Colombia, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/ColumbianCC.2016.7750800.
- [7] J. Guirado Cárdenas, "SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA DE ROBOT HEXÁPODO", Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Superior de Jaén, 2018.
- [8] F. Martínez S, F. Martínez S and H. Montiel, "Identificación visual sobre sistema embebido para navegación robótica autónoma", Ingenium Revista de la facultad de ingeniería, vol. 15, no. 29, p. 71, 2014. Available: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1346>. [Accedido 18 Marzo 2021].
- [9] PEREZ, 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.

7. Alumnos y Directores

David Estrada González.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Boleta: 2015020367, Tel. 5536610337, email davidestragonz@gmail.com

Se anexan acuses al final del documento.

Rodrigo Vite Cruz.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Boleta: 2018630531, Tel. 7461143485, email rovic99@hotmail.es

Se anexan acuses al final del documento.

Rubén Ortega González.- 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, smart grids y energías renovables, así como procesamiento digital de señales. e-mail: rortegag@ipn.mx

Se anexan acuses al final del documento.

Luz Noé Oliva Moreno.- Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (1995-2000). Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados en el IPN (2000-2003). Doctorado en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados en el IPN (2004- 2008). Actualmente, es profesor Titular en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Hidalgo (UPIIH) del IPN trabajando en el área de Sistemas Embebidos, Procesamiento Digital de señales y robótica. e-mail: loliva@ipn.mx

Se anexan acuses al final del documento.

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.

CRONOGRAMA

Nombre del alumno(a): Estrada González David

TT No.: 2021-A035

Título del TT: Sistema embebido para la navegación y evasión de obstáculos en un sistema móvil

Actividad	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Investigación sobre los posibles algoritmos de navegación de trayectorias y evasión de obstáculos											
Análisis y diseño de la programación de sensores de distancia											
Análisis y diseño de la programación de módulos PWM junto con control proporcional											
Análisis y diseño del algoritmo de navegación de trayectorias y evasión de obstáculos											
Evaluación TT1											
Implementación de los sensores de distancia											
Implementación de los módulos PWM junto con control proporcional											
Implementación de los algoritmos de navegación de trayectorias y de evasión de obstáculos											
Pruebas de los sensores de distancia											
Pruebas de los módulos PWM junto con control proporcional											
Pruebas del algoritmo de navegación de trayectorias y evasión de obstáculos											
Documentación											
Evaluación TT2											

CRONOGRAMA

Nombre del alumno(a): Vite Cruz Rodrigo TT No.: 2021-A035

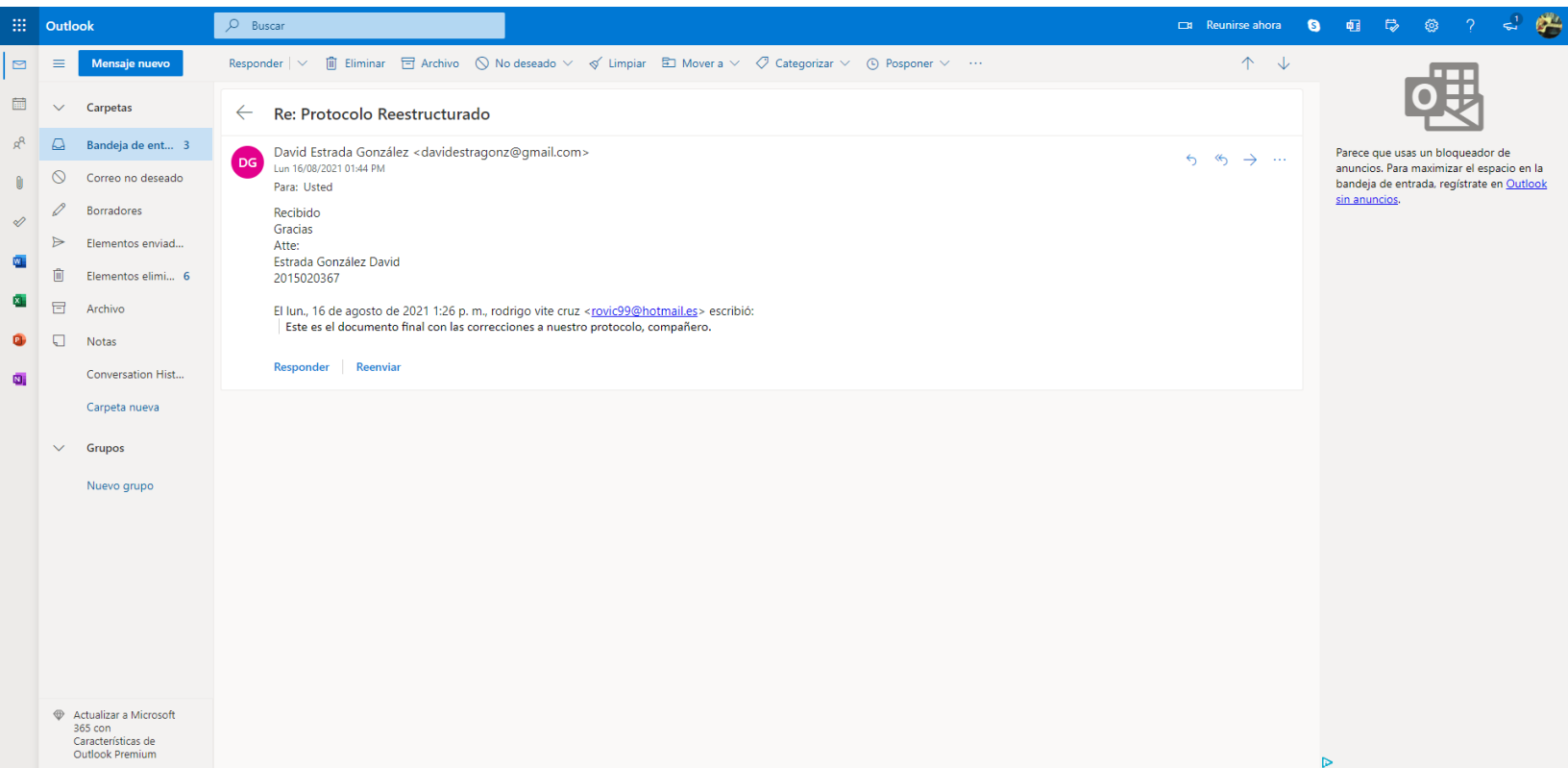
Título del TT: Sistema embebido para la navegación y evasión de obstáculos en un sistema móvil

Actividad	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Investigación sobre los posibles algoritmos de navegación de trayectorias y evasión de obstáculos											
Análisis y diseño de la configuración de cámara											
Análisis y diseño de la configuración del módulo WIFI											
Análisis y diseño del servidor de vídeo											
Evaluación TT1											
Implementación de la cámara											
Implementación del módulo WIFI											
Implementación del servidor de vídeo											
Pruebas de la cámara											
Pruebas del módulo WIFI											
Pruebas del servidor de vídeo											
Documentación											
Evaluación TT2											

Acuses de recibido

En las siguientes páginas se muestran los acuses de recibido por parte de los integrantes del equipo y nuestros directores. Además, especificamos que el segundo director es externo por lo que se agregará su cedula profesional.

Acuse de David Estrada González



Acuse de Rodrigo Vite Cruz

The screenshot shows the Outlook web interface. The top bar is blue with the Outlook logo and a search bar. Below the top bar is a navigation pane on the left with various folders like 'Bandeja de entrada...', 'Correo no deseado', 'Borradores', etc. The main area displays an email from 'rodrigo vite cruz' with the subject 'Re: Protocolo Reestructurado'. The email content includes a date, time, and a message about a protocol document. The right sidebar contains a notification about ads and a 'Reunirse ahora' button.

Outlook

Buscar

Reunirse ahora

Mensaje nuevo

Responder | Eliminar | Archivo | No deseado | Limpiar | Mover a | Categorizar | Posponer

Carpetas

Bandeja de entra...

Correo no deseado

Borradores

Elementos enviad...

Elementos elimi... 6

Archivo

Notas

Conversation Hist...

Carpetas nuevas

Grupos

Nuevo grupo

Actualizar a Microsoft 365 con Características de Outlook Premium

Re: Protocolo Reestructurado

rodrigo vite cruz
Lun 16/08/2021 03:59 PM
Para: Usted
Recibido

Atte:
Rodrigo Vite Cruz
2018630531

De: rodrigo vite cruz <rovic99@hotmail.es>
Enviado: lunes, 16 de agosto de 2021 01:27 p. m.
Para: rodrigo vite cruz <rovic99@hotmail.es>
Asunto: Protocolo Reestructurado

Este es el documento final del protocolo con las correcciones correspondientes.

Responder | Reenviar

Parece que usas un bloqueador de anuncios. Para maximizar el espacio en la bandeja de entrada, regístrate en [Outlook sin anuncios](#).

Acuse del director Dr. Rubén Ortega González

The screenshot shows the Outlook web interface. The top navigation bar is blue with the Outlook logo and a search bar. Below the navigation bar, there's a left sidebar with a folder list including 'Carpeta nueva' and 'Nuevo grupo'. The main content area displays an email titled 'Re: Protocolo Reestructurado 2021-A035' from Ruben Ortega Gonzalez. The email body contains a formal acknowledgment and a reference to a protocol document. The right sidebar shows a notification about a blocked advertisement.

Outlook

Buscar

Reunirse ahora

Mensaje nuevo

Responder | Eliminar | Archivo | No deseado | Limpiar | Mover a | Categorizar | Posponer

Re: Protocolo Reestructurado 2021-A035

Ruben Ortega Gonzalez <rortegag@ipn.mx>
Lun 16/08/2021 03:56 PM
Para: Usted

Acuso de recibido
Atentamente
Prof. Rubén Ortega González

De: rodrigo vite cruz <rovic99@hotmail.es>
Enviado: lunes, 16 de agosto de 2021 01:25 p. m.
Para: Luz Noe Oliva Moreno <loliva@ipn.mx>; Ruben Ortega Gonzalez <rortegag@ipn.mx>
Asunto: Protocolo Reestructurado 2021-A035

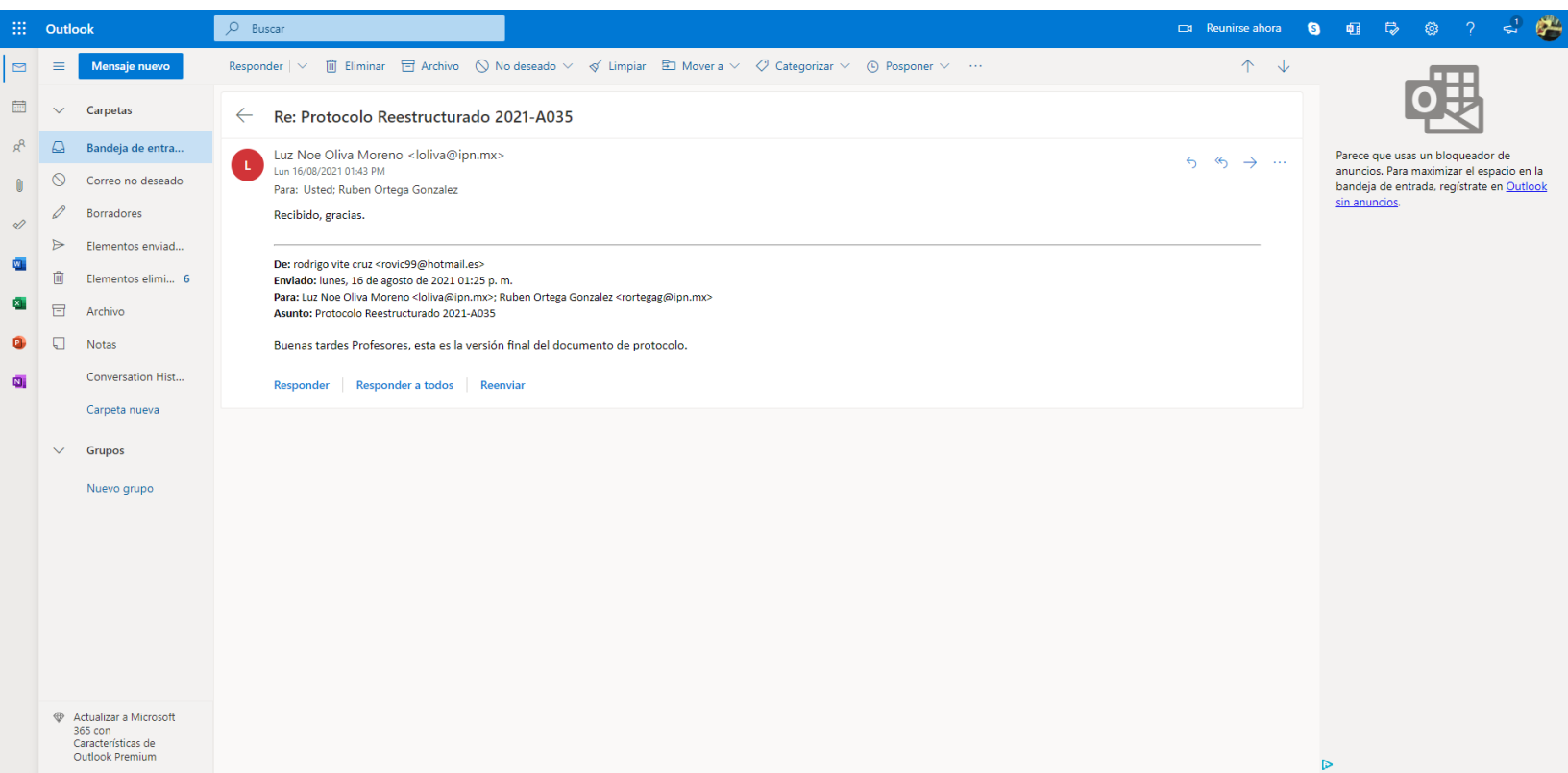
Buenas tardes Profesores, esta es la versión final del documento de protocolo.

Responder | Reenviar

Parece que usas un bloqueador de anuncios. Para maximizar el espacio en la bandeja de entrada, regístrate en [Outlook sin anuncios](#).

Actualizar a Microsoft 365 con Características de Outlook Premium

Acuse del director Dr. Luz Noé Oliva Moreno



Como el Dr. Luz Noé Oliva Moreno es un director externo de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Hidalgo (UPIIH) del IPN se adjunta su cedula profesional en la siguiente página.

Cedula profesional Dr. Luz Noé Oliva Moreno

DGP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
DIRECCIÓN GENERAL DE PROFESIONES

CÉDULA PROFESIONAL
10532779

OLIVA MORENO
LUZ NOE

DOCTORADO EN
CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA

FIRMA DEL TITULAR

OIML771213HDFLRZ05

Ciudad de México a 29 de Junio de 2017.

SEP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
DIRECCIÓN GENERAL DE PROFESIONES

CÉDULA PROFESIONAL 10532779
QUE SE EXPIDE A OLIVA MORENO LUZ NOE,
QUIEN CUMPLIÓ CON LOS REQUISITOS EXIGIDOS POR LA LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 5º
CONSTITUCIONAL, RELATIVO AL EJERCICIO DE LAS PROFESIONES Y SU REGLAMENTO,
CÉDULA EN EDUCACIÓN DE TIPO SUPERIOR
CON EFECTOS DE PATENTE PARA EJERCER PROFESIONALMENTE EN EL NIVEL DE
DOCTORADO EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA

DR. BERNARDO ESPINO DEL CASTILLO BARRÓN
DIRECTOR GENERAL DE PROFESIONES

IDMEX0105327798<<0IML771213HDF
7712131H<<<<<<<<<<<<<<<1179880<<9
OLIVA<MORENO<<LUZ<NOE<<<<<<<<<<