

Integración De Sistema De Automóvil Autónomo En Un Sistema Embebido

[Integration Of Autonomous Automobile In An Embedded System]

Jorge Eduardo Robles Pérez¹, Jorge Esparza Cortés¹, Luis Enrique Torres Beltrán¹, Hamurabi Gamboa²
Rosales

¹INFOTEC centro de investigación e innovación en tecnologías de la información y tecnología.

²INFOTEC Aguascalientes



Resumen— El mundo está cambiando hacia un futuro donde la automatización del día a día es cada vez más recurrente en la vida diaria, y el auto autónomo promete ser uno de los grandes saltos que la tecnología está próxima a dar a nivel global. Los dispositivos del mercado actual son muy costosos para países en vías de desarrollo. Los precios de estos sistemas no son asequibles a todo el mundo y mucho menos para el sector educativo; el cual es sin duda, el futuro de un país. Por lo cual surge la necesidad de crear un sistema embebido que acerque a las personas a este tipo de tecnología, esto se pretende hacer a través del desarrollo tecnológico y una manufactura local que permitan reducir los costos finales del producto volviéndolo lo más asequible posible al público en general.

Palabras clave— Auto autónomo, Sistema embebido, redes neuronales.

I. INTRODUCTION

La educación actualmente en el país esta desactualizada y los jóvenes solo tienen al alcance tecnologías de años atrás lo cual hace que la tecnología se estanque y una de las causas que más aportan a esta problemática es la falta de recursos para acercar a los jóvenes las herramientas correctas para desarrollar sus aptitudes y habilidades para competir en el ámbito tecnológico global.

Vivimos en la era de mayor crecimiento tecnológico que empuja a aprender a una velocidad más rápida, aquellos que tienen más recursos son los que llevan la delantera, nuestra problemática comienza aquí. En un tema de aprendizaje únicamente de autos autónomos que de cierta forma aún no está constituido el desarrollo de estas tecnologías y la tendencia es que llegue a cubrir en un alto porcentaje de los autos que circulan en las calles. Para cuando esto pase tenemos que entender perfectamente el cómo funcionan estos dispositivos y que partes principales lo constituyen, el proyecto, como solución a la problemática se centra en abaratar los costos de un sistema ya existente y, por diseño y facilidad es modular.

El sistema embebido que se desarrollara cuenta con todos los componentes principales y necesarios en una sola tarjeta, la cual, ya esté trabajando únicamente recibiendo la alimentación e imágenes por medio de una cámara y esta, se encarga de procesar la

información, generar patrones y, tomar decisiones de acuerdo con lo que vea. Al mismo tiempo es la encargada de controlar el vehículo y dar retroalimentación al usuario del performance que el auto tiene y el cómo está reaccionando ante los eventos.

El procesamiento de la información se hará de acuerdo con la lógica de redes neuronales para la toma de decisiones.

II. ANTECEDENTES

1.1. Autos autónomos.

De manera general un vehículo autónomo representa un medio de transporte que puede prescindir del conductor para desempeñar su función principal. Esto, a través del uso de tecnologías computacionales, electrónicas, eléctricas y mecánicas que le permiten recrear la decisiones y reacciones que un conductor tendría ante eventos externos.

1.2. Redes neuronales.

Las redes neuronales son más que otra forma de emular ciertas características propias de los humanos, como la capacidad de memorizar y de asociar hechos. Si se examinan con atención aquellos problemas que no pueden expresarse a través de un algoritmo, se observará que todos ellos tienen una característica en común: la experiencia. El hombre es capaz de resolver estas situaciones acudiendo a la experiencia acumulada. Así, parece claro que una forma de aproximarse al problema consista en la construcción de sistemas que sean capaces de reproducir esta característica humana. En definitiva, las redes neuronales no son más que un modelo artificial y simplificado del cerebro humano, que es el ejemplo más perfecto del que disponemos para un sistema que es capaz de adquirir conocimiento a través de la experiencia. Una red neuronal es **“un nuevo sistema para el tratamiento de la información, cuya unidad básica de procesamiento está inspirada en la célula fundamental del sistema nervioso humano: la neurona”** [1. redes neuronales].

Las redes neuronales consisten de unidades de procesamiento que intercambian datos o información que se utilizan para reconocer patrones, incluyendo imágenes, manuscritos y secuencias de tiempo, así también, tienen la capacidad de aprender y mejorar su funcionamiento.

1.3. Sistemas de visión artificial.

Se puede denominar a la visión como el proceso de obtención, caracterización e interpretación de la información a partir de imágenes. En consecuencia, la visión artificial trata de emular este proceso mediante dispositivos eléctricos, electrónicos y sistemas computacionales como método de procesamiento.

A pesar de ser una definición breve. Tratar de simular este proceso biológico de manera artificial es arduo y complejo en ciertos aspectos, sin embargo, las ventajas que ofrece para el censado de eventos externos bien valen el trabajo implementado.

III. METODOLOGIA

La metodología para la planeación, diseño, producción y plan de mantenimiento está de acuerdo con la metodología PLM, la cual consta de 5 fases principales (Ver **Apéndice A**), las fases de esta metodología son secuenciadas y debe completarse una o al menos tener un avance significativo en la misma, para comenzar con la otra y, muchas veces el mismo grupo de responsables trabajan en varias fases del desarrollo del proyecto. Para asegurar la continuidad y secuencia del mismo se usan herramientas específicas para cada fase; al igual que requerimientos para ser alimentada.

En la etapa de Imaginación el objetivo es definir cuáles son los dispositivos modulares que se podrán integrar en el sistema embebido y que, se usara para reemplazar estos sistemas y mantener el mismo rendimiento, los requerimientos para iniciar son, el estudio de mercado con dispositivos que actualmente se encuentran en él y el cómo realizan su funcionamiento, pero solo para la aplicación requerida, con el objetivo de no desperdiciar recursos. En la etapa de definición se observaron los requerimientos de los dispositivos para cumplir con las tareas que ya está definidas como el análisis de datos y los tiempos de comunicación, en esta etapa se observa cuáles son los riesgos que se tendrán durante su producción y durante su uso en campo, así como las acciones para mitigar estos riesgos. En la etapa de realización se comienza con el desarrollo de la manufactura del producto y su proceso, para comenzar esto se requiere que la validación del diseño este completa y sea satisfactoria, en esta etapa se centra en la producción y en cómo cuidar y mantener controlado en el proceso; las características definidas como críticas en el diseño, así como el cumplir con la producción para abastecer la demanda prevista. La parte de soporte está enfocada en el seguimiento del producto y la

satisfacción los clientes, cuáles son los puntos de mejora en su producto y comenzar a desarrollar nuevas versiones. En el caso del software se actualizará la versión en todos los dispositivos sin costo, pero el caso de hardware solo se harán garantías si está dentro el periodo protegido como se planea en la última etapa retiro o disposición del producto.

PRODUCT LIFE TIME MANAGEMENT (Auto Autonomo)					
Objective and metrics	Define what devices could be embedded on one system to challenge the actual market	Define the best way to produce a product that could be assembled working with the less effort and the same performance	Process the product with the efficiency to satisfy the demand of the market	Track the product performance Support the product on field	The product will be tracked until the warranty ends
People	Management directors Design Marketing	NPD (Design, process, quality) Production		Marketing/Quality Continuous improvement	Service/Field Team
Methods	Problem solving Methods	DFMA IPMA	SPiRiNG	Hardware Support Software Support	Supplier Customer Collaboration
Facilities and equipment	Background/notes/blue prints/Design software	Tools for develop of Hardware & Software	Electronics assembly Mechanical assembly Electrical Assembly	Technical Support	Customer team
Other PLM applications	Reengineering Prototyping	Production plan/Systems/Prototyping	Manufacturing networks	Product with the customer	Customer's community
PDM applications	Problem to solve	CAD Design/3DML	CAM/PCB	POB	Customer's community
Product data	Desired work to do	Specifications	User manual/documentation CAD Design/ Software & Hardware Requirements	User Feedback	Data from the work done
Processes	Idea's / Benchmark	Specs/Work assessment	Product manufacturing	Follow Product Up	Product's status
Products	Sketch	Draft	Final Product		Product Replacement
Life cycle	Imagine	Design	Realize	Support / Use	Retire / Dispose
Rank by Phase	3.6	1.8	1.6	2.66666667	0

Apéndice A

La segunda metodología con la llamada metodología ágil es dividida en carreras (Sprints) que tienen como objetivo ir logrando pequeñas metas de desarrollo del producto prototipo en tiempo definido para no atrasarse en el cronograma general del proyecto, en cada uno de los Sprint se irán evaluando los riesgos identificados en cada uno de ellos.

Se manejarán Sprint por separado para el software (Ver **Apéndice B**) y hardware (Ver **Apéndice C**), aquí se englobarán los que suceden en el mismo tiempo

El primer sprint hace referencia a la planeación del desarrollo del producto como las variables de entrada y cuáles serán las variables de salida que arrojará el sistema, así como por medio de qué tipo de comunicación van a interactuar los diferentes componentes del sistema para, tener la velocidad de respuesta deseada.

En la siguiente etapa se comienzan a definir qué componentes son los que nos servirían para el desarrollo tales como procesador, sensores unidad de memoria etc., durante el segundo sprint se manejara la conceptualización del software definiendo los componentes que harán que el dispositivo se comuniquen entre si y con los periféricos; ya sea de entrada como la cámara y los sensores o de salida tales como, los motores de los neumáticos y el tablero. Aquí se comienza a ver el diseño del PCB para incorporar todos los componentes en una sola tarjeta, en el tercer sprint, se comienza a hacer la interacción del software con los componentes y se empieza a ver el procesamiento de señales y el cómo se entrenarán las redes neuronales encargadas de cada función, en el auto autónomo, en este sprint se comienza a ensamblar y el primer prototipo completo comienza a crearse. En el cuarto sprint se imprimen los prototipos en 3d y se ensambla con el PCB, comienza a conectarse y, el primer prototipo nace. El cual se tiene que seguir entrenando para evaluar los resultados teóricos antes propuestos, para el quinto y último sprint el hardware y software deben estar en un estado funcional para la depuración del prototipo en situaciones reales. Aquí los equipos de hardware y software ven como lo anteriormente es puesto a prueba y si es necesario hacer ajustes o rediseño se hacen en el transcurso de este sprint para cumplir con los objetivos del prototipo.

Agile Project Software Auto Autonomo											
Sprint 1			Sprint 2			Sprint 3			Sprint 4		
#	Descripción	Start Date	#	Descripción	Start Date	#	Descripción	Start Date	#	Descripción	Start Date
1	Conceptualización software control	01/01/2021	1	Revisión de requisitos	01/01/2021	1	Revisión de requisitos	01/01/2021	1	Revisión de requisitos	01/01/2021
2	Conceptualización software control	01/01/2021	2	Revisión de requisitos	01/01/2021	2	Revisión de requisitos	01/01/2021	2	Revisión de requisitos	01/01/2021
3	Definición de variables de salida	01/01/2021	3	Revisión de requisitos	01/01/2021	3	Revisión de requisitos	01/01/2021	3	Revisión de requisitos	01/01/2021
4	Definición de variables de salida	01/01/2021	4	Revisión de requisitos	01/01/2021	4	Revisión de requisitos	01/01/2021	4	Revisión de requisitos	01/01/2021
5	Definición de variables de salida	01/01/2021	5	Revisión de requisitos	01/01/2021	5	Revisión de requisitos	01/01/2021	5	Revisión de requisitos	01/01/2021
6	Definición de variables de salida	01/01/2021	6	Revisión de requisitos	01/01/2021	6	Revisión de requisitos	01/01/2021	6	Revisión de requisitos	01/01/2021
7	Definición de variables de salida	01/01/2021	7	Revisión de requisitos	01/01/2021	7	Revisión de requisitos	01/01/2021	7	Revisión de requisitos	01/01/2021
8	Definición de variables de salida	01/01/2021	8	Revisión de requisitos	01/01/2021	8	Revisión de requisitos	01/01/2021	8	Revisión de requisitos	01/01/2021
9	Definición de variables de salida	01/01/2021	9	Revisión de requisitos	01/01/2021	9	Revisión de requisitos	01/01/2021	9	Revisión de requisitos	01/01/2021
10	Definición de variables de salida	01/01/2021	10	Revisión de requisitos	01/01/2021	10	Revisión de requisitos	01/01/2021	10	Revisión de requisitos	01/01/2021
11	Definición de variables de salida	01/01/2021	11	Revisión de requisitos	01/01/2021	11	Revisión de requisitos	01/01/2021	11	Revisión de requisitos	01/01/2021
12	Definición de variables de salida	01/01/2021	12	Revisión de requisitos	01/01/2021	12	Revisión de requisitos	01/01/2021	12	Revisión de requisitos	01/01/2021
13	Definición de variables de salida	01/01/2021	13	Revisión de requisitos	01/01/2021	13	Revisión de requisitos	01/01/2021	13	Revisión de requisitos	01/01/2021
14	Definición de variables de salida	01/01/2021	14	Revisión de requisitos	01/01/2021	14	Revisión de requisitos	01/01/2021	14	Revisión de requisitos	01/01/2021
15	Definición de variables de salida	01/01/2021	15	Revisión de requisitos	01/01/2021	15	Revisión de requisitos	01/01/2021	15	Revisión de requisitos	01/01/2021
16	Definición de variables de salida	01/01/2021	16	Revisión de requisitos	01/01/2021	16	Revisión de requisitos	01/01/2021	16	Revisión de requisitos	01/01/2021
17	Definición de variables de salida	01/01/2021	17	Revisión de requisitos	01/01/2021	17	Revisión de requisitos	01/01/2021	17	Revisión de requisitos	01/01/2021
18	Definición de variables de salida	01/01/2021	18	Revisión de requisitos	01/01/2021	18	Revisión de requisitos	01/01/2021	18	Revisión de requisitos	01/01/2021
19	Definición de variables de salida	01/01/2021	19	Revisión de requisitos	01/01/2021	19	Revisión de requisitos	01/01/2021	19	Revisión de requisitos	01/01/2021
20	Definición de variables de salida	01/01/2021	20	Revisión de requisitos	01/01/2021	20	Revisión de requisitos	01/01/2021	20	Revisión de requisitos	01/01/2021
21	Definición de variables de salida	01/01/2021	21	Revisión de requisitos	01/01/2021	21	Revisión de requisitos	01/01/2021	21	Revisión de requisitos	01/01/2021
22	Definición de variables de salida	01/01/2021	22	Revisión de requisitos	01/01/2021	22	Revisión de requisitos	01/01/2021	22	Revisión de requisitos	01/01/2021
23	Definición de variables de salida	01/01/2021	23	Revisión de requisitos	01/01/2021	23	Revisión de requisitos	01/01/2021	23	Revisión de requisitos	01/01/2021
24	Definición de variables de salida	01/01/2021	24	Revisión de requisitos	01/01/2021	24	Revisión de requisitos	01/01/2021	24	Revisión de requisitos	01/01/2021
25	Definición de variables de salida	01/01/2021	25	Revisión de requisitos	01/01/2021	25	Revisión de requisitos	01/01/2021	25	Revisión de requisitos	01/01/2021
26	Definición de variables de salida	01/01/2021	26	Revisión de requisitos	01/01/2021	26	Revisión de requisitos	01/01/2021	26	Revisión de requisitos	01/01/2021
27	Definición de variables de salida	01/01/2021	27	Revisión de requisitos	01/01/2021	27	Revisión de requisitos	01/01/2021	27	Revisión de requisitos	01/01/2021
28	Definición de variables de salida	01/01/2021	28	Revisión de requisitos	01/01/2021	28	Revisión de requisitos	01/01/2021	28	Revisión de requisitos	01/01/2021
29	Definición de variables de salida	01/01/2021	29	Revisión de requisitos	01/01/2021	29	Revisión de requisitos	01/01/2021	29	Revisión de requisitos	01/01/2021
30	Definición de variables de salida	01/01/2021	30	Revisión de requisitos	01/01/2021	30	Revisión de requisitos	01/01/2021	30	Revisión de requisitos	01/01/2021

Apéndice B

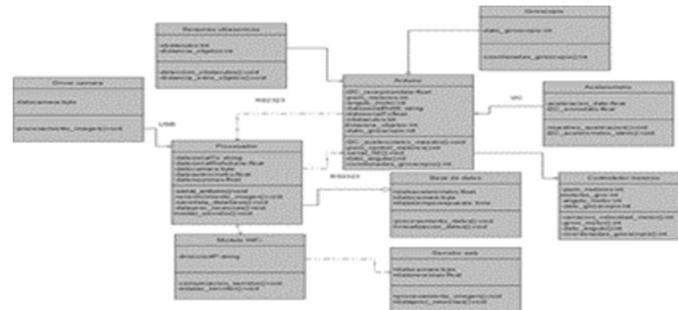
Apéndice C

Como primer paso se requiere saber que necesitamos diseñar o implementar, es decir se debe hacer un diseño a manera general de cuáles son las necesidades del producto, que es lo que debe de hacer, que es lo que no debe de hacer. Para esto como primer paso se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del vehículo (apéndice D), ¿qué buscamos? de manera general, ¿qué es lo que se pretende lograr?, ¿qué vamos a necesitar? de tal manera que al responder estas preguntas se pueda enlistar todos los pasos de manera concreta. Es necesario conocer más a detalle lo que se desea lograr, para lo cual se hace uso de un estudio de caso, en el cual mediante una lluvia de ideas se determinó todo lo que se va a ocupar tanto a nivel hardware como software. Es decir, a nivel software que requerimientos existen en la programación para que cumpla con las necesidades del producto y con qué método de programación las realizaremos, y a nivel hardware que vamos a necesitar para que anidado al software se cumplan los requerimientos establecidos, en base a lo establecido como software con que componentes físicos se lograran los objetivos, así como el diseño de la parte estética del vehículo, el modelado CAD, los materiales, entre otros (apéndice E)

Apéndice D

Apéndice E

Una vez determinado lo que se desea en el producto, se realizó el diseño en base a los requerimientos, y de una manera más técnica se logró integrar el sistema. En el caso del vehículo autónomo a escala se necesita que basados en los sensores de presencia detecte obstáculos y los esquive. Por medio de un sistema de visión detecte el tipo de camino y en base a programación con inteligencia artificial tome las decisiones de manera correcta y rápida, esto con el fin de evitar algún inconveniente, para esto se diseña un modelado de sistema con cada parte del vehículo y que componentes van ligados para que funcione el vehículo correctamente (ver apéndice F).



Apéndice F

El producto ocupará de una comunicación I2C mediante el acelerómetro-giroscopio y el Arduino, el cual va a estar conectado mediante una comunicación RS232 a un microprocesador, que es el que va a tener la programación de las redes neuronales, que en base a un sistema de visión va a determinar la mejor opción de desplazamiento, este a su vez le va a comunicar al procesador de giro hacia donde hay que mover los motores y si hay que disminuir la velocidad o aumentar. Toda la información que se obtenga durante el manejo del vehículo se tendrá que almacenar en una base de datos la cual nos dará pauta para poder mejorar el vehículo en base al análisis de datos, logrando un mejor entrenamiento de neuronal, entre otras cosas. También se contará con sensores ultrasónicos que ayuden al sistema de visión en caso de encontrar un obstáculo lo detecten y lo esquive de manera correcta.

Una vez realizado un modelado del sistema, se requiere buscar de manera más técnica que otras necesidades presenta el producto.

Con base en los requerimientos que se necesitan para realizar este proyecto, se debe buscar información la cual satisfaga las necesidades que requiere el dispositivo, tal es el caso de los requerimientos técnicos, de integración, portabilidad y mantenibilidad (ver apéndice G).

Al recopilar toda esta información resulta más fácil ver que es lo que se ocupa realmente para desarrollar el producto, y desechar todos aquellos requerimientos no necesarios, en este caso se requiere ser muy específicos sobre lo que se necesita, ya que es un proyecto que requiere ser muy precisos, ya que es un vehículo que se maneje de manera autónoma, aunque es a escala, se necesita que su funcionamiento sea el más óptimo.

Se requiere de dar a conocer también que tipos de mantenimientos se necesitan para que su operatividad se mantenga por el mayor tiempo posible, como lo es protección de software para que no cualquiera lo pueda modificar, que tipo de menús en el software debe de tener, manejar ciertos lenguajes para que diferentes tipos de personas lo puedan utilizar. Todo esto es necesario antes de hacer pruebas de funcionamiento o de producir de manera masiva, se debe tener bien claro que se va a necesitar para diseñarlo, pero también que tipo de medidas se ocupan para un buen funcionamiento.

Operation Requirements
Technical environment requirements *El sistema tendra conexión internet para que el usuario pueda ver en tiempo real los movimientos del automovil y ver que esta funcionando de manera correcta por medio de un sistema que se conecte a una red wifi. *Los movimientos del automovil se podran observar en tiempo real por medio de una pagina web. *Los datos obtenidos por el automovil autonomo se guardaran en una base de datos para su analisis y mejora en el funcionamiento del vehiculo. *El sistema funcionara con la arquitectura servidor-cliente, ya que los datos obtenidos en el automovil se almacenaran en una base de datos de una computadora para su analisis posterior.
Performance requirements *Los datos obtenidos durante el funcionamiento del automovil se podra importar a un excel por si se requiere algun analisis. *Por medio de un microprocesador se usara la camara para observar en tiempo real los movimientos del automovil y posteriormente se mandara via internet los datos obtenidos a una computadora y esta los almacenara en una base de datos. *Mediante la programacion de un microprocesador por medio de inteligencia artificial, el automovil esquivara obstaculos y detectara curvas en el camino y los datos se enviarian en tiempo real. *Los datos obtenidos serviran para interactuar con la programacion del microprocesador y aplicar mejoras si es que exista la oportunidad.
Portability requirements *La base de datos debe de ser compatible con sistema windows
Maintainability requirements *Cada tres meses se evaluaran los datos y ver que mejoras se pueden hacer al automovil. *Cada tres meses con las mejoras implementadas los datos guardados en la base de datos se deberan de borrar para poder evaluar nuevos datos obtenidos por los siguientes tres meses. *Cada año se dara mantenimiento preventivo al sistema de comunicacion entre el vehiculo y la computadora con el fin de que no se presenten fallas tan recurrentes durante las pruebas

Apéndice G

Se requiere saber qué tipo de software vamos a usar. Hoy en día debido a la gran cantidad que existen tanto de código abierto como de pago se necesita buscar el más optimo a las necesidades del producto como tal. Se necesita saber para qué plataformas va a ser compatible el producto, que capacidad en la base de datos es necesaria en base a la información que se va a obtener, que tipo de interacción entre el humano y el dispositivo es el más optimo, así como las comunicaciones del producto (apéndice H).

Arquitectura de Hardware				
	Standard Client	Standar Web Server	Standar Application Server	Standard Database Server
Operating System	Linux	Linux	Linux	Linux
Special Software	*GPS *Ruta *Audio *parametros de conducción. *información del vehiculo *información de seguridad	SocketCAN	Linux	SQL
Hardware	pantalla tactil celular android/iOS Llave presencial	250 GB hard disk 4 gb ram GPU procesado i5 en adelante Conector OBDII Cloud Web Services	250 GB hard disk 4 gb ram procesado i5 en adelante Conector OBDII Cloud Web Services	1 TB Conector OBDII
Network	Bluetooth 4g en adelante	Protocolo de comunicación CAN	Protocolo de comunicación CAN	Protocolo de comunicación CAN

Apéndice H

Ahora en este punto se necesita saber qué tipo de materiales en específico se van a emplear en el producto, y como se tiene que juntar tanto la parte de software como hardware de tal manera que tenga un resultado optimo y cumpla con las necesidades que se están buscando.

Para poder encontrar las mejores opciones se hizo uso del modelado UML (apéndice F), ya que se define el comportamiento del producto, con base a qué tipo de componentes va a funcionar y cómo van a interactuar entre ellos, por medio de esto se define que herramientas son necesarias para realizar el proyecto, debido a que no se puede establecer sin una idea plasmada anteriormente, que tipo de componentes vamos a necesitar.

Después de tener definido que se va a ocupar para el producto, se necesita de hacer cierto tipo de pruebas que determinen si se cumplen con los objetivos del producto, se debe de separar por partes las pruebas, como componentes y como ensambles, esto asegura que todas las partes en general funcionan de manera correcta, tanto las comunicaciones de los componentes, funcionamiento de sensores, programación de neuronas, base de datos, servidores.

Para poder validar el producto nos basaremos en un plan que en base a las etapas de funcionamiento del vehículo se verificara que todo funciona de manera correcta.

El plan se separa en varias etapas, como primera etapa están las pruebas de unidad (ver apéndice I), que verifica cada componente por separado, como lo es la programación del sistema, las comunicaciones, y los componentes, la cámara que no presenten algún desperfecto, lo cual es muy importante, ya que antes de integrar los componentes primero se verifica uno por uno que no exista alguna falla, ya que si se presentara alguna, habría la necesidad de desmontar todo el equipo para remplazarla.

Plan de validación Auto Autónomo				
Stage	Types of test	Test Case Scenario	Test Case Scenario	Notes
Unit testing	Black Box	Variables de salida de los sensores y de entrada para al PCB	Comunicación software-hardware	Ingresar las cambios conocidos en los sensores y observar que cambios refleja el hardware
	White Box	Variables de salida de los sensores y de entrada para al PCB	Comunicación software-hardware	El software ingresa captura la variable, comprueba el tipo de variable y determina si es válido en base a sus necesidades
	White Box	Los sensores cambian en consecuencia de un cambio en la variable a medir	Comunicación software-hardware	Cada uno de los sensores es estimulado y se observa el cambio en sus señales de salida, debe concordar con las especificaciones del diseñador o fabricante
	Black Box	Recibe variables, valida, procesa y, entrega variables	Clase Arduino Nano	El software recibe las señales de entrada las procesa y actúa en consecuencia, bajo determinadas circunstancias y con salidas previamente propuestas
	Black Box	Recibe variables, valida, procesa y, entrega variables	Clase IMU	El software recibe las señales de entrada las procesa y actúa en consecuencia, bajo determinadas circunstancias y con salidas previamente propuestas
	Black Box	Recibe variables, valida, procesa y, entrega variables	Clase Camara	El software recibe las señales de entrada las procesa y actúa en consecuencia, bajo determinadas circunstancias y con salidas previamente propuestas
	Black Box	Recibe variables, valida, procesa y, entrega variables	Clase USB	El software recibe las señales de entrada las procesa y actúa en consecuencia, bajo determinadas circunstancias y con salidas previamente propuestas
	Black Box	Recibe variables, valida, procesa y, entrega variables	Clase USB to Serial Port	El software recibe las señales de entrada las procesa y actúa en consecuencia, bajo determinadas circunstancias y con salidas previamente propuestas
	White Box	Las variables son transmitidas con efectividad	protocolo de comunicación	Ante una determinada señal enviada se verifica el procesamiento y correcta recepción de la señal
	Black Box	Entabla una comunicación externa	Comunicación externa	Realiza una comunicación efectiva por medio del dispositivo Yubi

Apéndice I

Una vez hecha la comprobación de funcionamiento para cada componente, ahora se integra un plan de validación de integración (Apéndice J).

Plan de validación Auto Autónomo				
Stage	Types of test	Test Case Scenario	Test Case Scenario	Notes
Integration Testing	Unit Integration Testing	Requisitos de los sensores	Comunicación externa	Revisar los requisitos de los sensores y verificar que se cumplan
		Requisitos de la cámara	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la cámara y verificar que se cumplan
		Requisitos de la batería	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la batería y verificar que se cumplan
		Requisitos de la unidad de procesamiento	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la unidad de procesamiento y verificar que se cumplan
	Unit System Testing	Requisitos de la cámara	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la cámara y verificar que se cumplan
		Requisitos de la batería	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la batería y verificar que se cumplan
		Requisitos de la unidad de procesamiento	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la unidad de procesamiento y verificar que se cumplan
		Requisitos de la cámara	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la cámara y verificar que se cumplan
System Testing	Security Testing	Requisitos de la cámara	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la cámara y verificar que se cumplan
		Requisitos de la batería	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la batería y verificar que se cumplan
	Performance Testing	Requisitos de la cámara	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la cámara y verificar que se cumplan
		Requisitos de la batería	Comunicación externa	Revisar los requisitos de la batería y verificar que se cumplan

Apéndice J

En esta sección se analiza que ya toda la integración en cuanto al funcionamiento del vehículo funcione de manera correcta, es decir que tanto su programación de las neuronas, la cámara y los sensores utilizados ya en conjunto realicen la tarea esperada, como lo es que detecten obstáculos en el camino en el cual se ponen a prueba y los evada o que si se llegara a presentar una curva, por medio de la programación de las neuronas, pueda reaccionar de manera oportuna y no se salga de la pista, también se necesita comprobar que ciertas variables como lo son la aceleración del vehículo, el frenado o el giro cambien su valor con respecto a la trayectoria. Supóngase que el vehículo se encuentra en una línea recta a una velocidad constante, este valor al encontrarse el vehículo en una curva tiene que disminuir para que haga la maniobra de manera correcta, así como también el sistema de frenado debe de entrar en acción al detectar esta situación, y el giro, para saber cuánto tiene que girar para poder seguir su trayecto y evitar perder la curva.

Después se continua con la validación a nivel sistema, lo cual tiene como objetivo validar el diseño CAD del vehículo, el diseño de la tablilla PCB (Printed Circuit Board), que es la que contiene la etapa de control y de potencia y la batería que es la que alimentara al circuito (Apéndice K).

Plan de validación Auto Autónomo				
Stage	Types of test	Test Case Scenario	Test Case Scenario	Notes
System Testing	Requirements Testing	Requisitos del PCB	Propuesta PCB	El PCB cumple con los requerimientos necesarios para lograr integrar todos los componentes dentro de una sola placa.
		Chasis	Diseño CAD	El chasis cumple con las características necesarias para soportar a cada uno de los componentes de cada uno de los sensores seleccionados de cada uno de los sensores seleccionados.
		Requisitos de la cámara	Neuronas artificiales	El diseño al menos en simulaciones resulta tener una buena fidelidad a través del tiempo y bajo distintas condiciones de uso.
		Requisitos de la batería	Diseño PCB	La unidad de carga en su etapa de carga cumple con las necesidades de todos los componentes del vehículo así como del funcionamiento.
	Usability Testing	Diseño de la unidad de procesamiento	Diseño PCB	La etapa de potencia está correctamente implementada y permite una correcta disposición del cable.
		Chasis	Propuesta de chasis	Cumple con las regulaciones de seguridad vialidad al momento de su creación.
		Batería	Peligros para el usuario	Bajo ninguna circunstancia posible la batería debe representar un peligro para el usuario o el medio ambiente.
		Requisitos de la cámara	Neuronas artificiales	Las neuronas reaccionan de manera segura y adecuada ante cualquier situación del camino.
Performance Testing	Security Testing	Chasis	Impresión Chasis	Cumple con ser la solución ideal para el vehículo integrando peso, estabilidad, o cualquier otra variable no deseada.
		Batería	Unidad de procesamiento energético	Es la opción que ofrece una mayor autonomía para el funcionamiento del vehículo.
	Performance Testing	Potencia	etapa de potencia	Es capaz de cumplir con los requerimientos de potencia del automóvil independientemente de los distintos tipos de conducción.
		Requisitos de la cámara	Neuronas artificiales	La red neuronal reacciona de manera adecuada ante casos de conducción que no han sido específicamente programados.

Apéndice K

Una vez comprobado que el sistema a nivel funcionamiento reacciona de manera correcta, ahora se debe valorar que cumplan con ciertos estándares de calidad, como lo es la fiabilidad, esto quiere decir que por ejemplo el diseño de la PCB sea resistente y que con el paso del tiempo siga teniendo el mismo rendimiento, o que la PCB contenga todos los elementos necesarios tanto la etapa de control y potencia en una sola tablilla, que el diseño del casis cumpla con requerimientos de seguridad del vehículo y análisis de movilidad, que la batería alimente a todo el circuito de manera correcta, es decir que tenga la capacidad suficiente y la mayor autonomía posible. En esta parte lo que se requiere es que todos los diseños tanto a nivel electrónico, eléctrico, de programación o el diseño de partes para el vehículo cumplan con ciertos estándares de funcionamiento y seguridad.

Como siguiente paso en la validación, se debe comprobar que el vehículo ya ensamblado tanto las piezas mecánicas como eléctricas-electrónicas en un solo producto, funcionen de manera correcta, es decir se vuelve a probar bajo un funcionamiento integral, es decir un buen manejo del mismo y también recopile información y la almacene en una base de datos con el fin de seguir mejorando su funcionamiento (apéndice L).

Plan de validación Auto Autonomo				
Stage	Types of test	Test Plan Source	Etapas de uso	Notes
Acceptance testing	Alpha Testing	circunstancias de manejo semicontroladas	pre-lanzamiento	Bajo circunstancias de manejo semi controladas y ante situaciones planificadas la reaccion del vehiculo es correcta en cada uno de los aspectos. Asi tambien se proponen circunstancias de manejo que no han sido previamente programadas y se determina el grado de aceptación para la reacción del vehiculo
	Beta testing	Circunstancias de manejo real	pre-lanzamiento	Bajo circunstancias de manejo reales pero, controladas desde el punto de vista de seguridad el vehiculo logra transportarse y transportar usuarios entre distintos destinos dentro de una ciudad real, generando información que pueda ser utilizada por el mismo para estar en constante mejora de su rendimiento .

Apéndice L

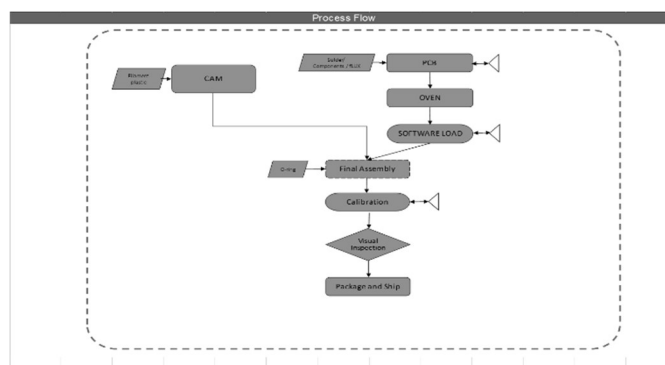
Una vez que toda prueba se realizó de manera correcta, ahora se debe de liberar el producto bajo cierta documentación de calidad, y normativas aplicables, así como bajo requerimientos que el cliente pide para una mayor fiabilidad del producto (Apéndice M).

Release of the product				
	What?	When?	According to	Deliverable
Quality Control Points	Probar comunicaciones digitales	Durante el ensamble en la prueba de funcion final	IEEE 802	Graba en el numero de serie el resultado de la comunicacion y se puede revisar, es una prueba que se tiene que pasar para liberar el producto de produccion
	Prueba de Performance	Durante el proceso en el ensamble de el producto	Requerimientos especificos de cliente	Requerimiento de proceso para liberar el producto se anexa resultado de la prueba en el reporte de liberacion
	Compatibilidad electromagnetica	En el DV para la validacion de diseño		Registro un laboratorio certificado de la acreditacion de la prueba
	Prueba libre de plomo	Durante el proceso en el ensamble de el producto	RoHS (Restriction of Hazardous Substances) or a European Union directive that restricts the use of lead, mercury, cadmium, chromium	Requerimiento de proceso para liberar el producto se anexa resultado de la prueba en el reporte de liberacion
	Seguridad	En el DV para la validacion de diseño	NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-2018, Aparatos electrónicos- Requisitos de seguridad y metodos de prueba	Registro un laboratorio certificado de la acreditacion de la prueba
	Prueba ESD	En el DV para la validacion de diseño	IEEE 1999-2018	Registro un laboratorio certificado de la acreditacion de la prueba
Determine Records	Prueba	Durante el ensamble en la prueba de funcion final	IEEE VLP 589 403.2(B)	Graba en el numero de serie el
	Paquete de PPAP	Al final de la validacion del proceso	Segun las normas del APQP para la industria automotriz (AAQ)	PSW firmado por el cliente auto motriz

Apéndice M

De manera concreta se trata de cumplir con ciertos puntos que piden normas ya establecidas tanto a nivel nacional como internacional con la finalidad de poder comercializar el producto y poder montar una línea de producción, Para manufacturar a gran escala se necesita el producto cumpla con estas normas, teniendo un registro que demuestre la seguridad del vehículo y tenga validez ante posibles auditorias corroborando la calidad del producto permitiendo se pueda manufacturar de manera serial.

Una vez cumplidos estos pasos ahora lo que se requiere es armar un flujo de una línea de producción, es decir como va a estar conformada, que puntos de calidad se deben de verificar, en otras palabras, se trata de definir los procesos en lo que estará manufacturando el producto, desde lo electrónico, las partes plásticas del vehículo hasta su ensamble final (ver apéndice O).



Apéndice O

En este flujo se separa la manufactura del vehículo en la parte del PCB que es la integración de los componentes en la tablilla y el soldado automático de las piezas, que en todo momento debe de existir ciertos puntos de calidad que hay que evaluar, después se pasa a la parte de secado, que es el proceso por el cual se logra secar la soldadura de manera más rápida, esto para evitar algún tipo de desperfecto en el PCB. Después se pasa la tablilla a una parte donde se carga el software del producto, una vez cargado el programa en la línea de ensamble llegan las piezas de la línea CAM junto con la tablilla ya programada. Para el ensamble final del producto, el cual una vez estén todos sus componentes integrados, se realizarán las pruebas de funcionamiento, esto para verificar que no exista problema alguno al momento de que el vehículo esté funcionando, de manera más concreta el dispositivo se prueba en una pista bajo circunstancias planeadas y controladas, el vehículo debe detectar los diferentes caminos que existan y reaccionar de manera oportuna y sin problema alguno a estos.

Por último, una vez que se hayan cumplido con estos puntos de funcionamiento, se deberá de empaquetar el vehículo para su transporte, con respecto a las especificaciones del cliente, ya que cada cliente establecerá que tipo de empaque es el adecuado para que el vehículo no sufra algún daño durante su traslado.

Para que el personal que este laborando dentro de la línea de producción tenga en mente de que es lo que debe de hacer, se establecerá un plan de control con ciertos puntos a evaluar durante cada proceso (ver apéndice P y Q).

Control Plan									
Prototipo	Revisión	Producción	Contacto/Teléfono: 448			Fecha: 01-14-05		Fecha rev: 14-05-05	
Número de control plan/Revisión: 0001			Equipo de trabajo: M01			Aprobación de Ingeniería:			
Descripción del producto: Auto Autónomo			Fecha de aprobación: 14 de dic			Aprobación de calidad:			
Planta: Inotec		Código de proveedor:		Otras aprobaciones:			Otras aprobaciones:		
Número del proceso/item	Nombre del proceso	Máquina, HS, Manual/otro	Consecuencia			Muestra		Método de control	Plan de reacción
			Número	Proceder	Procesos	Proceso Inspección	Frecuencia		
PCB10/1	Flux solder	Soldadora automática	10	Flux electrónica	Flux reacciona en la placa	Visual	Todas las piezas	100%	En caso de no cumplir para la siguiente y evaluar al supervisor de producción
PCB10/2	Flux solder	Soldadora automática	10	Flux electrónica	Inspeccionar que no se presenten juntas de soldadura	Visual	Todas las piezas	100%	En caso de no cumplir para la siguiente y evaluar al supervisor de producción
PCB10/3	Flux solder	Soldadora automática	10	Flux electrónica	Inspeccionar que no existan puentes de soldadura	Visual	Todas las piezas	100%	En caso de no cumplir para la siguiente y evaluar al supervisor de producción
PCB10/4	PCB check 200%	Mesa de inspección 100%	10	Flux electrónica	Verificar que la soldadura este aplicada correctamente	Visual	Todas las piezas	100%	En caso de no cumplir para la siguiente y evaluar al supervisor de producción

Apéndice P

Control Plan										
Proyecto: <u>XXXXXXXX</u>	Relacionados: <u></u>	Producción: <u></u>	Contacto/telefono: 449			Fecha orig: 14 de dic.		Fecha rev: 14 de dic.		
Número de control plan/revision: 0001			Equipo de trabajo: MSE			Aprobación de Ingeniería:				
Descripción del producto: Auto Autónomo			Fecha de aprobación: 14 de dic.			Aprobación de Calidad:				
Planta: Infotec			Otras aprobaciones:			Otras aprobaciones:				
Número del proceso/Item	Nombre del proceso	Máquina, JIG, Herramienta	Características			Métodos			Plan de reacción	
			Número	Producto	Proceso	Proceso Inspección	Muestra Tamaño	Frecuencia		Método de control
CAM-AA-01	Código Q/M	Computadora	3D	Código G para impresora 3D	Programación en código G	Compilación & simulación	Todo el programa	100%	Simulación	El equipo de manufactura debe corregir y entregar un producto funcional.
CAM-AA-02	Puesta a punto	Impresora 3D	11	Calibración correcta de la máquina CNC	Inspección visual de uno de los puntos críticos de la máquina	Visual	Máquina 3D	100%	Checklist puntos de control	En caso de haberse agotado los parámetros de supervisión de producción.
CAM-AA-03	Encendido y calibración	Impresora 3D	1C	Máquina en condiciones de trabajo	Inspeccionar que la impresora este en temperatura y posición correcta	Visual	Máquina 3D	100%	Checklist puntos de control	En caso de no cumplir se va a reemplazar y volver al supervisor de producción.
CAM-AA-04	programa	Impresora 3D	3P	Compilación sin errores	Compilación de programa previamente a cargado	Compilador interno	Programa entero.	100%	Resultado de compilación	En caso de no cumplir para la operación y volver al supervisor de producción.

Apéndice Q

En el plan de control se establecen ciertos puntos a evaluar. Así como criterios de aceptación del producto. En base a inspecciones visuales o por medio de poka yokes (sistemas con una sola forma de ensamble) que detecten si un producto no cumple con ciertos requerimientos de calidad. Así también el plan de control muestra criterios de calibración para las maquinas, como lo son parámetros de soldadura, temperatura del horno de secado, entre otros. Esto con el fin de que la maquinaria también funcione de manera óptima en todo momento. De igual forma dentro del mismo plan de control se establece que hacer en caso de encontrar una anomalía. Si se debe escalar el problema a un supervisor o que el mismo personal operativo realice la acción de corrección, así como determinar si el personal de ingeniería o mantenimiento son los responsables de corregir el error presentado. Este tipo de documentación es importante por dos razones: en primera porque establece que puntos de calidad se deberán evaluar y el rol que tiene cada departamento involucrado ante un problema de la maquina o el producto.

V. CONCLUSIONES

Resulta de especial interés para los países en vías de desarrollo generar las condiciones adecuadas para que los jóvenes puedan tener un acercamiento a la tecnología de vanguardia que, en conjunto con conocimientos solidos en áreas técnicas permitan volver a estos lugares generadores de tecnologías propias y no solo espectadores y consumidores de desarrollos internacionales.

Si bien este documento no pretende ser una guía específica para que cualquiera que lo lea pueda desarrollar un vehículo autónomo a escala, si se muestra como análisis que permite crear este tipo dispositivos en un mercado local.

Como se puede observar en cada una de las fases mostradas en la etapa de resultados, las condiciones necesarias para llevar a cabo una producción en serie de este tipo de vehículos, no son para nada algo que se encuentre fuera de la región, por el contrario, se sugiere como una oportunidad invaluable para la misma.

De manera puntual se podría citar la etapa de producción donde sin duda existe una buena cantidad de personal calificado que puede llevar este proceso de la manera más profesional posible, esto debido a la gran cantidad de experiencia que el país tiene en procesos de manufactura volviendo esta tarea, algo en lo que no solo se puede tener un resultado idóneo, si no crear procesos de fabricación que sirvan como referencias para otros.

Así también; en el diseño de circuitos impresos se puede echar mano del personal calificado que se encuentra a lo largo de tan diversas instituciones educativas de renombre; permitiendo crear un circuito integrado que evite el uso de tecnologías externas y al tiempo tenga la accesibilidad para funcionar bajo estándares y lenguajes internacionales. Permitiendo que el alcance del proyecto solo se vea limitado por el interés de la comunidad mundial.

Por ultimo y de manera muy importante es válido señalar la amplia cantidad de oportunidades que ofrece a nivel software este tipo de dispositivos que, no tan solo permiten a los interesados en crear y desarrollar tecnologías para la automatización de procesos poner a pruebas sus ideas, sino que, igualmente ofrece la oportunidad de observa de manera practica distintas metodologías para el desarrollo de un proyecto sirviendo como referencia para trabajos de su propia autoria o necesidades de la industria.

No se puede observar este documento como una planeación definitiva en el desarrollo de un vehículo autónomo a escala, si no más bien como punto de partida bastante alentador para desarrollar este de tipo de tecnología, y también como un sistema de ordenamiento de actividades y productos por etapas. Que de manera muy clara da entender que este tipo de tecnología realmente se puede desarrollar y lograr que de manera practica se pueda contribuir en la creación de dispositivos de vanguardia.

REFERENCIAS.

- [1] *redes neuronales: conceptos básicos y aplicaciones*, Carlos Alberto Ruíz, Marta Susana Basualdo.