

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD  
ELECTROMAGNÉTICA EN UN AUTO ELÉCTRICO**

**QUE PARA OBTENER TÍTULO DE:  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTA:**

**C. MARTÍNEZ JUÁREZ YARETZI**

**DIRECTOR**

**DR. MARIO IBAÑEZ OLVERA**

**ASESOR**

**DR. JUAN NABOR BALDERAS GUTIÉRREZ**

Tianguistenco de Galeana, Estado de México

# ÍNDICE

I.	DEDICATORIA.....	7
II.	AGRADECIMIENTOS .....	8
III.	RESUMEN.....	9
IV.	ABSTRACT.....	10
VI.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
VII.	JUSTIFICACIÓN .....	14
	Objetivo general .....	15
	Objetivos específicos .....	15
	<b>CAPÍTULO I GENERALIDADES .....</b>	<b>16</b>
1.1	Campo magnético .....	16
1.1.1	Tipos de campo magnético .....	17
1.2.1	Intensidad del campo eléctrico .....	19
1.3	Interferencias electromagnéticas.....	22
1.4	Compatibilidad electromagnética.....	24
1.5	Autos eléctricos.....	26
1.5.1	Elementos de un auto eléctrico .....	27

1.5.2 Tipos de autos eléctricos .....	27
1.5.3 Ventajas de los autos eléctricos .....	28
1.6 Interferencias electromagnéticas en autos eléctricos .....	28
1.7 Campo magnético en autos eléctricos .....	29
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN UN AUTO ELÉCTRICO. ....</b>	<b>48</b>
<b>2. CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>figura 1. Carga de un campo eléctrico .....</i>	<i>19</i>
<i>figura 2. Interferencias electromagnéticas .....</i>	<i>23</i>
<i>figura 3. Árbol de estructura.....</i>	<i>31</i>
<i>figura 4. Dibujo asistido por computadora (cad) .....</i>	<i>32</i>
<i>figura 5. Parámetros del dominio .....</i>	<i>33</i>
<i>figura 6. Cad. Con el dominio.....</i>	<i>34</i>
<i>figura 7. Datos de la creación de la onda plana.....</i>	<i>35</i>
<i>figura 8. Fuente de onda en el auto .....</i>	<i>36</i>

figura 9. Conductor eléctrico .....	38
figura 10. Importación de cables .....	39
figura 11. Inductancia .....	40
figura 12. Tensión de corriente .....	42
figura 13. Sonda .....	43
figura 14. Sonda de corriente .....	44
figura 15. Ubicación de la sonda de corriente .....	45
figura 16. Onda gaussiana .....	46
figura 17. Aplicación de la malla .....	47
figura 18. Onda gaussiana e interferencias .....	49

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ecuación 1. Fuerza eléctrica sobre una carga .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 2. Fuerza electrica en campo electrico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 3. Ley de coulomb .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 4. Campo eléctrico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 5. Primera ley de maxwell .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 6. Segunda ley de maxwell .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 7. Tercera ley de maxwell .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ecuación 8. Cuarta ley de maxwell .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

tabla 1. Materiales .....	37
---------------------------	----

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<i>grafica 1. Voltaje en el cable</i> .....	50
<i>grafica 2. Sonda de corriente</i> .....	51
<i>grafica 3. Sonda de corriente masiva</i> .....	52

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y VARIABLES

$\beta$ = inducción magnética.

Da= derivada del área.

Dl= derivada de longitud.

$d\phi_{\beta}$ = derivada del flujo del campo magnético.

$d\phi_E$ = derivada del flujo de campo eléctrico.

dt= derivada del tiempo.

E= intensidad de campo eléctrico.

$\epsilon_0$ = permitividad del vacío.

i= corriente eléctrica.

$\hat{r}_i$  son vectores unitarios que indican la dirección de la recta que une cada  $q_i$  con  $q$

$\mu_0$ = permeabilidad del vacío.

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

EMI: Interferencias electromagnéticas

ECM: Compatibilidad electromagnética

## I. DEDICATORIA

A mis queridos padres, quiero expresar mi profundo agradecimiento por ser la guía constante en cada paso de mi trayectoria. Su incansable dedicación y amor han sido el faro que ha iluminado mi camino, siendo mi fuente inagotable de inspiración y apoyo. Este logro significativo no habría sido posible sin la inquebrantable fe que siempre han depositado en mí.

Así mismo, quiero extender mi gratitud a mi amado hermano y a mi cuñada, Agustín y Mariela, por su inquebrantable compañía y por impulsarme con sabios consejos a lo largo de esta travesía académica. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para superar desafíos y concluir exitosamente mi carrera universitaria.

Un agradecimiento especial al Dr. Mario Ibañez Olvera, cuya generosidad al compartir sus conocimientos con paciencia y pasión ha dejado una huella imborrable en mi desarrollo académico y personal. Cada lección y orientación proporcionadas por él han sido invaluable, y su dedicación ha contribuido significativamente a mi crecimiento y aprendizaje.

Este logro no solo representa el esfuerzo individual, sino también la suma de los apoyos y enseñanzas recibidas de personas tan especiales como ustedes. Agradezco sinceramente cada contribución que ha enriquecido mi viaje educativo y personal.

## II. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a dios, reconocido como mi fuente inagotable de fortaleza, entendimiento y capacidad en cada paso de mi camino y en la consecución de mis propósitos. La guía constante de dios ha sido esencial en mi desarrollo personal y profesional, brindándome la confianza y la determinación necesarias.

Agradezco de manera profunda a mis padres, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida. Su apoyo incondicional ha sido un faro que ha iluminado cada paso que he dado, en cada decisión tomada y en la consecución de metas que me he propuesto. Los sabios consejos y la dedicación incansable de mis padres han moldeado mi carácter y contribuido significativamente a mi formación integral como persona y profesional.

Además, deseo extender mi gratitud a todos los ingenieros, maestros y doctores que han compartido generosamente sus conocimientos, enseñanzas y motivaciones a lo largo de mi trayectoria académica. Su invaluable contribución ha sido determinante en el desarrollo y culminación de mi formación, inspirándome a alcanzar metas académicas y profesionales.

Cada uno de ustedes ha sido parte esencial de mi trayectoria, y les agradezco sinceramente por su impacto positivo en mi crecimiento personal y profesional. Sus enseñanzas perdurarán en mi vida, guiándome hacia nuevos logros y desafíos. Nuevamente, gracias a todos por su inestimable aporte en mi camino.

### III. RESUMEN

El presente trabajo está relacionado con el análisis de perturbaciones o EMI las cuales son caracterizadas tanto en el dominio tiempo como en el de frecuencia. La relación de estas tendencias con la ECM provoca que el aumento de la frecuencia y la prolongación de los tiempos de subida y bajada, así como los flancos de frecuencia que generen niveles más elevados de emisión electromagnética.

Dentro de un vehículo eléctrico, los componentes como: inversores, sistemas de control y sistemas de carga, generan radiación electromagnética debido a su funcionamiento. El incremento de sistemas electrónicos en los vehículos eléctricos, que incluyen desde el control del motor y la gestión de la batería hasta la conectividad avanzada y la asistencia al conductor, asegurar una ECM adecuada se ha vuelto esencial.

Un vehículo eléctrico que cumple con los estándares de ECM garantiza que los sistemas electrónicos funcionen sin problemas en un entorno electromagnético. Por otra parte, se pretende evitar interrupciones costosas debido a interferencias electromagnéticas, mejorando así la calidad y la seguridad de los vehículos eléctricos.

Palabras clave: compatibilidad, electromagnético, interferencias, control.

#### **IV. Abstract**

The present work addresses the analysis of disturbances or EMI which are characterized in both the temporal and frequency domains.

The close relationship of these trends with electromagnetic compatibility (EMC) causes the increase in frequency and the prolongation of rise and fall times, as well as switching edges, to generate higher levels of electromagnetic emission.

Inside an electric vehicle, electronic components such as inverters, control systems and charging systems generate electromagnetic radiation due to their operation.

Electromagnetic interference can have a negative impact on systems, devices and even vehicle safety. With the increase in electronic systems in electric vehicles, ranging from engine control and battery management to advanced connectivity and driver assistance, ensuring proper electromagnetic compatibility (EMC) has become essential.

An electric vehicle that meets electromagnetic compatibility (EMC) standards, thus ensuring that electronic systems operate smoothly in an electromagnetic environment. In addition, it is intended to avoid costly interruptions due to electromagnetic interference, thus improving the quality and safety of electric vehicles.

Keywords: compatibility, electromagnetic, interference, control.

## V. INTRODUCCIÓN

La ECM emerge como un componente esencial para garantizar el correcto funcionamiento de los numerosos componentes electrónicos presentes en un vehículo, siendo esta consideración aún más crucial en el caso de los vehículos eléctricos. Esta garantía es fundamental para que dichos componentes puedan coexistir sin generar interferencias no deseadas que pudieran comprometer la seguridad y el rendimiento del automóvil. En el ámbito específico de los vehículos eléctricos, la compatibilidad electromagnética adquiere una relevancia aún mayor, ya que estos vehículos incorporan una diversidad de sistemas eléctricos y electrónicos que deben operar sin inconvenientes en entornos saturados de campos electromagnéticos [1].

El propósito de este proyecto es abordar la problemática crítica asociada a la ECM en vehículos eléctricos. Esta tarea implica asegurar que los vehículos sean inmunes a interferencias electromagnéticas y cumplan con los estándares y regulaciones establecidos en este ámbito. En este contexto, la ECM se refiere a la capacidad de los sistemas electrónicos y eléctricos en un vehículo eléctrico para funcionar sin inconvenientes en la presencia de campos electromagnéticos, evitando generar interferencias que puedan tener un impacto negativo en otros sistemas, dispositivos o incluso comprometer la seguridad integral del vehículo.

Para hacer frente a estos desafíos críticos, se recurre a la simulación numérica como una herramienta avanzada que permite modelar y analizar con precisión los campos electromagnéticos en entornos complejos. Este enfoque evita la necesidad de crear prototipos físicos costosos y prolongados. A través de la simulación numérica, se puede realizar una evaluación exhaustiva de la compatibilidad electromagnética en diversas condiciones y escenarios, lo que facilita un diseño más eficiente y la identificación proactiva de posibles problemas de interferencia electromagnética antes de la fase de implementación física en los vehículos eléctricos. Este enfoque no solo busca cumplir con estándares preestablecidos, sino también anticiparse a posibles desafíos, contribuyendo así al desarrollo de vehículos eléctricos más seguros, eficientes y confiables en el panorama automotriz actual.

## VI. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las tendencias actuales en la industria automotriz están generando un notable aumento en la incorporación de microcontroladores, funciones y componentes electrónicos en los vehículos. Este incremento no solo conlleva un avance en la sofisticación y complejidad de la electrónica vehicular, sino que también da lugar a sistemas más avanzados y exigentes en términos de capacidad de procesamiento y control. Ante este panorama, la consideración proactiva de la compatibilidad desde las fases iniciales de diseño se convierte en un elemento clave para gestionar la complejidad emergente y garantizar la coexistencia armoniosa de los componentes electrónicos en el entorno del vehículo.

El progresivo aumento de la presencia de electrónica en los sistemas automotrices ha ocasionado no solo una transformación significativa en los sistemas de control con ecu, sino también en los aspectos relacionados con comunicación, información, seguridad y entretenimiento móvil en los vehículos. Es imperativo asegurar que todos los dispositivos electrónicos dentro de un vehículo sean compatibles electromagnéticamente, evitando interferencias perjudiciales con sistemas externos y asegurando una convivencia armoniosa entre ellos.

En este contexto, se destaca la importancia de implementar medidas y estándares rigurosos en el diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos para vehículos, asegurando así una integración exitosa en las plataformas automotrices cada vez más complejas. La compatibilidad electromagnética se convierte, por tanto, en un elemento fundamental para la evolución segura y eficiente de la tecnología en la industria automotriz.

La disminución de las interferencias electromagnéticas, pueden comprometer la integridad y estabilidad de sistemas electrónicos al perturbar sus señales. Además, es crucial combatir las emisiones electromagnéticas internas, que surgen dentro de los componentes electrónicos y pueden afectar negativamente su funcionamiento. Asimismo,

se destaca la necesidad de minimizar la interferencia entre los componentes electrónicos, ya que la falta de armonización entre ellos puede ocasionar fallos en el sistema. Un desafío adicional consiste en incrementar la eficacia del apantallamiento y el acoplamiento de los cables en el mazo, garantizando así una transmisión de señales más fiable y libre de interferencias. Estos problemas demandan una combinación de estrategias técnicas y de gestión, así como un profundo conocimiento de los principios de la ingeniería electromagnética y la electrónica para su resolución efectiva.

## VII. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento exponencial en el uso de dispositivos electrónicos en nuestra sociedad contemporánea ha generado una notoria escalada en la contaminación electromagnética, creando un escenario propicio para interferencias que pueden acarrear consecuencias significativas, especialmente en entornos críticos como los vehículos eléctricos. En este contexto, la evaluación de la ECM se vuelve esencial, no solo para asegurar el rendimiento óptimo de estos vehículos, sino también para abordar posibles riesgos asociados.

Las interferencias electromagnéticas no solo afectan el funcionamiento individual de los sistemas electrónicos en vehículos eléctricos, sino que también representan un riesgo potencial en situaciones particulares, como la circulación cercana a infraestructuras críticas como torres de comunicación. Los sistemas afectados abarcan desde los vitales, como frenos y dirección asistida, hasta aquellos orientados al entretenimiento y la comunicación inalámbrica, todos susceptibles a fallos críticos que podrían comprometer la seguridad del vehículo y de sus ocupantes.

En este contexto el análisis de compatibilidad electromagnética en automóviles eléctricos adquiere una relevancia crucial. Es por lo que, en este trabajo no solo busca cumplir con las rigurosas regulaciones de la industria, sino también garantizar la seguridad integral, mantener la confianza del consumidor y avanzar en la tecnología. La aplicación de simulación numérica en este análisis se presenta como una estrategia clave para prevenir posibles daños a los componentes electrónicos debido a señales electromagnéticas, como ondas de pulso gaussiano, permitiendo una evaluación detallada y proactiva antes de la implementación física en los vehículos eléctricos. De esta manera, se busca no solo cumplir con los estándares, sino también anticiparse a posibles desafíos electromagnéticos, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente en el entorno cada vez más complejo de la movilidad eléctrica.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Comprobar las soluciones de problemas de ECM mediante simulación numérica.

### **Objetivos específicos**

- Implementar medidas para reducir las interferencias electromagnéticas a niveles aceptables.
- Realizar simulación numérica para minimizar las interferencias entre los diferentes componentes electrónicos del sistema.
- Aplicar técnicas que permitan minimizar la interferencia entre los diferentes componentes electrónicos del sistema.
- Utilizar un sistema que permita la generación controlada de pulso gaussiano.

# CAPÍTULO I GENERALIDADES

## 1.1 Campo magnético

El concepto de campo magnético constituye una descripción matemática fundamental para comprender la influencia magnética generada tanto por corrientes eléctricas como por materiales magnéticos en el entorno. En un sentido más amplio, es esencial comprender y explorar sus múltiples facetas para abordar diversos fenómenos físicos.

En términos generales, el campo magnético en cualquier punto específico se caracteriza por dos atributos fundamentales: su dirección y su magnitud. Este campo puede originarse en distintas fuentes, ya sea a partir de un imán natural, como aquellos encontrados en minerales magnéticos, o a través de un conductor por el cual circula una corriente eléctrica. La interacción entre estas fuentes y la disposición de las masas magnéticas definen la configuración y la intensidad del campo magnético en un espacio determinado.

Es crucial destacar que el campo magnético es una entidad vectorial, lo que implica que se expresa plenamente mediante una magnitud y una dirección específica. Este enfoque vectorial permite una representación detallada de cómo las fuerzas magnéticas actúan en el espacio y cómo se relacionan con los elementos que generan el campo.

La comprensión de estas propiedades y características del campo magnético se extiende más allá de la mera descripción teórica. En la práctica, el análisis detallado de los campos magnéticos es esencial en diversas disciplinas, desde la ingeniería eléctrica hasta la medicina y la investigación científica. Explorar y comprender las complejidades de los campos magnéticos es un paso crucial para aprovechar sus aplicaciones prácticas y avanzar en el conocimiento científico.

Para que exista un campo magnético debe existir una fuente de energía magnética (como un imán), una carga en movimiento o una corriente eléctrica. Estos elementos son los únicos capaces de crear un campo magnético y los únicos que pueden ser afectados por él.

Una carga eléctrica (como un electrón moviéndose en el espacio) genera a su alrededor un campo magnético que ejercerá una fuerza sobre otra carga en movimiento. Lo mismo sucede con las corrientes eléctricas.

El caso de los imanes es particular porque no hay cargas en movimiento involucradas, sino que estos materiales generan un campo magnético debido a ciertos fenómenos microscópicos de cierta complejidad.

Según lo describen la ley de ampere y las ecuaciones de maxwell, campos magnéticos y campos eléctricos suelen existir juntos en la naturaleza. Ciertos cambios en el tiempo de un campo magnético producen campos eléctricos. Un buen ejemplo de la coexistencia de estos dos campos son las radiaciones electromagnéticas, como la luz.

La presencia de campos magnéticos puede comprobarse empleando un aparato conocido como magnetómetro.

### **1.1.1 Tipos de campo magnético**

#### **Campos magnéticos provenientes de un imán.**

Los imanes son materiales que tienen la particularidad de poseer un campo magnético permanente, creado por lo que en física se conoce como el spin de los electrones (puede entenderse pensándolo como un giro sobre sí mismos). Por otro lado, hay metales que pueden “convertirse” en imanes cuando son magnetizados por medio de un campo magnético externo.

#### **Campos magnéticos provenientes de corriente.**

Toda carga en movimiento produce un campo magnético. Por eso, una corriente eléctrica también produce un campo magnético. Por ejemplo: los electroimanes (como el de la figura superior) son dispositivos en los que por medio de una batería se hace circular corriente por un cable enrollado en un metal. Esta corriente genera un campo magnético a su alrededor que magnetiza el metal y generando otro campo magnético.

## Dirección de un campo magnético

La dirección de un campo magnético se puede describir empleando líneas o vectores, encargados de señalar la dirección hacia donde apuntan las fuerzas magnéticas. En la figura de arriba se pueden ver claramente las líneas del campo magnético generado por el imán, que indican la dirección de la fuerza con la que el imán interactúa con las partículas metálicas.

El hecho de que el campo magnético posea dirección implica que es un vector. Cualquier fuerza es una cantidad vectorial, es decir, representa una magnitud que posee una dirección y un sentido, como por ejemplo la velocidad. Como el campo magnético es proporcional a la fuerza magnética, entonces también es una cantidad vectorial. De hecho, resulta interesante notar que la fuerza magnética que siente una partícula en movimiento inmersa en un campo magnético es siempre perpendicular a la dirección de dicho campo y de su propia velocidad.

### 1.2 Campo eléctrico

El campo eléctrico  $\vec{E}$  es una cantidad vectorial que existe en todo punto del espacio. El campo eléctrico en una posición indica la fuerza que actuaría sobre una carga puntual positiva unitaria si estuviera en esa posición.

El campo eléctrico se relaciona con la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga arbitraria  $q$  con la ecuación 1.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad 1$$

Las dimensiones del campo eléctrico son newtons/coulomb,  $\frac{N}{C}$

Podemos expresar la fuerza eléctrica en términos del campo eléctrico como se ve en la ecuación 2.

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad 2$$

Para una  $q$  positiva, el vector de campo eléctrico apunta en la misma dirección que el vector de fuerza.

La ecuación para el campo eléctrico es similar a la ley de coulomb. Asignamos a una carga  $q$  en el numerador de la ley de coulomb el papel de carga de prueba. La otra carga (u otras cargas) en el numerador,  $q_i$ , crea el campo eléctrico que queremos estudiar.

ley de coulomb:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_i}{r^2} \hat{r}_i \text{ newtons} \quad 3$$

campo eléctrico:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r^2} \hat{r}_i \text{ newtons / coulomb} \quad 4$$

### 1.2.1 Intensidad del campo eléctrico

La magnitud vectorial que describe la fuerza eléctrica  $f$  ejercida sobre una carga específica se conoce como intensidad del campo eléctrico. Su unidad de medida es el newton por coulomb (n/c). Comúnmente, se hace referencia a esta magnitud simplemente como "campo eléctrico". Es importante destacar que no es posible medir directamente el campo en sí, sino más bien su impacto en una carga específica, en la figura 1 podemos observar que la carga positiva genera un campo eléctrico hacia afuera y la negativa, hacia adentro [2].

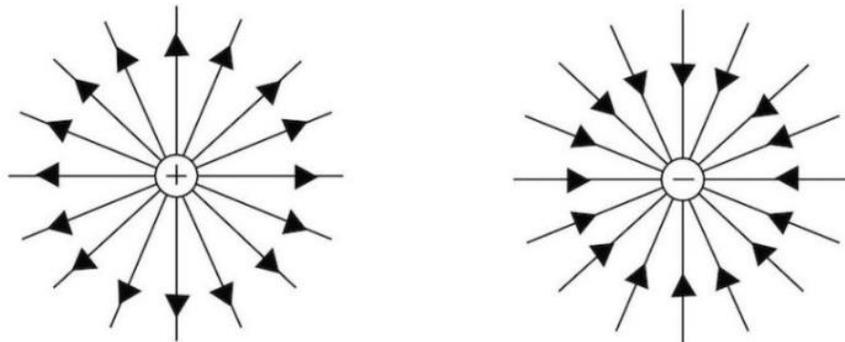


Figura 1. Carga de un campo eléctrico

### 1.3 Leyes de maxwell

Las ecuaciones de maxwell, formuladas por el físico James Clerk Maxwell en la década de 1860, representan el pilar fundamental de la teoría electromagnética. Estas ecuaciones describen de manera precisa y completa el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos en presencia de cargas eléctricas y corrientes, proporcionando un marco teórico unificado para entender fenómenos electromagnéticos en una amplia variedad de situaciones.

Las ecuaciones de maxwell son un conjunto de cuatro ecuaciones diferenciales parciales que vinculan los campos eléctricos ( $\vec{E}$ ) y magnéticos ( $\vec{B}$ ) con las fuentes de carga ( $\rho$ , densidad de carga eléctrica) y corriente ( $\vec{J}$  densidad de corriente) en el espacio y el tiempo.

#### 1.3.1 Ecuaciones en materia y en vacío

- Primera ley de maxwell.

Ley de gauss de la electricidad. La ecuación 5 describe la carga y el campo eléctrico, es el fundamento para explicar los siguientes fenómenos.

- a) Cargas iguales manifiestan fuerza de repulsión y cargas diferentes que presentan fuerza de atracción en función del cuadrado de los inversos de sus distancias de separación.
- b) La carga eléctrica se mueve sobre la superficie exterior de un conductor aislado.

$$\int \mathbf{E} * \mathbf{dA} = q^{\epsilon_0} \quad 5$$

- Segunda ley de maxwell

La ley de gauss del magnetismo. La ecuación 6, es el fundamento matemático por el que no es posible la existencia de monopolos magnéticos.

$$\int \boldsymbol{\beta} * \mathbf{dA} = \mathbf{0} \quad 6$$

- Tercera ley de maxwell

Tiene relación con la ley de inducción de Faraday. La ecuación 7 nos explica el efecto generado en el conductor localizado dentro de un campo magnético variable. Es el fundamento de que un imán de barra desplazado a través de una espira conductora genera una corriente en la espira.

$$\int E * dl = \frac{d\phi_B}{dt} \quad 7$$

- Cuarta ley de maxwell

Está relacionada con la ley de ampere. La ecuación 8 es fundamental para explicar los siguientes fenómenos.

- a) Una corriente a través de un conductor genera un campo magnético alrededor del conductor.
- b) Es posible calcular la velocidad de la luz mediante mediciones electromagnéticas [3].

$$\int \beta * dl = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} \quad 8$$

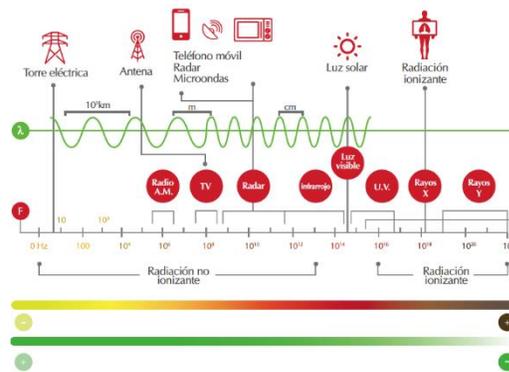
## 1.4 Interferencias electromagnéticas

Las EMI constituyen un fenómeno complejo, caracterizado por la presencia de energía electromagnética generada por sus fuentes, que ejerce un impacto desfavorable en su entorno. Dichas interferencias pueden manifestarse en forma de respuestas indeseables, dando lugar a un funcionamiento degradado del sistema receptor afectado. Es relevante destacar que las EMI pueden adoptar dos formas fundamentales: continuas o transitorias, ampliando así la diversidad de situaciones en las que pueden manifestarse.

En términos más específicos, una EMI, también conocida como electromagnetic interference, se define como cualquier señal o emisión electromagnética que, ya sea radiada en el espacio o conducida a través de un cable de alimentación o señal, representa una amenaza potencial para el funcionamiento seguro de la navegación por radio u otros servicios de seguridad. Además, la EMI puede provocar de manera significativa la degradación, obstrucción o interrupción reiterada de servicios de comunicaciones por radio debidamente autorizados.

Otro enfoque para comprender las EMI es considerarlas como el fenómeno resultante de la fusión de dos o más ondas, dando como resultado una onda combinada que puede tener mayor, menor o igual magnitud que las ondas originales.

Es esencial destacar que la onda resultante difiere en sus características de las ondas originales, lo que puede hacerla inadecuada para cumplir con su función prevista. Esta diversidad en la naturaleza de las interferencias electromagnéticas se ilustra de manera gráfica en la figura 2.



**Figura 2. Interferencias electromagnéticas**

Las EMI representan perturbaciones significativas que impactan en diversos niveles, afectando circuitos, componentes y sistemas electrónicos. Estas interferencias pueden originarse tanto interna como externamente, siendo provocadas por voltajes o corrientes no deseados. Fuentes potenciales de EMI incluyen señales radiadas por motores eléctricos, líneas eléctricas de alta potencia, estaciones de radio e incluso fenómenos naturales. La presencia de estas interferencias puede tener consecuencias negativas al interrumpir, degradar o limitar el rendimiento de los sistemas electrónicos.

La energía electromagnética asociada con la EMI puede generar respuestas no deseadas en equipos electrónicos, afectando su funcionamiento de manera adversa. Estas interferencias pueden surgir de diversas fuentes, como chispas en los cepillos de motores, llaves de circuitos de potencia, accionamientos de cargas inductivas y resistivas, relés, disyuntores, lámparas fluorescentes, calentadores, sistemas de ignición automotriz, descargas atmosféricas, descargas electrostáticas entre personas y equipos, aparatos de microondas, equipos de comunicación móvil, entre otros. La variedad de posibles causas de EMI implica la presencia de fenómenos como sobretensiones, fluctuaciones de tensión, picos, transitorios, entre otros, que pueden impactar negativamente en la integridad de una red de comunicación [4].

## 1.5 Compatibilidad electromagnética

La ECM es una rama de la ingeniería eléctrica y electrónica que se enfoca en asegurar que los sistemas electrónicos y eléctricos funcionen de manera adecuada y sin interferencias no deseadas en entornos donde coexisten múltiples dispositivos electrónicos y fuentes de radiación electromagnética. La ECM se centra en dos aspectos principales:

- **Emisión electromagnética:** se refiere a la capacidad de un dispositivo o sistema para limitar las radiaciones electromagnéticas no deseadas que emite. Esto significa controlar y reducir las emisiones de radiofrecuencia u otras formas de radiación electromagnética que podrían interferir con otros dispositivos electrónicos cercanos.
- **Inmunidad electromagnética:** se refiere a la capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar adecuadamente en presencia de interferencias electromagnéticas externas, como señales de radio, campos magnéticos, descargas electrostáticas, etc. Los sistemas deben ser resistentes a estas interferencias y seguir operando sin problemas.

La ECM tiene como objetivo asegurar que los sistemas electrónicos sean capaces de coexistir en un entorno electromagnético complejo sin causar ni sufrir interferencias que puedan afectar negativamente su rendimiento o seguridad. Esto es especialmente importante en industrias como la automotriz, la aeroespacial, la médica y la electrónica de consumo, donde la convivencia de numerosos dispositivos electrónicos es común.

La compatibilidad electromagnética se centra en tres problemas fundamentales:

- 1) asegurar que las señales electromagnéticas en su trayectoria no sean afectadas por perturbaciones electromagnéticas.
- 2) evitar que se generen perturbaciones electromagnéticas.
- 3) minimizar la susceptibilidad a las perturbaciones electromagnéticas.

El primer punto se enfoca a los problemas del medio de propagación y de transmisión.

El segundo punto se refiere a evitar la generación de cualquier fenómeno de energía electromagnética que degrade el funcionamiento de los sistemas, equipos o dispositivos eléctricos y electrónicos.

El tercer punto trata con la problemática de las interferencias electromagnéticas conocidas como EMI, se definen como la degradación del desempeño de un dispositivo, equipo o sistema causado por una perturbación electromagnética.

Si las EMI degradan el funcionamiento de los sistemas, dispositivos o equipos que funcionen con energía eléctrica, indica que son susceptibles a dichas perturbaciones por tener un alto nivel de sensibilidad.

La compatibilidad electromagnética se da cuando todos los sistemas de un aparato electrónico pueden funcionar correctamente sin que uno haga que falle el otro o sin que él mismo se genere interferencias que ocasionen fallas en su propio funcionamiento. Para saber si el sistema generará emisiones de alta intensidad que afecte a otros pequeños sistemas del aparato, se debe conocer y caracterizar el fenómeno electromagnético emitido, así como también se debe conocer si un sistema es susceptible a reaccionar a diferentes niveles de intensidad del fenómeno electromagnético.

La ECM se erige como un pilar fundamental en la ingeniería eléctrica y electrónica, abordando la necesidad de garantizar el correcto funcionamiento de sistemas electrónicos y eléctricos en entornos donde coexisten múltiples dispositivos y fuentes de radiación electromagnética. La ECM se articula en torno a dos aspectos cruciales: la emisión y la inmunidad electromagnéticas.

En cuanto a la emisión electromagnética, se focaliza en la capacidad de un dispositivo o sistema para controlar y reducir las radiaciones electromagnéticas no deseadas que emite. Este aspecto es esencial para evitar interferencias con otros dispositivos cercanos. Por otro lado, la inmunidad electromagnética se refiere a la capacidad de un dispositivo o sistema para operar adecuadamente en presencia de interferencias electromagnéticas externas, como señales de radio, campos magnéticos o descargas electrostáticas, siendo resistente a estas interferencias y manteniendo su funcionamiento ininterrumpido.

La ECM se aborda desde tres perspectivas fundamentales: garantizar que las señales electromagnéticas no se vean afectadas por perturbaciones, evitar la generación de perturbaciones electromagnéticas y minimizar la susceptibilidad a dichas perturbaciones, particularmente las EMI, caracterizadas por la degradación del desempeño de un dispositivo o sistema debido a perturbaciones electromagnéticas, señalan la importancia de reducir la susceptibilidad y fortalecer la inmunidad de los sistemas eléctricos y electrónicos.

La teoría electromagnética establece que cualquier sistema alimentado por corrientes y voltajes generará emisiones de ondas electromagnéticas, lo que subraya la complejidad intrínseca de la ECM. La interacción entre todas estas emisiones, especialmente en entornos compartidos, resalta la necesidad de entender y caracterizar los fenómenos electromagnéticos emitidos y de evaluar la susceptibilidad de los sistemas a diferentes niveles de intensidad de estas emisiones.

La ECM, por tanto, juega un papel esencial en asegurar la coexistencia armoniosa de sistemas electrónicos en un entorno electromagnético complejo, garantizando su funcionamiento correcto y evitando interferencias no deseadas. Este enfoque se vuelve crucial para mantener la integridad y seguridad de dispositivos y sistemas en el actual panorama tecnológico [5].

### **1.6 Autos eléctricos**

Los automóviles eléctricos son vehículos propulsados por un motor que se alimenta de energía eléctrica, la cual se convierte posteriormente en energía cinética. En la actualidad, la tecnología más extendida para almacenar esta energía es el uso de baterías de iones de litio, aunque existen otras alternativas.

En el otro extremo, a pesar de su costo económico, que sigue siendo significativamente más alto que otras ofertas en el actual mercado de automóviles, se encuentra el rendimiento de las baterías, el cual se ve fuertemente impactado por diversos factores, especialmente las variaciones de temperatura, especialmente en condiciones de frío. En la actualidad, tanto el diseño como la autonomía de los vehículos eléctricos están fuertemente condicionados por el tamaño y peso de las baterías. Además, es esencial considerar que las baterías eléctricas tienen una vida útil limitada y necesitan ser

reemplazadas con el tiempo. A medida que aumenta la presencia de vehículos eléctricos en el mercado, se prevé un aumento en la demanda de electricidad, ya sea de micro generadores o centrales eléctricas, lo que conlleva, en última instancia, un mayor consumo de recursos naturales [6].

### **1.6.1 Elementos de un auto eléctrico**

Los componentes esenciales de un automóvil eléctrico incluyen el motor, el punto de carga para recibir electricidad externa, los transformadores que ajustan la electricidad entrante a la tensión y amperaje ideales para el sistema de recarga, las baterías (actualmente fabricadas con níquel, aunque se prevé que en el futuro sean de litio, desempeñando el papel análogo a un depósito de gasolina en vehículos convencionales) y los controladores, responsables de regular la energía entregada o recargada por el motor [6].

### **1.6.2 Tipos de autos eléctricos**

Los autos eléctricos, propulsados por motores alimentados con energía eléctrica que se convierte en energía cinética, se dividen en categorías como los impulsados por baterías, los que emplean pilas de combustible y aquellos con batería extendida. Sin embargo, los más comunes y ampliamente comercializados son los primeros.

Los vehículos eléctricos de batería funcionan con uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería recargable directamente desde la red, destacando por su característica de no generar emisiones atmosféricas. En cambio, los vehículos eléctricos de celdas de combustible se basan en una pila de combustible de hidrógeno que utiliza una reacción química interna para generar energía, aprovechando la oxidación del hidrógeno para producir electrones capturados y generar corriente eléctrica que impulsa el motor. Los vehículos eléctricos de rango extendido cuentan con dos motores, uno eléctrico y otro de combustión de gasolina, este último encargado exclusivamente de generar electricidad para recargar la batería. Sin embargo, esta categoría aún está en fase de estudio debido a su complejidad técnica y actualmente hay pocos prototipos disponibles en el mercado [6].

### **1.6.3 Ventajas de los autos eléctricos**

Una de las distinciones entre los automóviles híbridos y eléctricos radica en que, mientras el automóvil híbrido dispone de dos motores y una batería, el automóvil eléctrico opera mediante baterías recargables en estaciones de carga a través de un enchufe. La recarga sigue siendo uno de los desafíos significativos para los vehículos eléctricos, aunque en los últimos años se ha logrado reducir considerablemente, llegando al punto en que existen modelos que apenas requieren unos minutos para completarla. No obstante, el inconveniente radica en que este proceso ultrarrápido demanda niveles de voltaje y amperaje que no están presentes en las tomas eléctricas residenciales. Esto implica la necesidad de implementar suficientes estaciones de carga desde una perspectiva de infraestructura para acomodar la creciente flota de vehículos eléctricos esperada en los próximos años.

Entre las principales virtudes de los vehículos eléctricos, se destaca su excelente rendimiento a bajas revoluciones. A estas ventajas se suman otros beneficios, como el bajo requerimiento de mantenimiento, notablemente menor que sus equivalentes de combustión interna. Además, estos vehículos no generan ruido ni vibraciones, y prescinden de embrague y caja de cambios al emplear motores progresivos [6].

### **1.7 Interferencias electromagnéticas en autos eléctricos**

Los autos eléctricos emiten una cantidad considerablemente mayor de emisiones electromagnéticas EMI en comparación con los vehículos de combustión interna (ice). Debido a esto, se debe mantener una distancia de al menos medio metro de fuentes de corriente intensa o, incluso, de motores de gran tamaño. Dada la sensibilidad de estos dispositivos, se requieren precauciones adicionales, como evitar pasar por detectores de metales en aeropuertos, entre otras medidas. No obstante, es importante señalar que los vehículos no emiten suficientes emisiones electromagnéticas como para representar un peligro real para estos dispositivos. Para garantizar que las EMI se encuentren dentro de los límites de seguridad establecidos, se realizan pruebas de homologación.

Las pruebas de verificación son esenciales para todos los vehículos automotores, ya que queremos evitar situaciones como que nuestros teléfonos dejen de funcionar en medio de un embotellamiento debido a interferencias electromagnéticas generadas por el automóvil que nos precede, o que los semáforos en una ciudad se vuelvan caóticos al paso de ciertos vehículos [7].

Las interferencias electromagnéticas pueden causar trastornos en sistemas digitales y analógicos de diversos tipos. Los picos de tensión inducidos en las líneas de señal sensibles generan problemas, afectando no solo a las líneas de señal, sino también a las líneas de alimentación, que son igualmente susceptibles.

Las corrientes de interferencias electromagnéticas pueden propagarse a través de cables o impedancias comunes. Los acoplamientos inductivos y capacitivos son fenómenos de propagación que se deben a la proximidad entre el generador y el receptor de EMI [8].

### **1.8 Campo magnético en autos eléctricos**

Un motor eléctrico en un automóvil funciona como un generador de energía mecánica a partir de una fuente electromagnética. Los campos magnéticos pueden abarcar áreas extensas, como las vías públicas. Existe la tentación de implementar campos magnéticos en las vías públicas para controlar la velocidad de los vehículos eléctricos al afectar las revoluciones de sus motores.

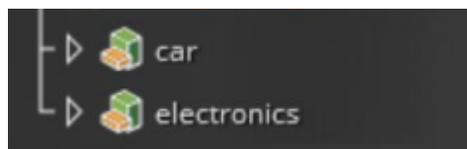
El electromagnetismo, una rama de la física, unifica fenómenos eléctricos y magnéticos en una teoría formulada por Faraday y Maxwell. Estas ecuaciones de Maxwell relacionan campos eléctricos y magnéticos con sus fuentes materiales. El electromagnetismo describe fenómenos macroscópicos con cargas eléctricas en reposo o en movimiento, utilizando campos eléctricos y magnéticos. En el siglo XIX, Orsted y otros físicos evidenciaron la relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos. Las ecuaciones de Maxwell unificaron estos fenómenos como electromagnéticos.

En relación con la investigación de accidentes de tráfico, se concluye que los motores eléctricos pueden ser influenciados por un campo magnético externo, permitiendo el control externo de variables como las revoluciones y la velocidad. Los metros lanzadera sin conductor demuestran la total programabilidad y controlabilidad eléctrica. Sin embargo, la implementación de campos magnéticos para controlar vehículos eléctricos podría afectar la libertad de los conductores y plantear desafíos con la coexistencia de vehículos de diferentes tecnologías. Se sugiere la posibilidad de vías especiales para vehículos eléctricos que prefieran ser guiados de manera segura en lugar de tener la libertad de decidir sus propias prestaciones [9].

# CAPÍTULO II METODOLOGÍA

La visualización detallada de los componentes individuales es esencial para comprender a fondo el modelo, y este nivel de detalle se logra eficientemente a través del árbol de estructura, como se ilustra en la figura 3. Este árbol de estructura actúa como una representación gráfica que desglosa cada componente del modelo, proporcionando una jerarquía clara y permitiendo una fácil navegación a través de los distintos niveles de la simulación.

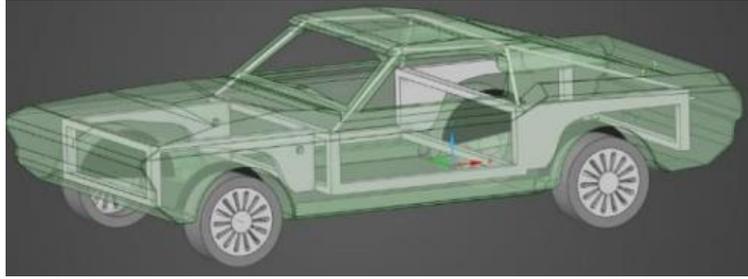
En la figura 3, cada rama del árbol de estructura representa un componente específico del modelo, ya sea un módulo, subsistema o cualquier elemento relevante para la simulación. Este enfoque jerárquico facilita el seguimiento minucioso de cada proceso involucrado en la simulación, desde los elementos más generales hasta los detalles más específicos.



**Figura 3. Árbol de estructura**

La representación visual proporcionada en la figura 4 revela la integración fundamental del dibujo asistido por computadora (CAD) en nuestro enfoque de simulación. Este componente, resaltado en la figura, desempeña un papel central al proporcionar una representación virtual detallada de los elementos físicos que serán objeto de la simulación. A través de esta herramienta avanzada de diseño, se establece una conexión crucial entre el mundo virtual y el mundo físico, permitiendo una simulación precisa y efectiva.

El CAD, sirve como el cimiento visual sobre el cual se construye y desarrolla la simulación. Cada detalle, dimensión y configuración se capturan meticulosamente en el entorno digital, lo que facilita la creación de un modelo virtual preciso y realista. Esta representación digital no solo abarca la geometría de los componentes, sino que también puede incorporar propiedades materiales, condiciones de contorno y otras características relevantes para la simulación.



**Figura 4. Dibujo asistido por computadora (CAD)**

Debemos de definir el dominio computacional para ello debemos de seguir los siguientes pasos

- Hacemos clic en el árbol de simulación para que se haga visible el dominio
- Aparecen seis manijas direccionales y una caja vacía dentro de la carrocería del auto
- Cambiamos el valor máximo de x a 4200 mm
- Ajustamos en tiempo
  - Fin:  $1e^{-6}s$
  - Paso:  $4e^{-11}s$
  - Frecuencia más baja: 1mhz
  - Frecuencia más alta: 1.25 GHz
  - Margen de estabilidad: 50%
- Tamaño de paso: 30 mm

La figura 5 nos brinda una visión detallada de los parámetros específicos del dominio que hemos configurado con precisión en nuestro enfoque. Estos parámetros son fundamentales para la optimización del rendimiento y la gestión eficiente de las interferencias electromagnéticas, constituyendo una parte esencial de nuestra estrategia para garantizar un entorno de simulación controlado y representativo de las condiciones del mundo real.

La cuidadosa configuración de los parámetros del dominio se ha llevado a cabo con el objetivo claro de reducir al máximo las interferencias y controlar las emisiones electromagnéticas. Cada uno de estos parámetros se selecciona y ajusta meticulosamente para reflejar con precisión las condiciones específicas en las que se llevará a cabo la simulación. Esto incluye factores como la frecuencia, la potencia, las

propiedades de los materiales que desempeñan un papel crucial en la generación y propagación de campos electromagnéticos.

Cada ajuste y configuración se realiza con un propósito claro: minimizar las interferencias no deseadas y mantener un control preciso sobre las emisiones electromagnéticas. Esta estrategia no solo se enfoca en la precisión de la simulación, sino también en la optimización de los resultados al replicar de manera efectiva las condiciones del entorno real.

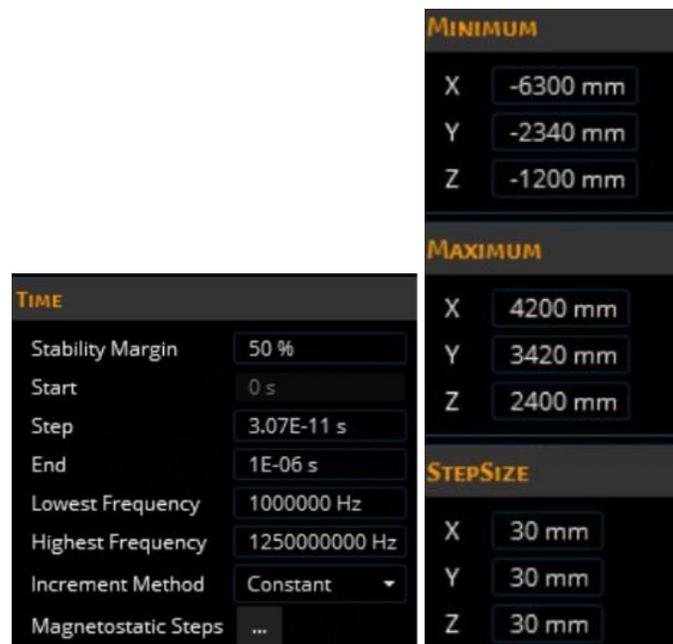


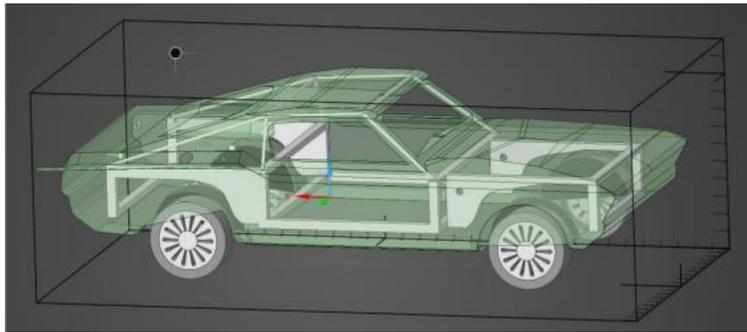
Figura 5. Parámetros del dominio

En esta etapa, el CAD no solo se utiliza como una herramienta de diseño estática, sino que también se convierte en la plataforma dinámica desde la cual se inicia la simulación numérica. La aplicación del dominio dentro del entorno establece las condiciones iniciales para la simulación, permitiendo la reproducción virtual de escenarios específicos en los que se anticipa la presencia de interferencias electromagnéticas.

La implementación de la simulación numérica, una vez aplicado el dominio, permite una evaluación profunda y proactiva de posibles áreas de vulnerabilidad a interferencias electromagnéticas en los componentes electrónicos. Este enfoque no solo busca minimizar las interferencias de manera reactiva, sino que también procura identificar y abordar de manera anticipada cualquier desafío potencial en la compatibilidad

electromagnética.

La figura 6, por lo tanto, sirve como un testimonio visual de cómo la fusión de tecnologías, como el CAD y la simulación numérica, se convierte en una herramienta poderosa en la gestión y optimización de la compatibilidad electromagnética. Este enfoque integrado permite realizar ajustes y mejoras en el diseño virtual antes de llevarlo al ámbito físico, contribuyendo así a un proceso de desarrollo más eficiente y a la reducción de costos asociados con la identificación tardía de problemas electromagnéticos en etapas avanzadas del proyecto.



**Figura 6. CAD. Con el dominio**

En el desarrollo de nuestro análisis, hemos tomado medidas meticulosas para definir una onda plana con precisión, estableciendo con claridad cada variable relevante para comprender su comportamiento en el contexto de nuestra simulación. La figura 7 actúa como un recurso visual esencial que ilustra de manera detallada los datos aplicados a esta onda, proporcionando una representación gráfica que facilita la interpretación y análisis de los parámetros involucrados.

La definición de una onda plana implica la caracterización exhaustiva de factores como la frecuencia, la amplitud, la fase y otras variables que impactan directamente en su forma y comportamiento. Cada una de estas variables ha sido cuidadosamente considerada y especificada para garantizar una representación precisa de la onda plana dentro de nuestro entorno de simulación.

Podemos observar la disposición visual de estos datos aplicados a la onda plana. Este enfoque gráfico permite una interpretación más clara y facilita la comprensión de cómo cada variable contribuye a la formación y propagación de la onda. Además, sirve como una herramienta de referencia valiosa, proporcionando una visión instantánea de

los parámetros fundamentales que definen la onda plana en el marco de nuestra simulación como se muestra.

La atención detallada a la definición de la onda plana y la presentación visual de estos datos no solo tiene como objetivo proporcionar una representación precisa, sino también establecer una base sólida para el análisis y la interpretación durante el proceso de simulación numérica. Esta aproximación rigurosa es esencial para comprender cómo la onda plana interactúa con los componentes electrónicos dentro del sistema, permitiendo una evaluación proactiva de posibles efectos adversos y garantizando la robustez de nuestra estrategia de simulación.



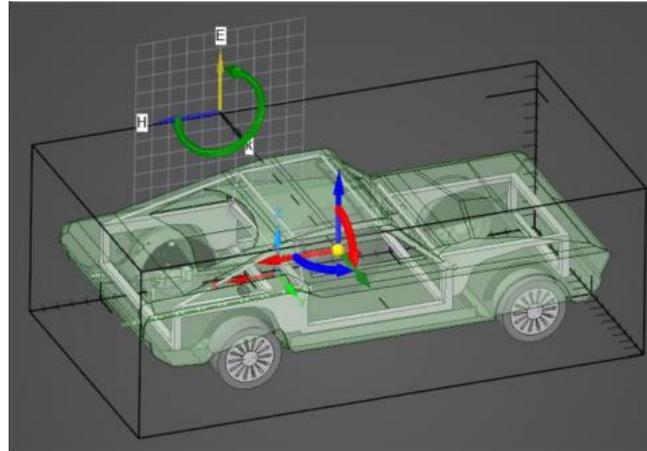
Figura 7. Datos de la creación de la onda plana

El ángulo de orientación, como se muestra en la figura 8, se presenta como un factor determinante en la simulación, ya que influye directamente en cómo la onda incide sobre los componentes del sistema. Este ángulo no solo define la trayectoria inicial de la onda, sino que también impacta en la manera en que la energía electromagnética se distribuye y se absorbe en los diferentes elementos del sistema.

La representación visual de la fuente de onda y su ángulo de orientación proporciona una instantánea esclarecedora de cómo esta variable clave se incorpora al entorno de simulación. Este enfoque gráfico facilita la comprensión de cómo el ángulo de orientación puede influir en la exposición y la respuesta de los componentes electrónicos, permitiendo una evaluación más precisa de los efectos electromagnéticos.

Nos funciona como un indicador visual, sino también como una herramienta de

referencia para analizar y ajustar el ángulo de orientación según las necesidades específicas de la simulación. La capacidad de visualizar este parámetro esencial contribuye a una planificación más informada y a la identificación proactiva de posibles puntos de vulnerabilidad en los componentes electrónicos ante diferentes ángulos de incidencia.



**Figura 8. Fuente de onda en el auto**

En la fase subsiguiente de nuestro proceso, hemos avanzado hacia la definición pormenorizada de cada una de las propiedades de los materiales que conformarán nuestro entorno de simulación. Un aspecto crucial de esta etapa es la asignación de una conductividad eléctrica específica, que en nuestro caso se ha establecido en  $1.45e6$ . Esta propiedad esencial influye de manera significativa en la manera en que los materiales interactúan con las ondas electromagnéticas, y su precisión en la simulación es vital para obtener resultados fidedignos.

La tabla 1, presentada a continuación, se erige como una referencia detallada que desglosa los materiales específicos que hemos seleccionado para integrar en nuestra simulación. Cada material en la tabla viene acompañado de sus respectivas propiedades, incluyendo la conductividad eléctrica previamente mencionada, así como otros atributos relevantes que determinarán su comportamiento frente a las ondas electromagnéticas.

Nombre del material	Conductividad eléctrica (s/m)	Permeabilidad (f/m)	Color
Neumáticos	0.2	$2.66e^{-11}$	Gris
Llantas (aluminio)	$3.5e^{+7}$	$8.854e^{-12}$	Luz roja

Tabla 1. Materiales

Nos centramos en la selección de los materiales, sino que también hemos prestado atención al contexto específico en el que serán utilizados. Consideraciones como la composición química, la densidad y otras propiedades intrínsecas de cada material son cuidadosamente tenidas en cuenta para garantizar que la simulación refleje con precisión las condiciones del mundo real como se muestra en la figura 9.

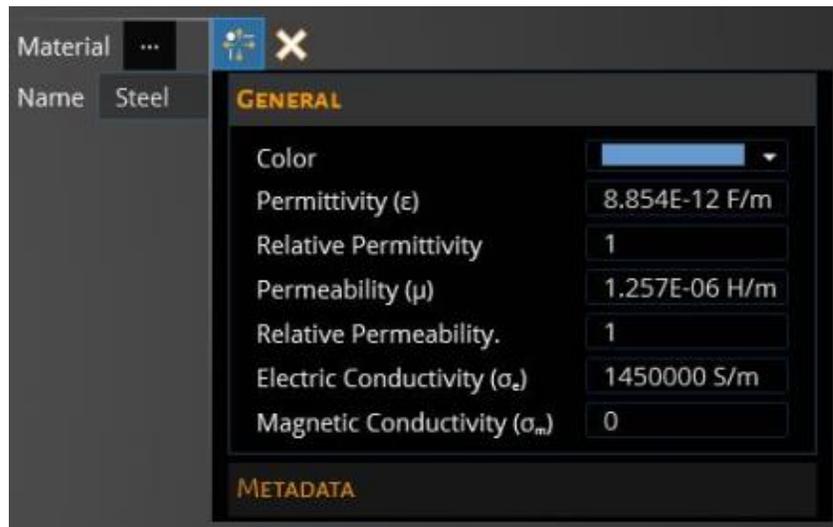


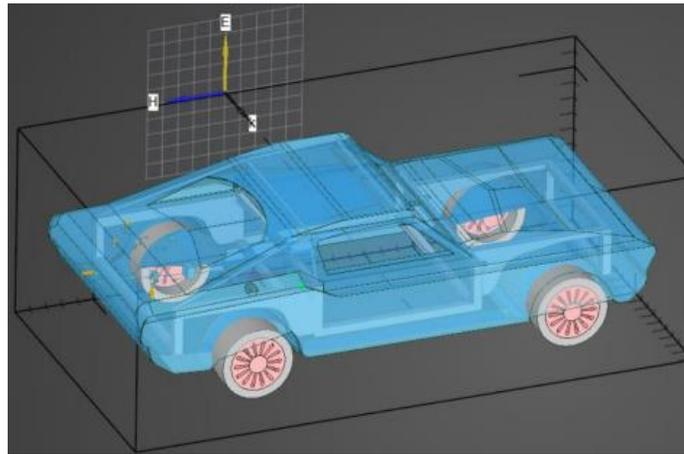
Figura 9. Asignación de conductividad eléctrica

En el siguiente paso de nuestro proceso de simulación, hemos llevado a cabo la asignación minuciosa de las propiedades de conductor eléctrico, una medida estratégica destinada a establecer conexiones a tierra para los componentes electrónicos específicos. Esta acción se visualiza de manera clara y detallada en la figura 10, donde se representa gráficamente cómo se ha implementado esta configuración.

La asignación de propiedades de conductor eléctrico desempeña un papel crítico en la simulación, ya que establece las vías conductivas necesarias para canalizar eficazmente la corriente eléctrica hacia la tierra. Como recurso visual, proporciona una

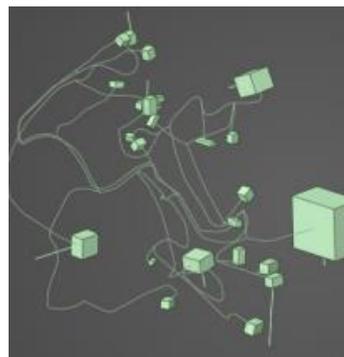
representación gráfica esclarecedora de cómo estos conductores eléctricos han sido estratégicamente dispuestos para garantizar una conexión eficiente y segura a tierra.

En este contexto, no solo nos hemos centrado en la asignación de propiedades eléctricas, sino que también hemos considerado factores como la ubicación precisa de los conductores en relación con los componentes electrónicos específicos. Esta atención a los detalles es esencial para garantizar una simulación realista y representativa de las condiciones del mundo real, donde la conexión a tierra desempeña un papel fundamental en la mitigación de interferencias electromagnéticas.



**Figura 10. Conductor eléctrico**

La importación estratégica de cables representa un paso crucial en nuestra metodología, ya que estos elementos desempeñan un papel esencial en la mitigación de interferencias electromagnéticas dentro del entorno del vehículo. La figura 11 proporciona una visualización clara de cómo se han incorporado estos cables en el sistema, permitiendo una representación gráfica de su disposición y conexión con los diversos componentes electrónicos.



**Figura 11. Importación del arnés**

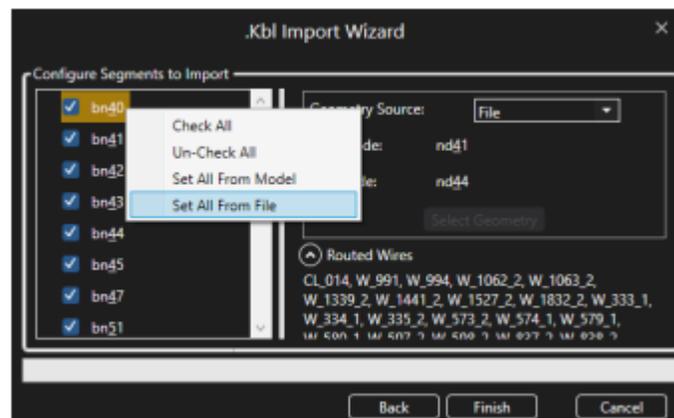
Este enfoque no solo implica la introducción física de los cables, sino que también se traduce en la capacidad de medir y monitorear con precisión las tensiones y corrientes inducidas en el sistema. Permite una evaluación detallada de cómo los cables contribuyen a mantener un entorno eléctrico equilibrado y libre de interferencias no deseadas.

Es importante destacar que la importación de cables, como vemos en la figura 12, no solo se realiza como una medida reactiva, sino que forma parte de una estrategia proactiva para anticipar y mitigar posibles problemas electromagnéticos, refleja nuestra atención a los detalles y la planificación minuciosa para garantizar la eficacia de la simulación.

Se utilizan cables con apantallamiento adecuado para el entorno y la aplicación específicos se debe de considerar cables con doble capa de apantallamiento si la situación lo requiere.

Las conexiones de apantallamiento deben ser continuas, al utilizar separadores y soportes para mantener una distancia adecuada entre los cables apantallados.

Asegúrate de que los conectores también estén correctamente apantallados. Utiliza conectores blindados si es necesario.



**Figura 12. Importación de cables**

La transferencia de inductancia constituye un paso estratégico para incorporar la influencia de campos magnéticos en nuestra simulación. La figura 13, como representación visual, destaca la configuración específica de datos relacionados con la inductancia, proporcionando una visión gráfica de cómo este componente afecta la generación de fuerza electromotriz en el sistema.

En esta etapa, no solo nos hemos enfocado en la simple transferencia de

inductancia, sino que también hemos prestado atención a la asignación precisa de datos asociados. Los valores específicos de inductancia, orientación y otras propiedades se han ajustado meticulosamente para asegurar que la simulación refleje con precisión las condiciones del mundo real en las que se generará la fuerza electromotriz.

No solo actúa como un indicador visual, sino que también sirve como un recurso de referencia esencial para analizar y ajustar los datos de inductancia según las necesidades específicas de la simulación. Este enfoque gráfico facilita la interpretación de cómo la transferencia de inductancia contribuye al fenómeno de generación de fuerza electromotriz, permitiendo una evaluación más profunda de su impacto en el sistema.

Es crucial subrayar que la transferencia de inductancia no se lleva a cabo de manera aislada; más bien, forma parte integral de nuestro enfoque global para modelar con precisión las interacciones electromagnéticas en el sistema. Al detallar la asignación de datos, refleja nuestra dedicación a la validez y la fidelidad del modelo de simulación, asegurando que los resultados obtenidos sean representativos de las condiciones del mundo real.

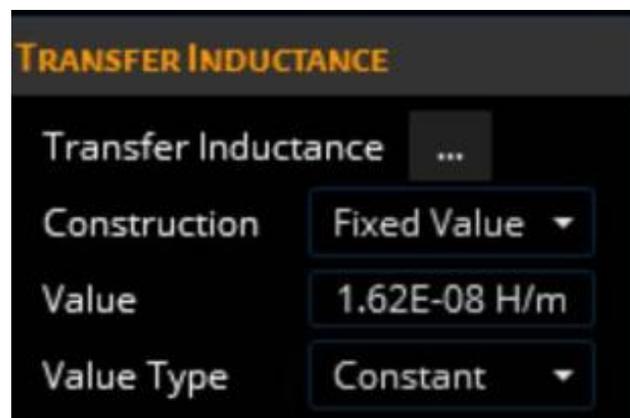
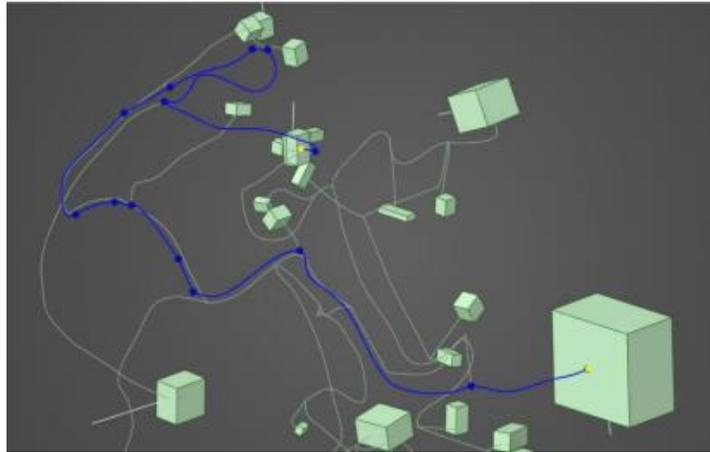


Figura 13. Inductancia

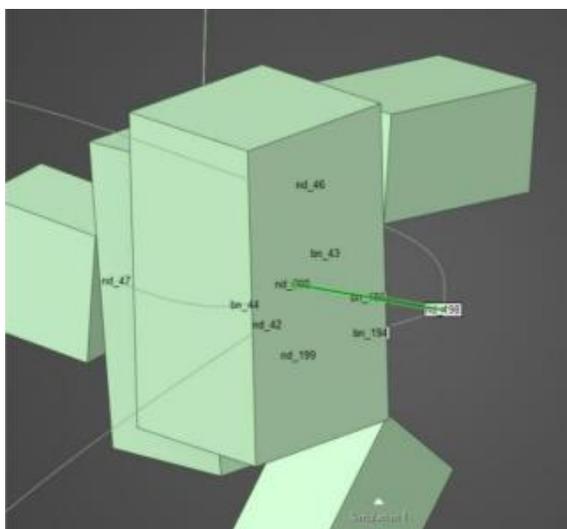
La inclusión de sondas de corriente y tensión en cada cable del sistema es fundamental para obtener datos más específicos y detallados sobre la respuesta eléctrica de los conductores seleccionados.

Es importante destacar que la introducción de estas sondas no solo se limita a la medición aislada de corriente y voltaje, sino que también establece las bases para un monitoreo continuo y detallado de estos parámetros a lo largo del tiempo y las condiciones cambiantes de la simulación. Este enfoque nos permite capturar de manera eficiente la dinámica de la respuesta eléctrica en conductores específicos en función de las variaciones en las condiciones del entorno electromagnético, figura 14.



**Figura 14. Medición para crear el conductor**

La figura 15, al presentar visualmente la aplicación de tensiones y la medición resultante de voltajes en cada cable, no solo cumple una función descriptiva, sino que también actúa como un punto de referencia clave para el análisis y la interpretación de datos en etapas posteriores. Esta representación gráfica facilita la identificación de patrones, tendencias y posibles desviaciones en la respuesta eléctrica de los conductores seleccionados.



**Figura 15. Tensión de corriente**

Esta acción específica busca optimizar la posición de la sonda para obtener mediciones más precisas y detalladas de la corriente y el voltaje a lo largo del cable seleccionado mostrándose en la figura 16.



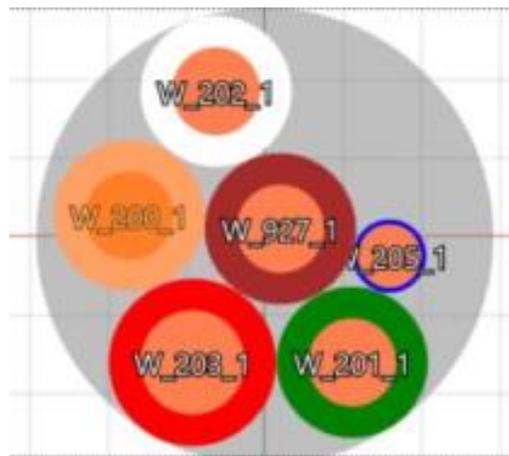
**Figura 16. Colocación de la sonda**

La colocación transversal de la sonda representa un enfoque estratégico para maximizar la sensibilidad de las mediciones, permitiendo una captura más completa de la variación de corriente y voltaje a lo largo de la sección específica del cable. Hemos ubicado la sonda para abordar el cable de manera transversal.

Este enfoque no solo se centra en la posición física de la sonda, sino que también implica la consideración cuidadosa de la orientación y la alineación para garantizar mediciones precisas. La figura 17, al presentar visualmente esta acción, sirve como una referencia clave para comprender cómo la colocación transversal de la sonda contribuye

a la recopilación de datos más detallados y específicos sobre la respuesta eléctrica del cable.

Es importante destacar que la colocación transversal de la sonda no solo se realiza como una acción aislada, sino que también forma parte de nuestra estrategia global para optimizar la recopilación de datos en la simulación electromagnética. Este enfoque tiene como objetivo proporcionar una visión más completa de cómo la corriente y el voltaje varían en función de la posición específica de la sonda en relación con el cable.



**Figura 17. Sonda**

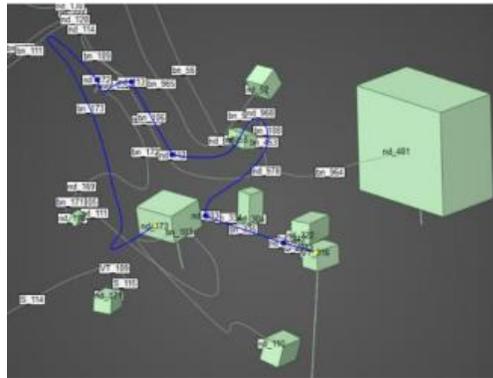
Este paso es crucial para obtener datos detallados y confiables que contribuirán significativamente al análisis y la optimización del rendimiento del sistema, especialmente en lo que respecta al consumo de corriente.

La incorporación de la sonda de corriente se lleva a cabo con la intención de garantizar mediciones precisas y específicas en relación con el flujo de corriente a través del escudo designado. Este enfoque no solo se limita a la colocación física de la sonda, sino que también abarca la configuración de parámetros y la selección de la ubicación óptima para obtener datos representativos y útiles.

La figura 18, al mostrar visualmente la implementación de la sonda de corriente, no solo sirve como una representación gráfica, sino que también actúa como un punto de referencia clave para comprender la disposición y la conexión de la sonda en relación con el escudo.

Esta visualización facilita la interpretación de cómo se llevará a cabo la medición

de corriente en el sistema, proporcionando una visión detallada del procedimiento.



**Figura 18. Sonda de corriente**

La ubicación de la sonda de corriente no es un detalle menor, sino un aspecto crítico para garantizar mediciones precisas y representativas del flujo de corriente en el sistema. La figura 19 ofrece una visión gráfica detallada de la posición precisa de la sonda, subrayando la importancia de su colocación estratégica para obtener datos confiables sobre la corriente que atraviesa la región específica del sistema.

En este proceso, no solo nos hemos centrado en la colocación física de la sonda, sino que también hemos considerado factores como la orientación y la alineación para optimizar la captura de datos.

Es importante destacar que la sonda como un elemento aislado, sino que también presenta cómo esta ubicación específica se integra en el contexto más amplio del sistema. La visualización proporciona información sobre la relación de la sonda con otros componentes y cómo su colocación estratégica impacta en la capacidad de capturar datos significativos sobre el flujo de corriente en el sistema.

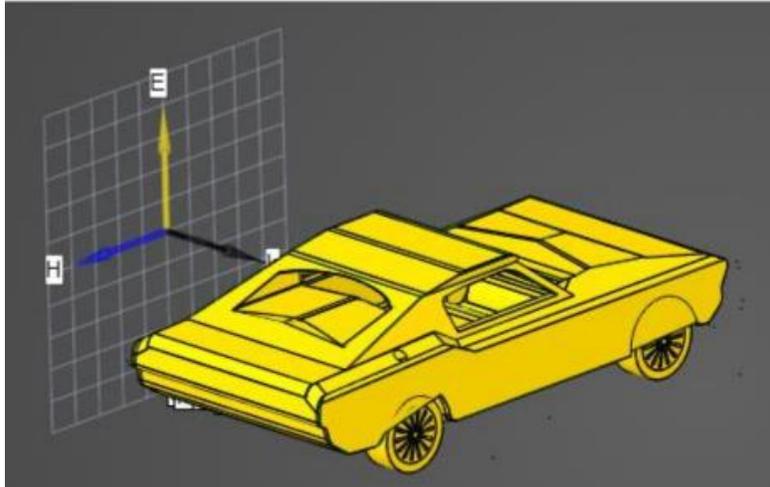


**Figura 19. Ubicación de la sonda de corriente**

La adición de la señal gaussiana no solo constituye un paso técnico, sino que también desempeña un papel crucial en nuestro enfoque para evaluar la respuesta de los componentes electrónicos frente a interferencias electromagnéticas simuladas. La figura 16, como recurso visual, proporciona una representación clara de cómo la señal gaussiana impacta en la dinámica de los componentes, permitiendo una observación detallada de los cambios en su comportamiento.

Esta incorporación estratégica de la señal gaussiana no solo se limita a la visualización, sino que también establece las bases para un análisis más profundo de la influencia electromagnética en los componentes del sistema.

Es esencial resaltar que la figura 20 no solo cumple una función descriptiva, sino que también sirve como una herramienta de referencia clave para analizar la respuesta de los componentes ante la señal gaussiana. Esta visualización facilita la identificación de patrones, tendencias y posibles áreas de vulnerabilidad en los componentes electrónicos, contribuyendo así a una evaluación más detallada de la compatibilidad electromagnética en el sistema.



**Figura 20. Onda gaussiana**

La aplicación de una malla en cada superficie es esencial para obtener una representación más precisa y detallada de la respuesta electromagnética de los materiales en el sistema.

Modificamos la configuración del tipo de conflicto para evitar todas las superficies. Aplicamos una configuración para guardar los ajustes, activamos la transparencia de la malla para permitir la visualización a través de ella, especialmente útil si el color del material es semitransparente.

Algunas secciones de este modelo podrían resultar demasiado pequeñas para ajustarse correctamente, lo que desencadenará una advertencia. Sin embargo, en estas circunstancias, las partes no malladas no tienen un impacto significativo en los resultados.

Este enfoque no solo se centra en la visualización, sino que también establece las bases para un análisis más profundo de la interacción entre los materiales y los campos electromagnéticos. La figura 21 no solo presenta la malla como un componente estético, sino que también sirve como una herramienta para identificar áreas específicas donde la densidad de la malla puede influir en la precisión de la simulación.

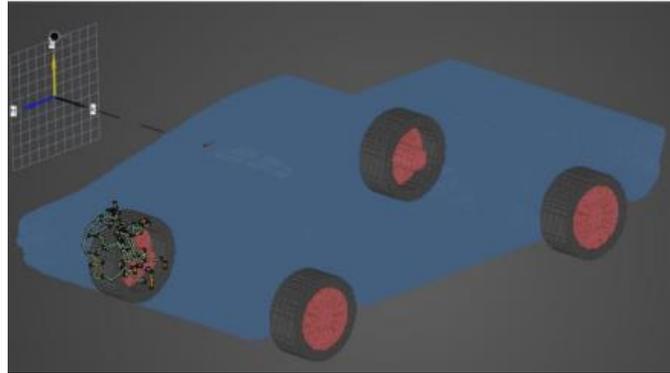
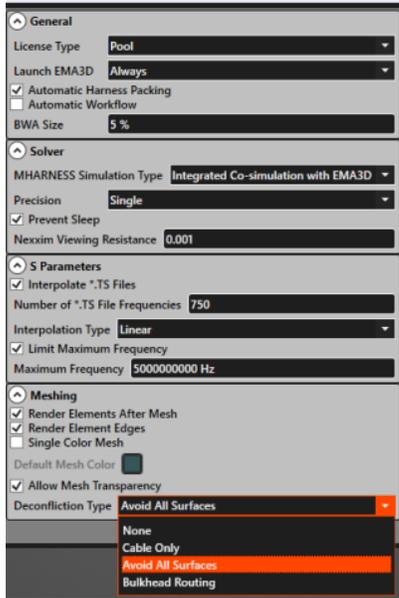


Figura 21. Aplicación de la malla

# CAPÍTULO III RESULTADOS

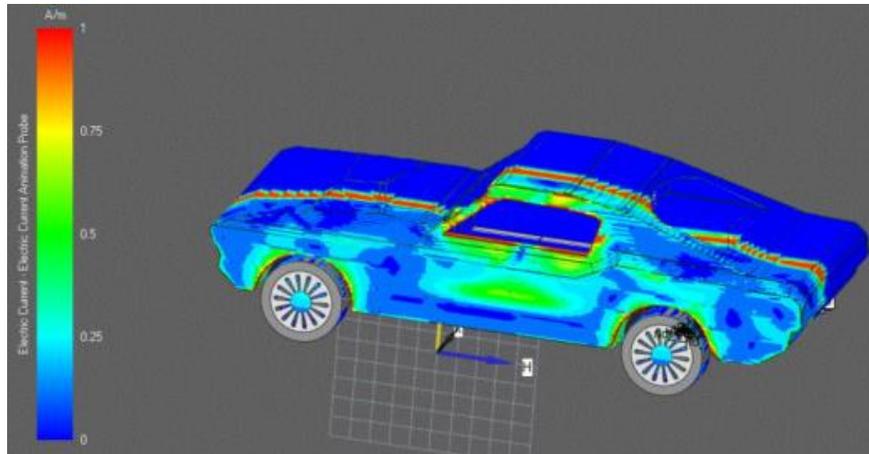
## Compatibilidad electromagnética en un auto eléctrico.

En el paso final del proceso de simulación, no solo proporciona una visión global de la simulación, sino también resalta los resultados clave derivados de la implementación de estrategias específicas.

La figura 22 actúa como un recurso visual integral, que hace una representación gráfica de la simulación que incluye la onda gaussiana aplicada y evidencia la efectividad de las medidas tomadas para minimizar las interferencias electromagnéticas. Esta visualización permite una observación detallada de cómo los cambios en los campos electromagnéticos afectan los componentes electrónicos, destacando áreas de interés y validando el éxito de las estrategias implementadas.

En este análisis completo, no solo nos enfocamos en la aplicación de la onda gaussiana, sino que también se evalúa de manera detallada cómo las interferencias electromagnéticas han sido mitigadas con éxito. Sirve como un punto de referencia clave para comprender la interacción entre la simulación y las estrategias implementadas, proporcionando una visión clara de cómo la minimización de interferencias ha contribuido al logro de los objetivos de compatibilidad electromagnética.

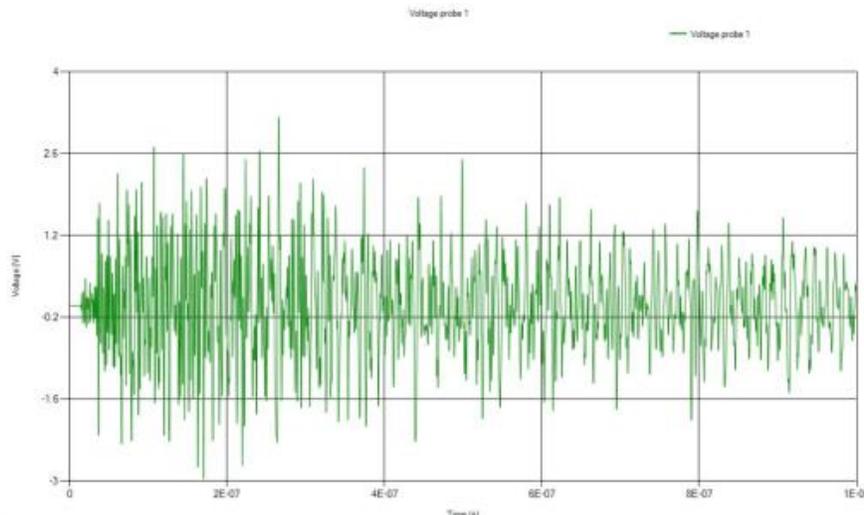
Es crucial subrayar que no solo se limita a la representación visual, sino que también sirve como una herramienta de referencia esencial para el análisis posterior. La visualización detallada de la simulación completa facilita la identificación de patrones, la evaluación de la eficacia de las estrategias y la validación de los resultados obtenidos.



**Figura 22. Onda gaussiana e interferencias**

La Gráfica 1 ofrece una representación visual detallada de la variación del voltaje a lo largo del tiempo en el cable, lo que proporciona una visión específica de las medidas implementadas para mitigar las interferencias electromagnéticas. Esta representación gráfica no solo muestra la evolución temporal del voltaje, sino que también destaca cómo las estrategias de reducción afectan la estabilidad y el comportamiento eléctrico del sistema. Al analizar la gráfica, es posible identificar puntos específicos que indican la eficacia de las medidas tomadas, resaltando áreas donde las interferencias electromagnéticas han sido significativamente reducidas. La inclusión de la señal en la gráfica permite una mejor comprensión del contexto, facilitando la correlación entre las variaciones de voltaje y la respuesta del sistema a la señal gaussiana aplicada. Esto proporciona una herramienta valiosa para evaluar el impacto de las estrategias de reducción de interferencias en el rendimiento general del sistema eléctrico del vehículo.

Es esencial subrayar que no solo cumple una función descriptiva, sino que también actúa como una herramienta de referencia clave para la toma de decisiones informadas en el análisis de compatibilidad electromagnética. La visualización de datos detallada en la gráfica facilita la interpretación de resultados y respalda la evaluación precisa de cómo las interferencias electromagnéticas han sido atenuadas en el sistema.

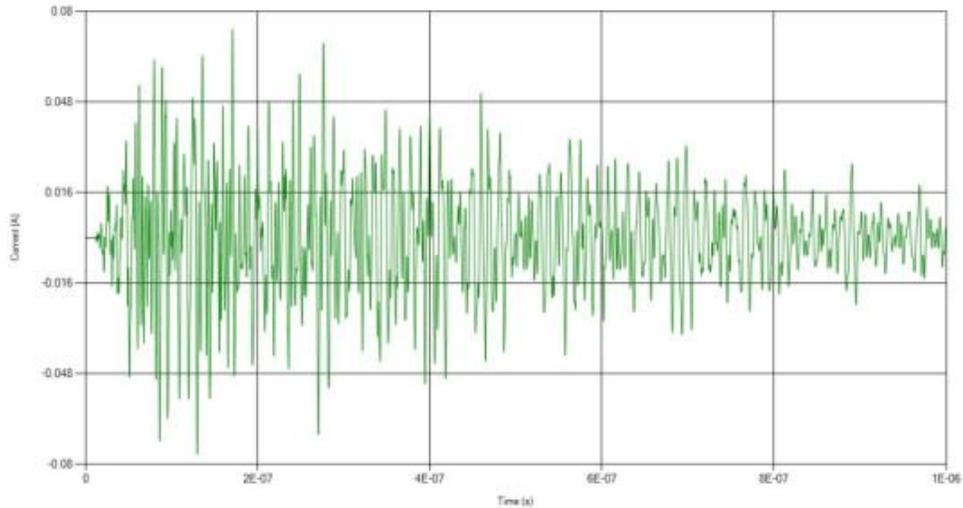


**Gráfica 1. Voltaje en el cable**

Se ha observado de manera específica cómo varía la corriente a lo largo del tiempo y en respuesta a la aplicación de la señal gaussiana, permitiéndonos identificar áreas donde las medidas han resultado en una disminución significativa de interferencias.

Este análisis más profundo contribuye a una comprensión más completa de cómo las estrategias de mitigación afectan la distribución y la estabilidad de la corriente en el sistema.

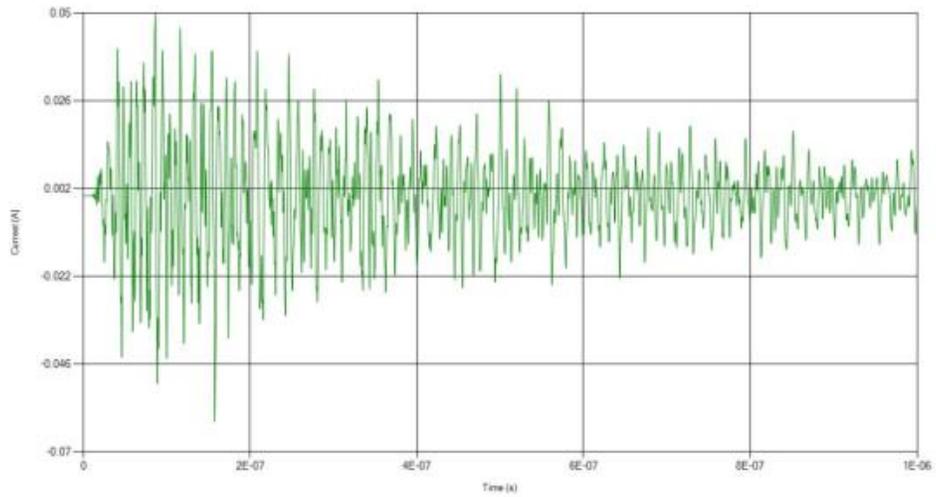
Al considerar la información obtenida de la gráfica 2 en conjunto con la gráfica 1, podemos correlacionar la respuesta del voltaje con la distribución de la corriente, permitiéndonos una evaluación integrada de la compatibilidad electromagnética. Esta conexión entre los resultados de la sonda de corriente y la evolución del voltaje ofrece una visión holística de cómo las medidas implementadas han influido en el comportamiento eléctrico global del sistema.



**Gráfica 2. Sonda de corriente**

La representación temporal de la corriente total en la Gráfica 3 permite discernir patrones, tendencias y fluctuaciones tanto en presencia como ausencia de corriente masiva, proporcionando una perspectiva dinámica y detallada de la respuesta del sistema a condiciones electromagnéticas variables. Al analizar esta gráfica, se obtiene información valiosa sobre la capacidad del sistema para gestionar corrientes significativas y cómo las estrategias de mitigación han influido en la estabilidad del flujo de corriente a lo largo del tiempo. Identificar áreas donde las medidas han sido especialmente efectivas o donde existen oportunidades de mejora contribuye a una evaluación más precisa de la compatibilidad electromagnética en el contexto del proyecto. Cuando se considera en conjunto con las Gráficas 1 y 2, permite una evaluación integrada de la respuesta del sistema a las interferencias electromagnéticas. La correlación entre la evolución temporal de la corriente masiva y la variación del voltaje y la señal gaussiana proporciona una visión holística de cómo las medidas implementadas afectan la estabilidad eléctrica global

del sistema.



**Grafica 3. Sonda de corriente masiva**

## 2. CONCLUSIONES

Las simulaciones numéricas desempeñan un papel crucial como una herramienta altamente eficaz en la validación de soluciones destinadas a abordar los desafíos de ECM en vehículos eléctricos. Estas simulaciones ofrecen una capacidad única para modelar y analizar una amplia gama de condiciones electromagnéticas, permitiendo una evaluación exhaustiva y precisa de las propuestas de soluciones.

La problemática de la compatibilidad electromagnética se presenta como un factor crítico para la seguridad y confiabilidad de los vehículos eléctricos. La mejora continua en el diseño de componentes electrónicos y la reducción efectiva de interferencias electromagnéticas se traducen directamente en beneficios significativos para la integridad de los sistemas esenciales y, por ende, en la funcionalidad general del vehículo.

El análisis detallado de la ECM ha demostrado ser fundamental para la identificación y resolución de problemas relacionados con interferencias electromagnéticas, siendo la fiabilidad de los sistemas electrónicos un aspecto primordial para prevenir accidentes y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. La fiabilidad de los sistemas electrónicos en los vehículos eléctricos es un aspecto fundamental para prevenir posibles accidentes y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Las simulaciones numéricas se presentan como una herramienta versátil que no solo valida soluciones existentes, sino que también facilita la exploración de nuevas estrategias para mejorar la ECM en vehículos eléctricos. Su capacidad para modelar diversas condiciones electromagnéticas ofrece un terreno de prueba virtual que permite anticipar y abordar posibles desafíos, contribuyendo así a un diseño más robusto y confiable de los componentes electrónicos en el ámbito vehicular.

El propósito de contrarrestar los efectos negativos ocasionados por la interferencia electromagnética. Este proceso nos ayuda a proteger los circuitos electrónicos de las influencias externas, más resistentes capaces minimizar los impactos, así como la integración proactiva de estrategias de mitigación en todas las etapas del proceso de diseño.

## REFERENCIAS

- [1] <https://es.linkedin.com/pulse/al-descubierto-las-fallas-el%C3%A9ctricas-retos-para-los-profesionales-szy2f>
- [2] Francesc Daura, "electromagnética en la automoción".
- [3] Laura Vallhonrat blanco, efectos de las interferencias electromagnéticas en la operativa de drones.,08 de septiembre del 2017 <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108590/memoria.pdf>.
- [4] Phoenix contact <https://www.phoenixcontact.com/es-mx/tecnologias/apantallamiento/principios-del-apantallamiento> (06 de octubre de 2023).
- [5] Jaime vega Pérez, Saúl vega Pérez, electromagnetismo, 1ª ed. México: estela delfin.,2020.
- [6] David Halliday, Robert Resnick, Kenneth Krane, física vol.2, 4ª ed. México: continental., 1998.
- [7] "aldeltatec" <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-iec-para-emc/> (06 de octubre de 2023).
- [8] "Dell" [https://i.dell.com/sites/doccontent/shared-content/solutions/en/documents/a\\_eu\\_ce\\_spanish\\_us.pdf](https://i.dell.com/sites/doccontent/shared-content/solutions/en/documents/a_eu_ce_spanish_us.pdf) (06 de octubre de 2023).
- [9] Medrano, f. Arcega, a. López, i. Plaza, t. Pollán, "compatibilidad electromagnética: aprendiendo de la experiencia por medio de casos prácticos".

## ANSYS CableCrosssection

### Table of Contents

- Design Summary
- Model
- Results
- Field Overlays

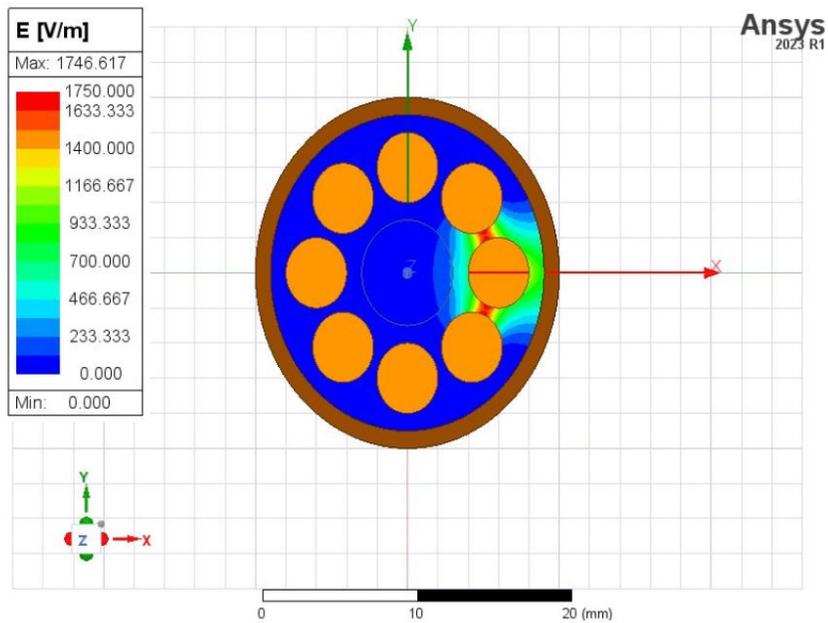
### Design Summary

### Design Details

Description	
Project	Connector_Q3D_2021
Design	CableCrosssection
Solution Type	Open
Location	C:/Users/HP/Desktop/Basura/
Date	02/29/2024 10:43:30
Product Version	Q3D 2023.1.0
UDD Version	Design Summary, 1.0 (R14.5)
User	HP

### Model

### CableCrosssection



### Results

file:///C:/Users/HP/Desktop/Basura/Connector\_Q3D\_2021.aedtresults/UserDefinedDocu... 29/02/2024

