

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



**Hospital Nacional de Niños**

Estudio de prefactibilidad técnico-financiero para determinar el uso de ambulancias eléctricas en sustitución de ambulancias de combustión interna para el Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños

Informe para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, con el grado académico de Licenciatura

**REALIZADO POR:**

Erick Chaves Núñez

2016100352

**COORDINADOR DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN:**

Ing. Ignacio Del Valle Granados.

**Cartago, agosto de 2023**



**Carrera evaluada y acreditada por:**

Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería y Arquitectura.

## Información del estudiante y la empresa

### Datos Personales

*Nombre completo:* Erick Josué Chaves Nùñez

*Número de cédula:* 1 1672 0394

*Número de carné:* 2016100352

*Edad:* 26 años

*Números de teléfono:* +506 8725 2086

*Correos electrónicos:* [echavesnunez07@gmail.com](mailto:echavesnunez07@gmail.com)

*Dirección exacta de domicilio:* San Pablo de Heredia. Carretera 112, 800m Este de la Antigua MABE. Condominio Monteblanco.

### Datos del Hospital

*Nombre:* Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Saénz Herrera.

*Actividad Principal:* Atención de pacientes pediátricos de todo el país.

*Dirección:* Calle 20, Avenida cero (Paseo Colón), contiguo al Hospital San Juan de Dios, San José.

*Contacto:* Pedro Murillo Chaves

*Teléfono:* 2523 3600 Ext. 4305

### Profesor guía

*Ing. Joshua Guzmán Conejo*

### Asesores industriales

*Ing. Pedro Murillo Chaves*

### Tribunal examinador

*Ing. Noel Ureña*

*Ing Oscar Monge*



This work © 2023 by Erick Josué Chaves Núñez is licensed under [Attribution-NonCommercial 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Carta de aceptación de la empresa



**CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL**  
Hospital Nacional de Niños - Dr. Carlos Sáenz Herrera  
Área de Gestión de Ingeniería y Mantenimiento  
Teléfono: 25233600 ext. 4305  
Correo electrónico: pmurillo@ccss.sa.cr

**HNN- AGIM- 0187- 2023**

4 de mayo de 2023

Ingeniero  
Ignacio del Valle Granados , Coordinador TFG  
Escuela de Ingeniería Electromecánica -ITCR

**ASUNTO:** Aceptación de práctica profesional

El suscrito, Ing. Pedro Murillo Chaves, cédula de identidad 1-1084-0546 en mi calidad de Jefe de Gestión de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital Nacional de Niños, le informa que ha aceptado al estudiante Erick Chaves Núñez, con número de cédula 1 1672 0394 y número de carné 2016100352, para realizar su práctica profesional en nuestra institución.

El estudiante presentó el anteproyecto titulado " Estudio de prefactibilidad técnico-financiero para determinar el uso de ambulancias eléctricas en sustitución de ambulancias combustión interna para Costa Rica.", el cual ya fue revisado y aprobado por el suscrito. Este proyecto es de gran relevancia para nosotros ya que aborda un problema actual que enfrentamos y creemos que las soluciones propuestas tendrán un impacto significativo en nuestra operación.

Para este tema en particular se aclara que la información no se considera sensible, por lo que no es necesario que se maneje de manera confidencial.

El profesional responsable en nuestra empresa es el Ing. Pedro Murillo Chaves, Jefe del Área de Gestión de Ingeniería y Mantenimiento, quien firma la presente como constancia de su aprobación y compromiso en supervisar la práctica del estudiante.

Agradecemos la oportunidad de colaborar con la Escuela de Ingeniería Electromecánica del TEC en la formación de los futuros ingenieros y nos comprometemos a proporcionar al estudiante una experiencia de práctica significativa y enriquecedora.

Para contacto puede escribir al correo electrónico pmurillo@ccss.sa.cr o llamar al número de teléfono 8707-6227.

Atentamente,

**AREA DE GESTION DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO**

PEDRO MURILLO  
CHAVES (FIRMA)  
2023.05.04 08:52:15  
-06'00'

Ing. Pedro Murillo Chaves  
Jefe a.i



pmc  
Copia: Archivo

## **Dedicatoria**

A mis padres, Karen Núñez y Alexis Chaves, quienes, a lo largo de estos años, su apoyo incondicional, amor y sacrificio son las fuerzas que me han impulsado a superar cualquier obstáculo y a nunca rendirme en mi camino hacia lograr mi sueño de graduarme como ingeniero del TEC.

A mí hermano David, por su apoyo constante y su confianza en mí cada vez que me sentía abrumado, me hacía recordar mis capacidades para superar cualquier desafío. Además, por ser mi persistente fuente de inspiración, verlo enfrentar sus propias metas con determinación y lograr sus sueños me impulsó a hacer lo mismo.

Sin ustedes, este logro no habría sido posible. Mi tesis no solo representa mi esfuerzo y dedicación, sino también su amor y apoyo incansables. Los amo y les estaré eternamente agradecido.

## **Agradecimiento**

A mis padres y hermano que siempre me han brindado su apoyo y amor incondicional para cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

A mí profesor guía, Joshua Guzmán, por haberme apoyado durante el proceso de desarrollar mi proyecto, donde siempre estuvo dispuesto a ayudarme.

Al Hospital Nacional de Niños por confiar en mí para realizar mi proyecto de graduación en tan prestigiosa institución.

A Pedro Murillo y Gerardo Navarro, por toda la ayuda brindada en todo momento dentro de la institución.

## Índice general

1	Introducción y los antecedentes .....	19
1.1	Datos del Hospital.....	25
1.1.1	Ubicación .....	25
1.1.2	Reseña del Hospital.....	25
1.1.3	Misión .....	25
1.1.4	Visión.....	26
1.1.5	Estructura organizacional.....	26
1.2	Descripción del proceso productivo.....	27
1.3	Planteamiento del problema.....	28
1.3.1	Descripción del problema .....	28
1.4	Objetivos .....	30
1.4.1	Objetivo general.....	30
1.4.2	Objetivos específicos .....	30
1.5	Justificación .....	32
1.6	Viabilidad.....	36
1.7	Alcance .....	37
1.8	Limitaciones.....	38
2	Marco metodológico .....	39
3	Marco teórico .....	40
3.1	Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 .....	40
3.2	Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 .....	41
3.3	Plan Nacional de Energía 2018-2030 .....	41
3.4	Motor de combustión interna .....	41

3.5	Motor eléctrico.....	43
3.6	Baterías LFP.....	46
3.7	Niveles de carga para vehículos eléctricos .....	47
3.8	Infraestructura para recarga de vehículos eléctricos.....	48
3.9	Código Eléctrico Nacional.....	49
3.10	Rendimiento energético en vehículos .....	49
3.11	Eficiencia energética.....	49
3.12	Mantenimiento preventivo .....	50
3.13	Mantenimiento correctivo.....	50
3.14	Análisis de costo de ciclo de vida útil.....	51
3.15	Análisis financiero .....	51
3.16	Valor actual neto (VAN).....	51
3.17	Huella de carbono .....	53
4	Análisis de resultados .....	54
4.1	Objetivo n.º 1 .....	54
4.1.1	Características de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños	54
4.1.2	Contexto operacional del Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños..	55
4.1.3	Revisión de la oferta de ambulancias eléctricas en el mercado .....	61
4.2	Objetivo n.º 2 .....	63
4.2.1	Infraestructura eléctrica requerida y diseño de la acometida .....	63
4.3	Objetivo n.º 3 .....	75
4.3.1	Escenario 1. Ambulancias actuales.....	77
4.3.2	Escenario 2. Ambulancia eléctrica.....	83
4.3.3	Escenario 3. Ambulancia combustión interna nueva .....	90

4.3.4	Resumen de costos de ciclo de vida útil para cada uno de los escenarios que se evaluaron.....	94
4.3.5	Análisis financiero .....	95
4.3.6	Análisis comparativo .....	96
4.4	Objetivo n.º 4 .....	97
4.4.1	Emisiones asociadas a cinco ambulancias de combustión interna.....	99
4.4.1	Emisiones asociadas a cinco ambulancias eléctricas .....	101
4.4.2	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes emitidas por la flota de cinco ambulancias de combustión interna.....	102
4.4.3	Análisis comparativo .....	104
5	Conclusiones y recomendaciones .....	105
5.1	Conclusiones.....	105
5.2	Recomendaciones .....	107
6	Bibliografía .....	109
7	Apéndices.....	116
7.1	Apéndice A. Cálculo del costo de la infraestructura eléctrica .....	116
7.2	Apéndice B. Cálculo eficiencia energética .....	117
7.3	Apéndice C. Análisis financiero ambulancias eléctricas .....	118
7.4	Apéndice D. Análisis financiero ambulancias combustión interna .....	119
7.5	Apéndice E. Registro de kilometraje recorrido y combustible consumido de la flotilla actual de ambulancias por placa .....	120
7.6	Apéndice F. Registro de mantenimientos preventivos y correctivos de la flotilla actual de ambulancias por placa .....	122
7.7	Apéndice G. Cronograma .....	126
8	Anexos .....	127
8.1	Anexo 1. Ficha técnica Shineray X30 EV .....	127



8.2	Anexo 2. Ficha técnica Toyota Hiace Techo Alto .....	128
8.3	Anexo 3. Ficha técnica estación de carga tipo WallBox .....	129
8.4	Anexo 4. Cotización de estaciones de carga WallBox .....	130
8.5	Anexo 5. Matriz de mantenimiento preventivo Toyota Hiace Techo Alto.....	131
8.6	Anexo 6. Artículos del Código Eléctrico Nacional que se utilizan .....	132

## Índice de figuras

Estructura organizacional Caja Costarricense de Seguro Social.....	23.
Estructura organizacional del servicio de transporte del Hospital Nacional de Niños.....	24.
Descripción del proceso productivo del servicio de transportes del Hospital Nacional de Niños.....	24
Desviación del problema debido a que no cuenta con estudios técnico-financieros para. Evaluar la sostenibilidad de las ambulancias eléctricas.....	26.
Resumen de los Ejes de Descarbonización y Estrategias transversales.....	38.
Ciclo de operación del motor de cuatro tiempos.....	41.
Ciclo de operación del motor de dos tiempos.....	41.
Rotor de un motor eléctrico.....	42.
Estator de un motor eléctrico.....	42.
Armadura de un motor eléctrico.....	43.
Conmutador de un motor eléctrico.....	43.
Batería LFP.....	44
Estación de carga Nivel 2.....	46.
Distancia mensual recorrida en kilómetros por las ambulancias a lo largo del año 2022.....	56.
Combustible mensual consumido en litros por las ambulancias a lo largo del año 2022.....	57.
Rendimiento promedio anual en kilómetros por litro de las cinco ambulancias. En el año 2022.....	58.

Shineray X30 EV microbús que se seleccionó para el estudio.....	61.
Temperaturas mínimas y máximas en San José, Costa Rica.....	66.
Representación gráfica del estacionamiento del edificio donde se ubican las ambulancias....	68.
Ubicación parte visible de la instalación eléctrica.....	69.
Representación gráfica de la distancia del circuito ramal para las estaciones de carga.....	69.
Representación gráfica de la ubicación y distancia del circuito alimentador.....	73.
Estructura de distribución de costos del ciclo de vida útil para un vehículo de combustión interna.....	75
Estructura de distribución de costos del ciclo de vida útil para un vehículo eléctrico.....	75.
Cantidad total de litros de diésel consumido mensualmente por las cinco ambulancias. En el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022.....	77.
Costo total de diésel consumido mensualmente por las ambulancias en el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022.....	77.
Cotización revisiones de mantenimiento preventivo para 100 000 km.....	92.

## Índice de tablas

Tabla 1. Metodología del proyecto.....	37.
Tabla 2. Especificaciones técnicas de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños.....	53
Tabla 3. Dimensiones de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños...	54.
Tabla 4. Destinos y respectivas distancias recorridas.....	55.
Tabla 5. Número de traslados realizados por las ambulancias en el año 2022.....	56.
Tabla 6. Rendimiento mensual en km/l de las ambulancias a lo largo del 2022.....	59.
Tabla 7. Especificaciones técnicas de la oferta actual de ambulancias eléctricas.....	60.
Tabla 8. Dimensiones de las ambulancias eléctricas disponibles en el país.....	60.
Tabla 9. Características eléctricas del transformador trifásico del edificio de tamizaje.....	62.
Tabla 10. Potencia máxima demandada.....	63.
Tabla 11. Cálculo de la potencia aparente instalada en el transformador.....	63.
Tabla 12. Cálculo de la potencia total aparente de las estaciones de carga.....	64.
Tabla 13. Especificaciones técnicas estación de carga tipo Wallbox.....	65.
Tabla 14. Corriente de línea para los circuitos ramales.....	65.
Tabla 15. Cálculo de la corriente de diseño de los circuitos ramales.....	67.
Tabla 16. Selección de disyuntores para las estaciones de carga.....	67.
Tabla 17. Selección del calibre de los conductores y puesta a tierra para los circuitos ramales.....	67

Tabla 18. Selección de ducto comercial para los circuitos ramales.....	68.
Tabla 19. Porcentaje de caída de tensión de los circuitos ramales.....	70.
Tabla 20. Cálculo de la corriente de diseño del circuito alimentador.....	71.
Tabla 21. Selección de disyuntor para el circuito alimentador.....	72.
Tabla 22. Selección del calibre de los conductores y puesta a tierra para el circuito. alimentador.....	72
Tabla 23. Selección de ducto comercial para el circuito alimentador.....	72.
Tabla 24. Porcentaje de caída de tensión del circuito alimentador.....	73.
Tabla 25. Costo de adquisición de las ambulancias actuales en el mercado actual.....	76.
Tabla 26. Costo del diésel consumido por kilómetro mensualmente por las ambulancias. En el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022.....	78.
Tabla 27. Gasto en salarios del servicio de transportes.....	78.
Tabla 28. Tarifas autorizadas del seguro obligatorio automotor (SOA) para el 2023.....	79.
Tabla 29. Matriz de mantenimiento preventivo para los vehículos de combustión. interna.....	81
Tabla 30. Costo anual según el tipo de mantenimiento de las 5 ambulancias de combustión. Interna.....	81
Tabla 31. Valor estimado de las ambulancias dentro de 15 años.....	82.
Tabla 32. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las 5 ambulancias de combustión interna actuales.....	83.
Tabla 33. Costos asociados a la adquisición de una ambulancia eléctrica.....	84.
Tabla 34. Costos asociados a la infraestructura eléctrica necesaria para cargar las ambulancias.....	84

Tabla 35. Cantidad aproximada de ciclos de carga al año y dentro de 15 años para cinco ambulancias eléctricas .....	85.
Tabla 36. Costo energético total de cinco ambulancias eléctricas.....	86.
Tabla 37. Costo anual por mantenimiento preventivo asociado a 5 ambulancias. eléctricas.....	88
Tabla 38. Costo anual por mantenimiento correctivo asociado a cinco ambulancias. eléctricas.....	88
Tabla 39. Valor estimado de las ambulancias eléctricas dentro de 15 años.....	89.
Tabla 40. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las cinco. ambulancias eléctricas.....	90
Tabla 41. Costo de adquisición de cinco ambulancias de combustión interna nuevas.....	90.
Tabla 42. Costo de combustible diésel total de cinco ambulancias de combustión. interna nuevas.....	91
Tabla 43. Costo anual por mantenimiento preventivo para cinco ambulancias. De combustión interna nuevas.....	93.
Tabla 44. Costo anual por mantenimiento correctivo asociado a cinco ambulancias de. combustión interna nuevas.....	93
Tabla 45. Valor estimado de las ambulancias eléctricas dentro de 15 años.....	94.
Tabla 46. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las cinco. Ambulancias de combustión interna nuevas.....	95.
Tabla 47. Resumen de costos de ciclo de vida útil para cada uno de los escenarios. Evaluados.....	95
Tabla 48. VAN asociado a la compra de 5 ambulancias de combustión interna. Nuevas y 5 ambulancias eléctricas nuevas.....	96.
Tabla 49. Factores de emisión para combustibles.....	99.

Tabla 50. Factores de emisión para uso de lubricantes.....	99.
Tabla 51. Factores de emisión para el uso de electricidad.....	99.
Tabla 52. Combustible diésel consumido por las cinco ambulancias en el año 2022.....	100.
Tabla 53. Emisiones anuales de gases de efecto invernadero asociadas al consumo. de combustible.....	100
Tabla 54. Emisiones de gases de efecto invernadero que se generan a lo largo del ciclo. De vida útil asociado al consumo de combustible.....	100.
Tabla 55. Tipo y cantidad total de lubricante requerido por cada una de las ambulancias.....	101.
Tabla 56. Emisiones anuales asociadas al uso de lubricantes.....	101.
Tabla 57. Emisiones a lo largo del ciclo de vida útil asociadas al uso de lubricantes.....	101.
Tabla 58. Emisiones anuales asociadas al uso de electricidad.....	102.
Tabla 59. Emisiones a lo largo del ciclo de vida útil asociadas al uso de electricidad.....	103.
Tabla 60. Potencial de calentamiento global para gases refrigerantes.....	104.
Tabla 61. Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes al año asociadas a la flota de cinco. Ambulancias de combustión interna.....	104.
Tabla 62. Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes al año asociadas a la flota de cinco. ambulancias eléctricas.....	105
Tabla 63. Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes a lo largo del ciclo de vida útil.....	105.

## Abreviaturas

Aresep: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

BCCR: Banco Central de Costa Rica.

CCSS: Caja Costarricense de Seguro Social.

CCV: costo de ciclo de vida útil.

CO<sub>2</sub>eq: dióxido de carbono equivalente.

GEI: gases de efecto invernadero.

HNN: Hospital Nacional de Niños.

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

J: Joule

kg: kilogramo

km: kilómetro

kW: kilovatio

kWh: kilovatio-hora

l: litros

LFP: litio-ferrofosfato

NEC: Código Eléctrico Nacional

NFPA: Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.

PND: Plan Nacional de Descarbonización.

PNE: Plan Nacional de Energía.

PNTE: Plan Nacional de Transporte Eléctrico.

PPCN: Programa País Carbono Neutralidad.

SOA: seguro obligatorio automotor

TCO<sub>2</sub>e: tonelada de dióxido de carbono equivalente.

VAN: valor actual neto



## Resumen ejecutivo

En el presente informe se llevó a cabo un estudio de prefactibilidad tecnicofinanciero con el propósito de evaluar la viabilidad de reemplazar la flota actual de cinco ambulancias de combustión interna en el servicio de transportes del Hospital Nacional de Niños por una flota de cinco ambulancias eléctricas. Este se enmarca como una estrategia destinada a fortalecer las acciones para la descarbonización del país, lo que contribuye a alcanzar niveles de emisiones mínimos, de acuerdo con los objetivos climáticos globales de mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2 °C. Como primer paso en este proceso, se realizó un análisis de las características técnicas y el contexto operativo de las ambulancias de combustión interna que actualmente posee el servicio de transporte del Hospital Nacional de Niños, para examinar posteriormente las opciones disponibles en el mercado costarricense de vehículos eléctricos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas. El vehículo eléctrico seleccionado es un microbús Shineray X30 EV con una capacidad de 41.86 kWh y una autonomía de hasta 305 km. Para cargar las baterías de estas ambulancias eléctricas, se seleccionaron cinco cargadores modelo WallBox de la marca ELCO, con una potencia de 7600 W cada uno.

Una vez definido el vehículo y su respectivo sistema de carga, se procedió al diseño y la cotización de la infraestructura eléctrica necesaria para cargar las ambulancias, siguiendo las pautas establecidas en el Código Eléctrico Nacional (NEC).

El análisis financiero contempló el costo de ciclo de vida útil de una flota de ambulancias, tanto eléctricas como de combustión interna nuevas durante un periodo de 15 años. Este análisis abarcó los costos que se relacionan con la adquisición, operación, mantenimiento y desecho de la flota de ambulancias, lo que incluye los costos asociados a la infraestructura eléctrica para las ambulancias eléctricas. Los resultados demostraron de manera concluyente que las ambulancias eléctricas presentan el menor costo de ciclo de vida útil y el menor valor actual neto (VAN) durante el periodo de estudio.

Finalmente, se realizó un análisis del impacto ambiental que supondría la sustitución de la flota actual de ambulancias de combustión interna por ambulancias eléctricas. Los resultados revelaron un ahorro sustancial del 97.21 % en términos de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> emitidas a lo largo del periodo de estudio, lo que subraya el impacto positivo de la transición a movilidad eléctrica.

## **Abstract**

In the present report, a technical and financial pre-feasibility study has been conducted with the purpose of assessing the viability of replacing the current fleet of five internal combustion ambulances in the National Children's Hospital Transport Service with a fleet of five electric ambulances. This study is framed as a strategy aimed at strengthening actions for the decarbonization of the country, contributing to achieving minimal emissions levels in line with global climate goals to keep global temperature rise well below 2 °C. As the first step in this process, an analysis of the technical characteristics and operational context of the current internal combustion ambulances owned by the National Children's Hospital Transport Service was conducted, followed by an examination of the available options in the Costa Rican market for electric vehicles that meet the required technical specifications. The selected electric vehicle is a Shineray X30 EV minibus with a capacity of 41.86 kWh and a range of up to 305 km. To charge these electric ambulances, five WallBox brand chargers with a power of 7600 W each were selected.

Once the vehicle and its respective charging system were defined, the design and quotation of the necessary electrical infrastructure for charging the ambulances were carried out following the guidelines established in the National Electrical Code (NEC).

The financial analysis included the life cycle cost of a fleet of new electric and internal combustion ambulances over a 15-year period. This analysis covered costs related to the acquisition, operation, maintenance, and disposal of the ambulance fleet, including the costs associated with the electrical infrastructure for electric ambulances. The results conclusively demonstrated that electric ambulances have the lowest life cycle cost and the lowest net present value (NPV) during the study period.

Finally, an analysis of the environmental impact of replacing the current fleet of ambulances with electric ambulances was conducted. The results revealed a substantial 97.21 % savings in terms of equivalent tons of CO<sub>2</sub> emissions over the study period, highlighting the positive impact of transitioning to electric mobility.

# 1 Introducción y los antecedentes

La electrificación del sector del transporte se considera una vía principal para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar el cambio climático del planeta. En la actualidad los vehículos eléctricos ingresan rápidamente al mercado y debido al progreso del sector, una pregunta crucial que surge es si estos pueden usarse como vehículos de respuesta de emergencia y en particular como ambulancias, sin comprometer su capacidad para atender a las personas necesitadas (Rigas *et al.*, 2022).

A pesar de las muchas interrogantes que genera la idea de cambiar a la movilidad eléctrica en vehículos de emergencia, el Servicio Nacional de Salud británico (NHS) por sus siglas en inglés, presentó la primera ambulancia de cero emisiones del mundo en la cumbre global de la ONU COP26 en octubre de 2021 (Robinson, 2022). Para este propósito, el NHS cooperará con Ford y el grupo Venari para desarrollar un vehículo correspondiente basado en el Ford Transit. La ambulancia está diseñada para una tripulación de dos personas y ofrecerá un alcance de 250 mi o unos 400 km y la producción está programada para comenzar en 2022. Todas estas iniciativas nacen gracias a la indicación del gobierno del Reino Unido que decidió permitir solo automóviles y camionetas con cero emisiones a partir de 2030 (Hampel, 2021).

De igual manera, un proveedor líder de servicios de salud móviles anunció que su filial con sede en el Reino Unido, Ambulnz Community Partners, agregará seis ambulancias eléctricas a su flota. La primera de estas ambulancias eléctricas entró en servicio operativo para contribuir con los objetivos de su Plan Verde introducido en 2022, que incluye ambiciones de una reducción del 75 % en las emisiones de los viajes de negocios para 2030 y una reducción de las emisiones generales de gases de efecto invernadero del 85 % para 2032. El vehículo tiene las mismas capacidades que las ambulancias comunitarias diésel y un alcance de aproximadamente 120 mi antes de necesitar recargarse. Las ambulancias eléctricas también cuestan menos de operar y mantener, lo que significa un mejor valor a largo plazo para el servicio de salud (Business Wire, 2023).

Según Heynes (2022): «Ocho consorcios de ambulancias del noroeste del Reino Unido están preparados para probar ambulancias eléctricas. Esto es parte de un objetivo más amplio de descarbonizar el NHS y lograr emisiones netas cero para 2040» (s. p.).

Para el caso del continente americano, las empresas Demers Ambulance y Lion Electric Company presentaron la ambulancia Demers eFX, la primera ambulancia totalmente eléctrica y especialmente diseñada, cuya comercialización está prevista para el segundo semestre de 2022. En este periodo se contempla el despliegue de al menos 1.500 ambulancias 100 % eléctricas durante los próximos 5 años (Demers Ambulances, 2021).

La empresa Lightning eMotors con sede en USA lanzó al mercado la ambulancia de tránsito Lightning ZEV3™ tipo II, disponible en versiones con un alcance de 140 mi y 200 mi. Esta camioneta brinda un servicio práctico y confiable, al mismo tiempo que produce cero emisiones en la carretera (Lightning eMotors, 2023).

En Costa Rica, según el Ministerio de Ambiente y Energía (Minae) y el Registro Nacional de la Propiedad (RNP), la flotilla institucional es de 254 automóviles y 14 vehículos especiales. De estos la Caja Costarricense de Seguro Social y el Ministerio de Salud, cuentan con 14 automóviles eléctricos de los cuales ninguno es una ambulancia eléctrica (Ministerio de Ambiente y Energía, 2023). A pesar del aumento de políticas e iniciativas para concientizar a la población costarricense acerca de las ventajas de la electromovilidad, no se ha desarrollado y consolidado la cultura de movilidad eléctrica en el sector transporte (Tecnológico de Costa Rica, 2022).

Debido a esto, surge la importancia de incentivar a la población para investigar e invertir en esta nueva tecnología. Así, se le da a la sociedad la confianza y seguridad para invertir aún más y con esto cumplir con las metas del gobierno sobre el camino a la descarbonización de la economía según lo que establecen el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública del Bicentenario 2019-2022, el Plan Nacional de Descarbonización 2018- 2050 y el Plan Nacional de Energía 2015-2030 que buscan, para el sector de transporte, reducir las emisiones de contaminantes al ambiente.

De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018): «De cada 10 personas en el mundo respiran una mala calidad del aire, lo que se traduce en alrededor de 7 millones de muertes al año» (s. p.). Costa Rica no es la excepción, según el Informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: «En el año 2012 el sector transporte fue responsable por la emisión del 44% de las emisiones de gases de efecto invernadero» (Instituto Meteorológico Nacional, 2020, s. p.).

Además, un estudio realizado por la Cepal resalta la importancia de analizar la relación entre el sector del transporte y la contaminación del aire. En este sentido, factores como la magnitud de la flota vehicular, el tipo de motor que se utiliza y la calidad de los combustibles desempeñan un papel crucial en la generación de concentraciones diferenciadas de contaminantes (NU Cepal, Subsede de México, 2007).

Para el caso de Costa Rica: «En el sector transporte son diversos los tipos de vehículos que contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub>, donde un 19.8% de la flota vehicular de Costa Rica utiliza el combustible Diésel» (Tecnológico de Costa Rica, 2022, s. p). Es relevante señalar que las ambulancias del Hospital Nacional de Niños también emplean combustible diésel como fuente de energía. Sin embargo, según Herrera y Rojas (2020) los vehículos que circulan por carretera, independientemente del tipo de combustible que utilicen no solo generan emisiones por el escape, sino que también por otros medios:

- Emisiones por el escape: estas ocurren solamente cuando el vehículo se encuentra en movimiento y corresponden a subproductos de la combustión incompleta.
- Emisiones evaporativas: estas consisten principalmente en compuestos orgánicos volátiles que permean de forma fugitiva en todo el sistema de combustión.

Las emisiones evaporativas pueden ser:

- En reposo caliente: se presenta luego de apagar el motor debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación, ocasionado por el calor residual del motor.

- En operación: se ocasionan por las fugas de vapores de combustible que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.

En este contexto, con la adquisición de ambulancias eléctricas, las emisiones descritas son inexistentes. Además, se estaría un paso más cerca de las metas nacionales de reducción de emisiones, en las que Costa Rica se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 25 %, es decir, pasar de 12 400 000 t de 2012 a 9 400 000 t en 2030 (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019).

Para lograr la meta nacional de carbononeutralidad, Costa Rica ha adquirido diferentes políticas, planes y regulaciones en el marco legal para mitigar las emisiones de los combustibles fósiles. Algunos de los documentos y acuerdos del país más importantes en el contexto internacional y regional que se alinean con estos temas se mencionan a continuación:

- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Se reconoció internacionalmente el hecho de que la protección del ambiente y la administración de los recursos naturales deben integrarse en las cuestiones socioeconómicas de pobreza y subdesarrollo (Naciones Unidas, 2002).
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El objetivo final de esta convención es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antropógenas (inducidas por el hombre) peligrosas en el sistema climático (Naciones Unidas, 1994).
- Protocolo de Kioto. Se ratificó mediante la Ley n.º 8219 durante el segundo periodo de compromiso, se busca reducir las emisiones de GEI al menos un 18 % con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de 8 años comprendido entre 2013 y 2020 (BBVA, 2023).
- Acuerdo de París. Se ratificó mediante la Ley n.º 9405, el objetivo principal del acuerdo es reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la

temperatura global en este siglo a 2 °C y esforzarse para disminuir este incremento a incluso más de tan solo el 1,5 °C (Naciones Unidas, 2015).

- Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020. Esta tiene como objetivo fundamental asegurar el abastecimiento energético de Centroamérica, en calidad, cantidad y diversidad de fuentes. Lo anterior es necesario para garantizar el desarrollo sostenible, teniendo en cuenta la equidad social, crecimiento económico, la gobernabilidad y compatibilidad con el ambiente, de acuerdo con los compromisos ambientales (NU Cepal, Subsede de México, 2007).
- Plan de Descarbonización 2018-2050. Establece las acciones de cambio en las áreas clave para revertir el crecimiento de emisiones de gases de efecto invernadero, así como fomentar la modernización y dinamización de la economía verde (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018).
- Plan Nacional de transporte 2011-2035. Establece como una de sus metas: «Asegurar la sostenibilidad del sistema de transportes como vía de minimizar el impacto en el ambiente, potenciando la imagen del país como destino privilegiado para actividades de turismo y especialmente de ecoturismo» (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2011, s. p).
- VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 Establece la política energética con una orientación central de sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones, con base en el uso de fuentes limpias y renovables (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018).

De esta forma, al implementar políticas, planes y regulaciones, se facilita el desarrollo del transporte eléctrico en el país. Esto implica una disminución en el consumo de derivados de petróleo y un incremento en la participación de las energías renovables en la matriz energética. Estos cambios tienen un impacto significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyen a promover la sostenibilidad energética (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019).

Además del beneficio ambiental, la incorporación de vehículos eléctricos implica ventajas económicas. Estas ventajas no se limitan únicamente a la reducción del consumo de derivados de

petróleo, sino que también se hacen evidentes cuando se calcula el costo total durante el ciclo de vida útil de estos vehículos.

En marzo de 2022, profesores del Tecnológico de Costa Rica realizaron un estudio tecnicofinanciero basado en el análisis del ciclo de vida útil para la comparación de un vehículo eléctrico tipo carga liviana contra uno de combustible fósil, para tres empresas ubicadas en la Gran Área Metropolitana. Lo anterior dio como resultado que el costo de operación de un vehículo eléctrico es 4,5 veces menor que el vehículo actual de combustión interna (Toyota Hiace) y 3.5 veces menor si se compara con la compra de un vehículo nuevo de combustión interna (Tecnológico de Costa Rica, 2022).

En junio de 2023, Barrantes (2023) desarrolló un análisis de costo de ciclo de vida útil, tanto para el bus eléctrico como para el bus de combustión interna, donde se tomaron en cuenta los costos de adquisición, operación, mantenimiento y descarte, lo que permitió la comparación entre ambos. En dicho análisis se encontró que el TCO de la flota de buses eléctricos, tanto como el VAN de los costos del respectivo proyecto, son ambos menores que el de la flota de buses diésel nuevos, en un 12.50 % y 5.70 % respectivamente.

En resumen, todo lo anterior tiene el fin de lograr un impacto sustancial en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad energética (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019). Además de los avances en el campo de la ingeniería, resulta crucial la intervención del gobierno mediante la creación de leyes e incentivos que fomenten la movilidad eléctrica.



## **1.1 Datos del Hospital**

### **1.1.1 Ubicación**

El Hospital Nacional de Niños se ubica en el Paseo Colón, San José, Costa Rica, sobre calle 20, Avenida 0, contiguo al Hospital San Juan de Dios.

### **1.1.2 Reseña del Hospital**

En 1954 Costa Rica fue azotada por la epidemia de poliomielitis que afectó principalmente a la población infantil y dejó secuelas en 1085 menores. Esta situación inspiró en el Dr. Sáenz Herrera la idea de construir un hospital, el cual contara con instalaciones adecuadas para la atención de los menores. Este proyecto arrancó con la ayuda de la Junta de Protección Social de San José.

El 28 de mayo de 1956 se suscribió el contrato correspondiente con la firma de ingenieros y arquitectos White, Noaskes y Neubauer de Washington para el desarrollo de los planos, gracias al financiamiento conjunto de la Junta de Protección Social y del Servicio Cooperativo de Salud Pública. Así, el 24 de mayo de 1964 se inauguró el Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera, con una ceremonia solemne que contó con la presencia del presidente de la República Francisco J. Orlich. De esta manera, se iniciaron las labores dentro de un edificio que contaba con 16 000 m<sup>2</sup> de área de construcción, 500 camas de internamiento, 400 empleados y 6 especialidades en consulta médica y no médica. Todos dispuestos a cultivar con devoción el comportamiento ético laboral y asumiendo la responsabilidad que se otorgó en ese momento al Hospital.

### **1.1.3 Misión**

«Mejorar la salud de la población del país, brindando una atención especializada, humanizada y de alta complejidad, mediante servicios integrales de calidad, con eficacia, eficiencia, equidad y oportunidad» (Hospital Nacional de Niños, Dr. Carlos Sáenz Herrera, 2004, s. p.).

### 1.1.4 Visión

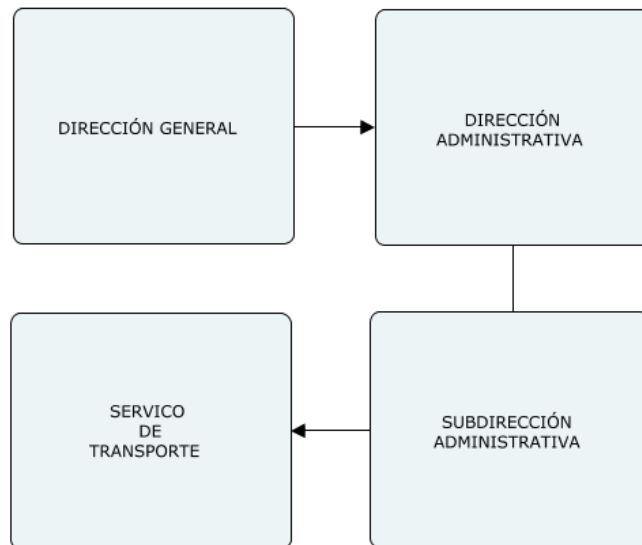
«Ser un hospital pediátrico líder a nivel nacional e internacional, integrado en la red de servicios de salud; dedicado a la atención, docencia e investigación, con énfasis en patología de alta complejidad, mediante la mejora continua de la calidad y la innovación tecnológica» (Hospital Nacional de Niños, Dr. Carlos Sáenz Herrera, 2004, s. p.).

### 1.1.5 Estructura organizacional

La estructura organizacional del Hospital Nacional de Niños está conformada por la Dirección General, la Dirección Administrativa, la Subdirección Administrativa y el Servicio de Transporte. Con respecto a la estructura organizacional del Servicio de Transportes, esta está conformada por la Jefatura, una recepcionista y cinco choferes.

#### Figura 1.

Estructura organizacional del Hospital Nacional de Niños



**Figura 2.**

Estructura organizacional del Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños

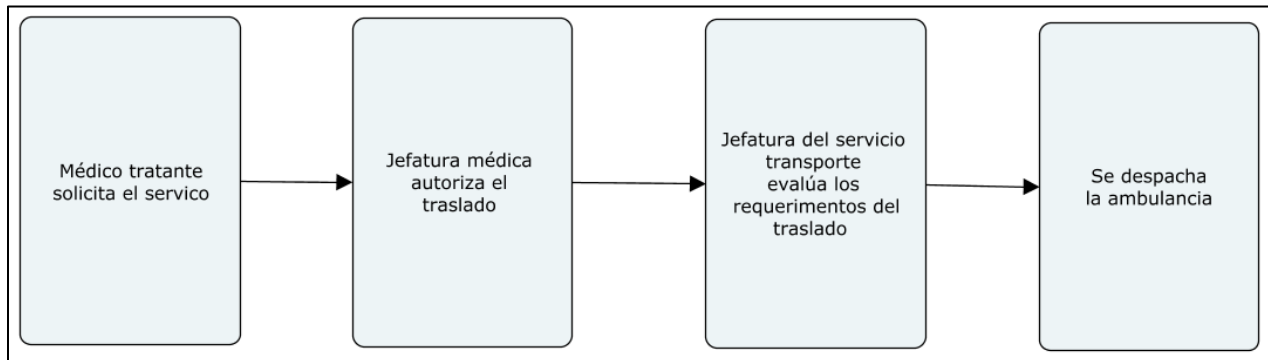


### 1.2 Descripción del proceso productivo

La coordinación de los traslados para los egresos y las citas subsecuentes se inicia a través de una solicitud presentada por el médico tratante. Estas solicitudes deben realizarse con un margen de al menos 8 días de antelación a la fecha programada para la cita médica. La autorización para llevar a cabo el traslado se concede con la supervisión de la Jefatura médica y la logística relacionada con estos traslados queda a cargo de la Jefatura del servicio de transportes.

**Figura 3.**

Descripción del proceso productivo del Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños



## **1.3 Planteamiento del problema**

### **1.3.1 Descripción del problema**

«Costa Rica aspira a ser una economía moderna, verde y libre de emisiones netas cero en el 2050» (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018, p. 12). Para esto, el paso más concreto es la electrificación del transporte público (en este caso la electrificación del sector de transporte de pacientes) que mejora la calidad del aire y reducirá emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el sector de transporte de pacientes se enfrenta una carencia significativa en términos de estudios tecnicofinancieros que evalúen la competitividad de la adopción de ambulancias eléctricas, tal como lo demanda el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 y el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030. El propósito de este trabajo final de graduación es contribuir a las aspiraciones del país abordando uno de los principales desafíos que actualmente afectan a Costa Rica: la contaminación derivada del transporte vehicular.

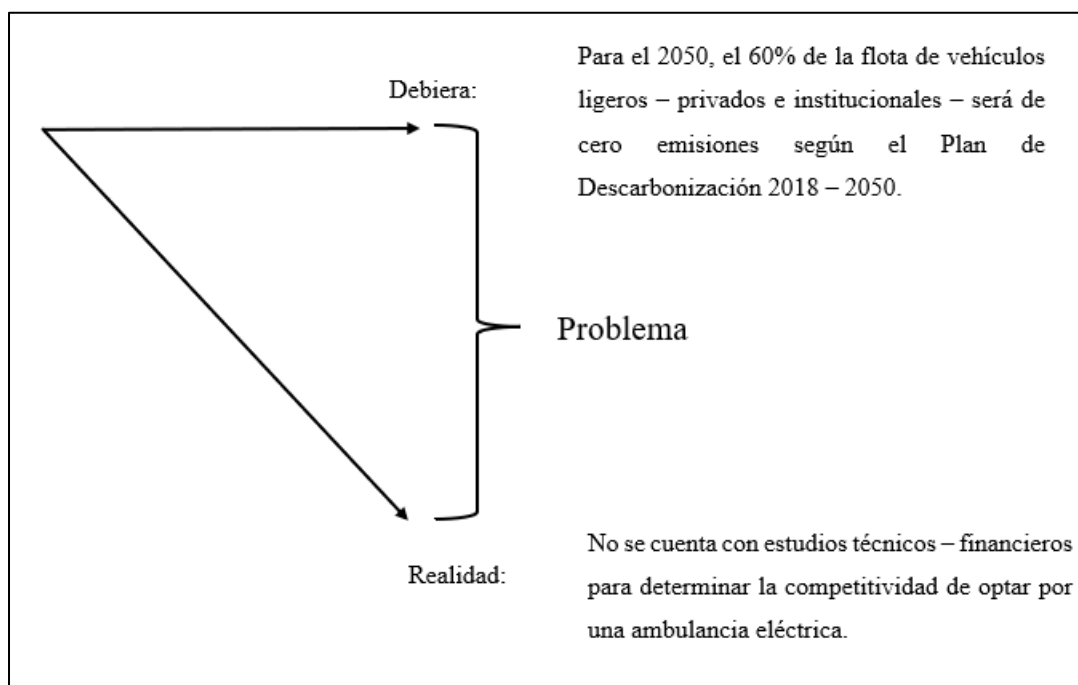
Según el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, realizado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN): «El combustible utilizado para transporte es la principal fuente de emisiones contaminantes de Costa Rica donde aproximadamente 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente provienen de este sector» (Durán, 2021, s. p.).

Para abordar este problema, se plantea la sustitución de la flotilla actual de ambulancias de combustión interna por una flotilla de ambulancias eléctricas. Esta propuesta se justifica a través de los resultados de la metodología del análisis de ciclo de vida útil, así como del cumplimiento de los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 y el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030. La adopción de ambulancias eléctricas presenta el

potencial de generar efectos positivos relevantes en la reducción de estas emisiones, al tiempo que contribuye a la mejora de la salud pública y a la transformación del sector de transporte de pacientes en Costa Rica.

**Figura 4.**

Desviación del problema debido a que no cuenta con estudios tecnofinancieros para evaluar la sostenibilidad de las ambulancias eléctricas



## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el rendimiento en términos de energía y costos de una ambulancia eléctrica en comparación con una de combustible diésel mediante un análisis de costo de ciclo de vida útil que permita la obtención de datos para una toma de decisiones del Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar los requerimientos del Hospital Nacional de Niños en términos de las características de las ambulancias de combustión que poseen y su contexto operativo, para una posterior revisión de la oferta de ambulancias eléctricas en el mercado con características similares.

Indicador de logro: informe con características técnicas de las ambulancias actuales del hospital y ambulancias eléctricas disponibles en el mercado.

- Determinar la infraestructura eléctrica requerida y el diseño de la acometida para la alimentación de la ambulancia eléctrica en una eventual conversión de la flota de ambulancias eléctricas, con base en el Código Eléctrico de Costa Rica.

Indicador de logro: diseño de la acometida para la alimentación de la ambulancia eléctrica y cantidad de puestos de carga.

- Desarrollar un análisis de costo de ciclo de vida útil, tanto para la ambulancia eléctrica como para la ambulancia de combustión interna, donde se tomen en cuenta los costos de adquisición, operación, mantenimiento y descarte que permita la comparación entre ambos.

Indicador de logro: análisis de costo de ciclo de vida útil, considerando 15 años de operación, además de indicadores financieros de ambas ambulancias (VAN).

- Establecer el impacto ambiental y a la salud generado por una eventual conversión de la flota de ambulancias de combustión interna a eléctricas en términos de emisiones de gases contaminantes en la empresa de transporte público.

Indicador de logro: estimación de la cantidad de emisiones de efecto invernadero en toneladas de CO<sub>2</sub> reducidas por el cambio de la flota de ambulancias de combustión interna a eléctricas en el Hospital Nacional de Niños.

## 1.5 Justificación

La realización de este proyecto investigativo tiene como propósito poder optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, con el grado académico de Licenciatura y colaborar con la petición del expresidente de la República del Gobierno de Costa Rica, señor Carlos Alvarado Quesada (2018-2022).

Originar y sintetizar acciones estratégicas para potenciar la descarbonización de la economía costarricense y que así, se haya alcanzado el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global –es decir; la meta de contener el incremento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018, s. p.).

Estas acciones estratégicas encuentran respaldo en la consecución de los objetivos sectoriales que se plantearon en el Plan Nacional de Energía 2015-2030, en el cual se establece:

Fomentar las acciones frente al cambio climático global, mediante la participación ciudadana, el cambio tecnológico, procesos de innovación, investigación y conocimiento para garantizar el bienestar, la seguridad humana y la competitividad del país, y suplir la demanda de energía del país mediante una matriz energética que asegure el suministro óptimo y continuo de electricidad y combustible promoviendo el uso eficiente de energía para mantener y mejorar la competitividad del país (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018, s. p.).

En este caso particular, se busca la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que se relacionan con el transporte a través de la promoción de la movilidad eléctrica. Este enfoque se respalda en el informe Programa País Carbono Neutralidad oficial del Gobierno de Costa Rica (2019) que destaca la movilidad eléctrica como una oportunidad para reducir



emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica al cambiar los combustibles derivados del petróleo por la electricidad como vector energético. Esto se debe a que la matriz eléctrica en Costa Rica se caracteriza por su notable predominio de recursos renovables.

Según el informe División de operación y control del sistema eléctrico (2023) la producción de electricidad con fuentes renovables durante el año 2022 fue de un 99.3 %, donde un 75 % corresponde a energía hidroeléctrica, 12.9 % a energía geotérmica, 10.9 % a energía eólica, 0.4 % a energía del bagazo y 0.1 % a energía solar. En cuanto a los beneficios hacia la salud, un aspecto para considerar a favor de las ambulancias eléctricas contra las ambulancias de combustión internas, según Lekveishvili *et al.* (2021) son:

Los movimientos y tensiones mecánicas resultantes de la aplicación de fuerzas mecánicas al cuerpo humano lesionado durante el transporte tienen varios efectos posibles, un mayor deterioro de la salud o dolor severo en áreas del cuerpo ya lesionadas, interferencia directa de las vibraciones con la actividad física de los miembros del personal de la ambulancia, daño mecánico o mal funcionamiento del equipo médico. Por lo que la conversión de las ambulancias de combustión internas a ambulancias eléctricas no solo representa una ventaja en temas ambientales, sino que también trae consigo ventajas sociales al disminuir los efectos del impacto y la vibración durante el transporte del paciente (s. p.).

Según el Ministerio de Ambiente y Energía (2018):

La mejora en la calidad del aire derivada de la reducción de emisiones provenientes del transporte automotor, que incidirá positivamente en la salud de la población y también en la economía nacional al reducirse el gasto público asociado a la atención de enfermedades respiratorias (s. p.).

Por lo anterior, se plantea la sustitución de la flotilla actual de ambulancias de combustión interna por una flotilla nueva de ambulancias eléctricas.

Por lo tanto, además de los beneficios inherentes de la movilidad eléctrica, se busca estimular un mayor interés y la inversión, tanto privada como pública, en nuevas tecnologías. Esto se hace con el propósito de desmitificar las suposiciones que la sociedad pueda tener en relación con la movilidad eléctrica.

Para lograr esto se necesita:

La participación activa del Gobierno de la República promoviendo la capacitación y realización de campañas educativas para fomentar el uso del transporte eléctrico, promover políticas para dar a conocer el transporte eléctrico en el país, en coordinación con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, por medio de la promoción de sus beneficios en: mejoras tecnológicas vehiculares, energías limpias, eficiencia energética, disminución de los gases de efecto invernadero (GEI) y ahorro económico para los usuarios al no consumir combustible, así como cualquier otra que determine el reglamento de esta ley (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2018, s. p.).

Así, al concluir el periodo previsto por el Plan Nacional de Energía 2015-2030 se espera:

Un sector transporte con cambios importantes con respecto a su situación actual que se expresen en una mayor importancia del transporte público para movilizar personas en las ciudades del país, la reducción significativa de los tiempos de transporte de personas y mercancías, la reducción notable de los costos unitarios de transporte público y privado y

el aumento en la calidad de vida derivado de la mejora sustancial de los procesos de transporte (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018, s. p.).

En conclusión se debe: «Hacer el cambio a una flotilla vehicular eléctrica resulta de interés para reducir la contaminación ambiental provocada por el actual sistema de movilidad» (Programa País Carbono Neutralidad Oficial del Gobierno de Costa Rica, 2019, s. p).

## **1.6 Viabilidad**

Esta investigación representa un hito en el país al ser la primera en abordar la competitividad de la movilidad eléctrica en el transporte de pacientes. Esto se debe a que esta área es un territorio inexplorado en Costa Rica, por lo que resulta desafiante anticipar su viabilidad con certeza. No obstante, se aprovecha el conocimiento existente en el ámbito de la movilidad eléctrica a través de diversos estudios previos, que servirán como puntos de referencia fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Los estudios previos que se relacionan con la movilidad eléctrica brindan una base sólida teórica para respaldar la exploración de esta posibilidad ambientalista. La disponibilidad tecnológica proporciona acceso a bases de datos ricas en información relevante y a una base teórica robusta y bien argumentada.

Desde una perspectiva financiera, al ser un proyecto de investigación, no se requiere ejecutar acciones inmediatas que involucren recursos económicos. Por lo tanto, la investigación no se ve limitada por un presupuesto predefinido por parte de una empresa u organización.

En términos de recursos humanos, se cuenta con el apoyo del personal del Servicio de Transporte y del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital Nacional de Niños, los cuales compartieron información necesaria para el desarrollo de la investigación.

## 1.7 Alcance

La ausencia de estudios tecnofinancieros actuales que permitan determinar la competitividad de la adopción de ambulancias eléctricas en Costa Rica resalta la necesidad de este proyecto de investigación. En este sentido, este trabajo final de graduación tiene como propósito principal identificar y analizar la situación actual del transporte de pacientes en el país. Además, evaluar la viabilidad técnica y financiera de incorporar ambulancias eléctricas en dicho contexto.

Un aspecto clave abordado por este proyecto es la comprensión detallada de la situación actual del transporte de pacientes en el Hospital Nacional de Niños. Se busca obtener un panorama completo de las prácticas y desafíos existentes en este ámbito, con el fin de establecer una base sólida para la toma de decisiones.

La evaluación de la viabilidad técnica de las ambulancias eléctricas es otro enfoque central de esta investigación. Mediante el análisis de aspectos como la autonomía, la infraestructura de carga y el rendimiento operativo, se pretende determinar la idoneidad de esta tecnología en el contexto de transporte de pacientes.

La viabilidad financiera es también un componente esencial de este proyecto. Se busca examinar los aspectos económicos que se relacionan con la adopción de ambulancias eléctricas, lo que incluye los costos iniciales, los costos operativos, los costos de mantenimiento y de disposición final a lo largo del periodo de estudio, así como las posibles ventajas financieras resultantes de la transición a vehículos eléctricos.

Además de los aspectos técnicos y financieros, este proyecto implica un impacto ambiental positivo al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por el uso de combustibles fósiles. La adopción de ambulancias eléctricas contribuiría directamente a la mejora de la calidad del aire y a la mitigación del cambio climático. Esta iniciativa se encuentra en consonancia con los objetivos establecidos en el plan de Descarbonización 2018-2050 y el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030, lo que evidencia un compromiso concreto con la sostenibilidad y la protección del ambiente.

## **1.8 Limitaciones**

En la presente investigación, se aborda un enfoque exploratorio con el objetivo de analizar la competitividad de la adopción de ambulancias eléctricas en el contexto del Hospital Nacional de Niños. Sin embargo, es importante reconocer que esta investigación se enfrenta a diversas limitantes que influyen en el alcance.

Una de las principales limitantes reside en la falta de datos previos que se relacionan con el tema. La carencia de información relevante en este campo dificulta el proceso de análisis y toma de decisiones. Esta ausencia de datos puede restringir la capacidad para comprender plenamente las características y necesidades específicas del parque vehicular de ambulancias, así como los patrones de uso y los posibles beneficios de la electrificación.

El factor tiempo se presenta como otra limitante fundamental. Debido al plazo establecido para realizar la investigación, resulta difícil realizar un estudio exhaustivo de todos los vehículos de los que dispone el Servicio de Transporte para llevar a cabo las distintas modalidades de traslados.

Cabe señalar que otra limitación significativa es la falta de recursos económicos para llevar a cabo la compra de ambulancias eléctricas, ya que se tendría que destinar un porcentaje del presupuesto anual para la adquisición de las ambulancias. La investigación se desarrolla dentro de un marco exploratorio, lo que implica que no se contempla la adquisición de vehículos en sí. Esta limitación financiera incide en la capacidad de realizar pruebas directas y experimentos prácticos con ambulancias eléctricas, lo que podría proporcionar resultados más concretos.

En términos de confidencialidad, se espera que esta no constituya un obstáculo importante. Como el Hospital Nacional de Niños es una institución de naturaleza pública, se presume que la información necesaria para la investigación no está sujeta a restricciones confidenciales significativas.

## 2 Marco metodológico

Tabla 1. Metodología del proyecto

Objetivo Específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios	Resultados Esperados (Entregables)
Objetivo específico #1: Analizar los requerimientos del Hospital Nacional de Niños en términos de las características de las ambulancias de combustión que poseen y su contexto operativo, para una posterior revisión de la oferta de ambulancias eléctricas en el mercado con características similares.	Recopilación de información sobre características técnicas y operacionales de las ambulancias de combustión que poseen. Investigar ambulancias eléctricas disponibles en el mercado y sus respectivas características	Departamento de transporte, mantenimiento e ingeniería	Organización de la información mediante tablas e informes	Informe con características de las ambulancias del hospital y ambulancias eléctricas disponibles en el mercado.
Objetivo específico #2: Determinar la infraestructura eléctrica requerida y el diseño de la acometida para la alimentación de la ambulancia eléctrica en una eventual conversión de la flota de ambulancias eléctricas basado en el Código Eléctrico de Costa Rica.	Calcular la carga eléctrica necesaria para alimentar la ambulancia eléctrica. Y estimar la capacidad de carga Evaluación de la infraestructura eléctrica del Hospital Nacional de Niños Elaborar el diseño final de la acometida eléctrica y los puestos de carga.	Estudios, tesis, informes, artículos científicos, manuales, normas Código Eléctrico Nacional	Uso de parámetros, datos y técnicas de cálculo de la literatura (NEC 2014).	Diseño de la acometida para la alimentación de la ambulancia eléctrica y cantidad de puestos de carga.
Objetivo específico #3: Desarrollar un análisis de costo de ciclo de vida útil tanto para la ambulancia eléctrica como para la ambulancia de combustión interna, donde se tomen en cuenta los costos de adquisición, operación, mantenimiento y descarte, que permita la comparación entre ambos.	Cálculo de los costos de adquisición, operación, mantenimiento y descarte de una ambulancia de combustión y una ambulancia eléctrica	Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 Plan Nacional Transporte Eléctrico 2018-2030	Uso del análisis del ciclo de vida útil. Interpretación del resultado.	Estudio comparativo entre una ambulancia de combustión vs una ambulancia eléctrica
Objetivo específico #4: Establecer el impacto ambiental y a la salud generado por una eventual conversión de la flota de ambulancias de combustión interna a eléctricas en términos de emisiones de gases contaminantes en la empresa de transporte público.	Investigar las emisiones de gases contaminantes generados por una ambulancia de combustión Estimar la cantidad de GEI en toneladas de CO2 que se podrían disminuir con la implementación de una ambulancia eléctrica	Departamento de Gestión Ambiental Estudios, tesis, informes, artículos científicos, manuales, normas	Procesamiento analítico y cuantitativo de los datos según fuentes bibliográficas.	Muestra de cálculo de CO2

### 3 Marco teórico

#### 3.1 Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

El Plan Nacional de Descarbonización tiene como objetivo lograr una economía descarbonizada para el año 2050, alcanzando niveles de emisiones lo más bajos posible de manera consistente con las metas climáticas globales. Específicamente, la meta de limitar el aumento de la temperatura global a muy por debajo de los 2 °C (idealmente, con un límite de incremento de 1.5 °C) con respecto a los niveles preindustriales. Para iniciar dicho proceso, este plan estratégico es deliberadamente conciso, con el fin de identificar diez ejes de descarbonización en sectores clave y ocho estrategias transversales para potenciar el cambio.

**Figura 5**

Resumen de los ejes de descarbonización y estrategias transversales

10 Ejes de la Descarbonización	8 Estrategias Transversales
1. Desarrollo de un sistema de movilidad basado en transporte público seguro, eficiente y renovable, y en esquemas de movilidad activa.	
2. Transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones, nutrido de energía renovable, no de origen fósil.	
3. Fomento de un transporte de carga que adopte modalidades, tecnologías y fuentes de energía cero emisiones o las más bajas posibles.	A. Reforma integral para la nueva institucionalidad del Bicentenario.
4. Consolidación del sistema eléctrico nacional con capacidad, flexibilidad, inteligencia, y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar energía renovable a costo competitivo.	B. Reforma Fiscal Verde.
5. Desarrollo de edificaciones de diversos usos (comercial, residencial, institucional) bajos estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones.	C. Estrategia de financiamiento y Atracción de Inversiones para la transformación.
6. Transformación del sector industrial mediante procesos y tecnologías que utilicen energía de fuentes renovables u otras eficientes y sostenibles de baja y cero emisiones.	D. Estrategia de Digitalización y de Economía Basada en el Conocimiento.
7. Desarrollo de un sistema de gestión integrada de residuos basado en la separación, reutilización, revalorización, y disposición final de máxima eficiencia y bajas emisiones de gases de efecto invernadero.	E. Estrategias laborales de "transición justa".
8. Fomento de sistemas agroalimentarios altamente eficientes que generen bienes de exportación y consumo local bajos en carbono.	F. Inclusión, derechos humanos y promoción de la igualdad de género.
9. Consolidación de modelo ganadero eco-competitivo basado en la eficiencia productiva y disminución de gases de efecto invernadero.	G. Estrategia de transparencia, métrica y datos abiertos.
10. Consolidación de un modelo de gestión de territorios rurales, urbanos y costeros que facilite la protección de la biodiversidad, el incremento y mantenimiento de la cobertura forestal y servicios ecosistémicos a partir de soluciones basadas en la naturaleza.	H. Estrategia en educación y cultura: La Costa Rica Bicentenario libre de combustibles fósiles.

Fuente: Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050.



### **3.2 Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030**

El Plan Nacional de Transporte Eléctrico tiene como propósito contribuir al modelo de desarrollo sostenible que busca lograr el país, donde la sostenibilidad ambiental es uno de sus principios orientadores para lograr mejores condiciones para el bienestar de la población. El PNTE abarca tres sectores estratégicos: el transporte privado, el transporte institucional y el transporte público y aspira en materia energética y ambiental lo siguiente:

Consolidar la electrificación del transporte nacional promoviendo el uso de fuentes limpias y renovables de energía para contribuir al modelo de desarrollo del país mediante la sostenibilidad ambiental, reduciendo así la dependencia del uso de los combustibles derivados del petróleo y la generación de gases de efecto invernadero (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019, s. p.).

### **3.3 Plan Nacional de Energía 2018-2030**

El Plan Nacional de Energía busca:

Dar un salto cualitativo hacia un horizonte caracterizado por la predominancia de un bajo nivel de emisiones en la economía nacional, el desarrollo de procesos de generación y uso de energía más respetuosos de los límites del entorno natural, la construcción de una matriz energética más capaz de sostener la competitividad de las industrias nacionales y una mayor contribución del sector de energía a la calidad de vida de la población (Ministerio de Ambiente y Energía, 2018, s. p.).

### **3.4 Motor de combustión interna**

Los motores de combustión interna se encuentran entre las máquinas más fascinantes e ingeniosas que, con su invención y continuo desarrollo, han influido positivamente en la historia industrial y social durante el último siglo, especialmente en virtud del papel que desempeñan como tecnología de propulsión por excelencia que se utiliza en el transporte privado y comercial. Los

motores de combustión interna son motores térmicos capaces de convertir una parte importante de la energía térmica liberada por la combustión del combustible en energía mecánica. El motor de combustión interna es capaz de convertir la entrada de energía en forma de calor, en trabajo mecánico, con una eficiencia termodinámica máxima en el rango del 40 %-50 %.

Los motores de combustión interna se pueden clasificar según su ciclo de trabajo en dos categorías principales. Por un lado, están los motores de encendido por chispa, en los cuales se comprime una mezcla de aire y combustible vaporizado. Posteriormente, esta mezcla se enciende mediante una bujía, lo que inicia un proceso de combustión extremadamente rápido debido a que los reactivos ya están premezclados. Estos motores son comúnmente conocidos como motores Otto.

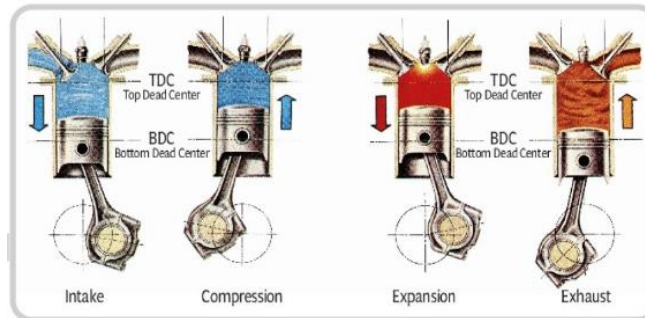
Por otro lado, se encuentran los motores de encendido por compresión, en los cuales el combustible se inyecta en una masa de aire, la cual se comprime y calienta a temperaturas y presiones superiores hasta el punto de autoignición del combustible. A estos motores se les denomina motores diésel.

Según las características del ciclo de trabajo, los dos principales tipos de motores son:

- Los motores de cuatro tiempos, en los que más de la mitad del ciclo de trabajo se dedica a sustituir, al final del ciclo anterior, el contenido del cilindro por la nueva carga.
- Los motores de dos tiempos, en los que la carga del cilindro del ciclo anterior se elimina rápidamente alrededor del punto muerto inferior, lo que reduce la duración del ciclo de trabajo a solo dos tiempos del pistón (compresión y expansión: durante solo una revolución del cigüeñal) (Ferrari, 2022).

**Figura 6**

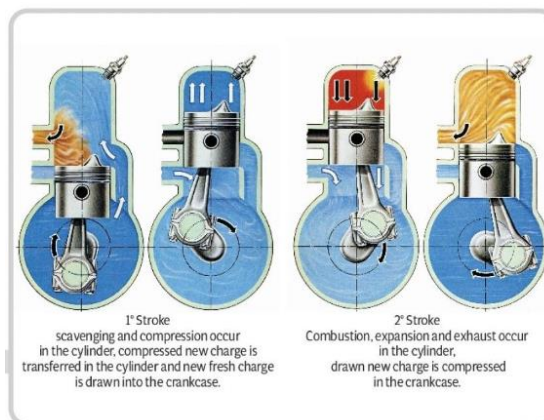
Ciclo de operación del motor de cuatro tiempos



Fuente: Ferrari, 2022.

**Figura 7**

Ciclo de operación del motor de dos tiempos



Fuente: Ferrari (2022).

### 3.5 Motor eléctrico

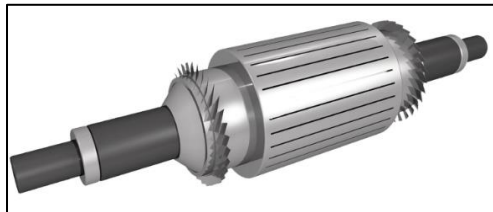
Los motores eléctricos funcionan cambiando la energía eléctrica (CA o CC) a energía mecánica para producir movimiento. La fuerza se crea dentro de un motor mediante la interacción entre la corriente continua (CC) o alterna (CA) del devanado y un campo magnético. A medida que aumenta la intensidad del flujo de corriente, también aumenta la intensidad del campo magnético (Industrial Quick Search, 2022).

Los motores eléctricos cuentan con cuatro componentes principales:

- Rotor: el rotor es la parte móvil que suministra la potencia mecánica. El rotor generalmente contiene conductores que transportan corriente y el campo magnético del estator aplica una fuerza para hacer girar el eje.

### Figura 8

Rotor de un motor eléctrico



Fuente: Industrial Quick Search (2022).

- Estator: rodea el rotor y generalmente sostiene los imanes de campo, estos son electroimanes que consisten en alambre enrollado sobre un núcleo ferromagnético de hierro o imanes permanentes. Estos producen un campo magnético que pasa a través del devanado del rotor, aplicando fuerza sobre el devanado.

### Figura 9

Estator de un motor eléctrico

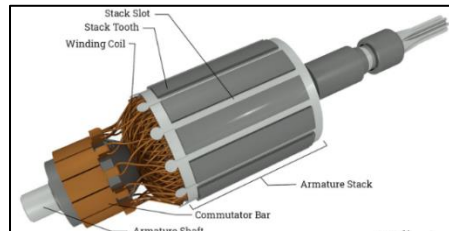


Fuente: Industrial Quick Search (2022).

- Armadura del motor eléctrico: comprende alambre enrollado sobre un núcleo ferromagnético. La corriente que fluye a través del cable hace que el campo magnético ejerza una fuerza de Lorentz sobre él, haciendo girar el rotor que suministra la salida mecánica.

### Figura 10

Armadura de un motor eléctrico

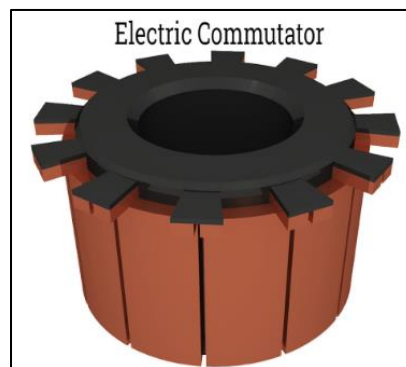


Fuente: Industrial Quick Search (2022).

- Conmutador: es un interruptor eléctrico giratorio que suministra corriente alterna o continua al rotor. Periódicamente, este invierte el flujo de corriente en el devanado del rotor a medida que gira el eje.

### Figura 11

Conmutador de un motor eléctrico



Fuente: Industrial Quick Search (2022).

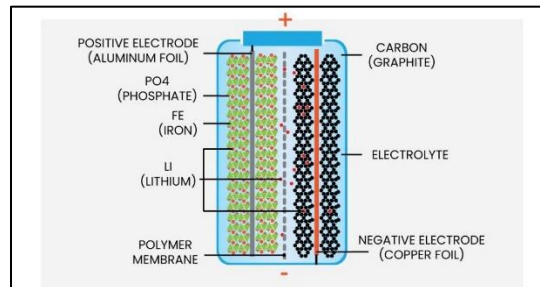
### 3.6 Baterías LFP

La batería de litio-ferrofosfato (LFP por sus siglas en inglés) es una variante de la batería de litio convencional donde este material se sustituye en su mayoría por láminas de fosfatos de hierro concentradas en el polo positivo o cátodo. Un conjunto de cristales de carbono forma el polo negativo o ánodo, entre los cuales se encuentran pequeñas partículas de litio. Como estas están sumergidas en un líquido electrolito, estas partículas obtienen carga eléctrica, abandonando los cristales de carbono y desplazándose al cátodo.

En este proceso se crea la corriente eléctrica, esta se agota cuando todo el litio se aloja descargado en el cátodo (en este caso, entre las láminas de ferrofosfato). Cuando lo anterior ocurre, es posible introducir electricidad desde el exterior para recargar la batería y que las partículas vuelvan a su sitio en el ánodo (García, 2022).

**Figura 12**

Batería LFP



Fuente: García (2022).

### **3.7 Niveles de carga para vehículos eléctricos**

Hay tres niveles de carga para vehículos eléctricos; Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3. Existen diferencias entre cada nivel de carga, sin embargo, como regla general, cuanto mayor sea el nivel, mayor es la potencia de salida del cargador y más rápido puede cargarse.

#### **Nivel 1**

La carga de vehículos eléctricos de Nivel 1 utiliza el cargador de vehículos eléctricos más lento disponible, que proporciona entre 1 kW y 1,8 kW de potencia a través de un tomacorriente de CA estándar de 120 V.

#### **Nivel 2**

La carga de vehículos eléctricos de Nivel 2 es mucho más rápida que la del Nivel 1 y utiliza un tomacorriente de CA de 208 V a 240 V. Los cargadores de Nivel 2 alcanzan un máximo de 22 kW.

#### **Nivel 3**

La carga de vehículos eléctricos de Nivel 3 también se denomina carga rápida de CC y es significativamente más rápida que la carga de vehículos eléctricos de Nivel 2. Las estaciones de carga de Nivel 3 son las opciones de carga de vehículos eléctricos más rápidas y potentes del mercado. Una estación de carga de Nivel 3 utiliza un suministro trifásico 480 V con cargadores capaces de generar más de 360 kW de potencia (Evesco, 2021).

### **Figura 13**

Estación de carga Nivel 2



Fuente: Elco (2020).

### **3.8 Infraestructura para recarga de vehículos eléctricos**

Según el Ministerio de Ambiente y Energía (2019):

La infraestructura de recarga eléctrica es indispensable para la operación de los diferentes tipos de vehículos eléctricos, en cualquiera de sus modalidades: residencial (para automóviles particulares), comercial y de servicios (para flotillas comerciales, turismo, transporte especial, autobuses y vehículos institucionales) o de servicio público (taxis principalmente). El contar con una infraestructura básica de recarga eléctrica dará los futuros compradores de vehículos seguridad y confianza a la hora de adquirir un modelo eléctrico (s. p.).

De acuerdo con el Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (2023):

Cuando se habla de infraestructuras de recarga hay que tener en cuenta la potencia que requerirán, el número de vehículos que las utilizará y el tipo de uso. Y también la infraestructura en sí misma: el cuadro de mando y protección, el que permite activar o desactivar la instalación y actuar de manera automática para evitar accidentes; las canalizaciones, por donde circulan los conductores que alimentan los puntos de recarga;



los conductores, que transportan la energía; y los puntos de recarga, el elemento visible al que conectamos los vehículos (s. p.).

### 3.9 Código Eléctrico Nacional

El Código Eléctrico Nacional (NEC) o NFPA 70 es la norma para la instalación segura de cableado y equipos eléctricos. Es parte de la serie de Códigos Nacionales contra Incendios publicada por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA). El NEC codifica los requisitos para instalaciones eléctricas seguras en una fuente única y estandarizada (Asociación Nacional Contra Incendios, 2020).

### 3.10 Rendimiento energético en vehículos

El rendimiento es la relación que hay entre la cantidad de energía consumida y la distancia que un auto puede recorrer (km). En el caso de los vehículos de combustión interna se expresa en litros por kilómetros (l/km), en el caso de los vehículos eléctricos se expresa en kilovatio-hora por kilómetros (kWh/km) (Que Tan Rendidor es Tu Auto, s. f.)

### 3.11 Eficiencia energética

«El concepto de eficiencia energética hace referencia a la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos» (Repsol, s. f., s. p.). Para calcular la eficiencia energética por kilómetro según la energía que utiliza el vehículo se usa la siguiente conversión:

- Para vehículos de combustión interna:

$$\frac{l}{km} * \frac{\text{poder calorífico del combustible (MJ)}}{l} = \frac{\text{eficiencia energética (MJ)}}{km} \quad (1)$$

- Para vehículos eléctricos:

$$\frac{kWh}{km} * \frac{3.6 (MJ)}{kWh} = \frac{eficiencia\ energética (MJ)}{km} \quad (2)$$

Donde 1 kWh equivale a 3.6 MJ.

### **3.12 Mantenimiento preventivo**

Según STEL Order (2023):

Se define como la acción de revisar de manera sistemática y bajo ciertos criterios a los equipos o aparatos de cualquier tipo (mecánicos, eléctricos, entre otros) para evitar averías ocasionadas por uso, desgaste o paso del tiempo.

El mantenimiento preventivo se adelanta a las averías antes de que ocurran o hace que sean menos graves, por lo que disminuye el gasto en reparaciones y el tiempo en el que los equipos dejan de estar operativos debido a las mismas (s. p.).

### **3.13 Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo consiste en las actuaciones del servicio técnico como respuesta a avisos sobre el mal funcionamiento de algún equipo, activo o proceso. Este comprende un grupo de tareas de índole técnica cuyo propósito es corregir los fallos que sobrevienen en el funcionamiento de la maquinaria. Estas actuaciones pueden solicitarse de forma inesperada, no forman parte de un plan de mantenimiento programado (STEL Order, 2021).

### **3.14 Análisis de costo de ciclo de vida útil**

El análisis de costo de ciclo de vida útil es la suma de las estimaciones de costos, desde la adquisición de un equipo hasta el desmantelamiento de este. Estas están determinadas por un estudio analítico, además de la estimación de los costos totales que tiene en cuenta los incrementos anuales del valor temporal del dinero durante toda la vida del proyecto. El objetivo es cuantificar la totalidad de los gastos (directos o indirectos, fijos o variables) pagados a lo largo de su vida útil (Piedra, 2021).

### **3.15 Análisis financiero**

Según Touvila (2023):

El análisis financiero es el proceso de evaluar negocios, proyectos, presupuestos y otras transacciones relacionadas con las finanzas para determinar su desempeño e idoneidad. Normalmente, el análisis financiero se utiliza para analizar si una entidad es lo suficientemente estable, solvente, líquida o rentable como para justificar una inversión monetaria.

El análisis financiero se utiliza para evaluar tendencias económicas, establecer políticas financieras, elaborar planes a largo plazo para la actividad empresarial e identificar proyectos o empresas para invertir. Esto se hace mediante la síntesis de cifras y datos financieros. Un analista financiero examinará minuciosamente los estados financieros de una empresa: el estado de resultados, el balance y el estado de flujo de efectivo (s. p.).

### **3.16 Valor actual neto (VAN)**

El valor actual neto (VAN) representa la diferencia entre el valor presente de las entradas de efectivo y el valor presente de las salidas de efectivo a lo largo de un periodo determinado. Este indicador se emplea ampliamente en la gestión de presupuestos de capital y la planificación de

inversiones, con el fin de evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto en perspectiva (Fernando, 2023).

Para calcular el valor presente neto se hace con el uso de la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \frac{FC}{(1+k)^1} + \frac{FC}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n} \quad (3)$$

Donde:

- $I_0$  = Inversión inicial.
- FC = flujo de caja.
- K = tasa de descuento nominal.

El valor actual neto tiene tres posibles resultados:

- VAN positivo: significa que el proyecto o la inversión pueden ser rentables y vale la pena continuar.
- VAN negativo: significa que es poco probable que el proyecto o la inversión sean rentables y, probablemente, no se debe continuar.
- VAN cero: significa que el proyecto o la inversión no es ni rentable ni costoso (Girardin, 2023).

### **3.17 Huella de carbono**

De acuerdo con Greenpeace México (2020):

La huella de carbono es una métrica ambiental que calcula la totalidad de las emisiones de GEI generadas, directa e indirectamente, por una persona, un grupo, una organización, empresa o incluso un producto o servicio.

La huella de carbono se mide en masa de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e o CO<sub>2</sub>eq). Se usa así porque el CO<sub>2</sub> es el gas más abundante entre los GEI y se utiliza como referencia en la medición del resto de los elementos (s. p.).

## 4 Análisis de resultados

### 4.1 Objetivo n.º 1

**Analizar los requerimientos del Hospital Nacional de Niños en términos de las características de las ambulancias de combustión que poseen y su contexto operativo para una posterior revisión de la oferta de ambulancias eléctricas en el mercado con características similares.**

#### 4.1.1 Características de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños

El Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños cuenta con 6 vehículos administrativos, 5 ambulancias y 3 motocicletas para la atención de las necesidades de los pacientes del hospital en las diferentes modalidades de transporte. La flotilla de ambulancias del Hospital se compone de cuatro unidades microbús y una unidad todoterreno (4 × 4). Cuatro de las unidades fueron adquiridas por la CCSS y una de ellas fue donada por la empresa Dos Pinos.

Para determinar las características más relevantes de la flotilla actual de ambulancias, se llevó a cabo un proceso de recopilación de datos mediante la revisión para cada una de las unidades del expediente físico, documentos oficiales como el manual de usuario, el registro de inspección vehicular y el registro de circulación de cada unidad. Estos documentos suministraron la información técnica más relevante que posteriormente se empleó como punto de partida para llevar a cabo una comparación con las especificaciones de un vehículo eléctrico. En la Tabla 2 se detallan las especificaciones de las ambulancias de combustión interna actuales.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños

Marca	Modelo	Estilo	Peso bruto (kg)	Combustible	Cilindrada (m3)	Potencia (kw)	Torque (Nm)	Capacidad del tanque (l)	Valor
Nissan	2008	Urvan	1960	Diesel	3000	77	225	70	\$ 24,295.00
Toyota	2010	Hiace	3125	Diesel	3000	80	286	70	\$ 48,769.57
Mercedes Benz	2011	Sprinter	2480	Diesel	2100	95	305	75	Donación
Toyota	2016	Hiace	3250	Diesel	2500	68	243	70	\$ 45,150.00
Toyota	2016	Land Cruiser	3200	Diesel	4000	96	285	70	\$ 57,925.00

Con respecto a la cantidad de pasajeros dentro de la unidad que se traslada en cada viaje, esta depende de la patología de los pacientes, si se requiere camilla, incubadora, algún dispositivo de seguridad (*booster*, silla o portabebé), silla de ruedas o equipo médico. En promedio en condiciones normales se llegan a trasladar hasta cuatro pasajeros (chofer, auxiliar de Enfermería, paciente y acompañante).

Asimismo, es importante mencionar que además de los pacientes se traslada de forma ocasional: sueros, tanques de oxígeno, sangre, leche materna, medicamentos o insumos médicos varios. Además, se transportan equipos médicos requeridos por los pacientes según su condición clínica, desde incubadoras y ventiladores hasta bombas de infusión u otros.

Dado lo expuesto sobre la cantidad de pasajeros y equipo médico que se traslada en cada viaje, es fundamental tener un conocimiento detallado de las dimensiones de las unidades de transporte que se utilizan. Esto no solo es relevante para garantizar la comodidad y seguridad de los pacientes, sino que también sirvió como punto de comparación en el momento de revisar la oferta de ambulancias eléctricas. En la Tabla 3 se muestran las dimensiones de cada unidad.

Tabla 3. Dimensiones de la flotilla actual de ambulancias del Hospital Nacional de Niños

Marca	Modelo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Nissan	Urvan	4790	1690	1990
Toyota	Hiace	5380	1880	2285
Mercedes Benz	Sprinter	5910	1993	2415
Toyota	Hiace	4695	1695	1980
Toyota	Land Cruiser	4995	1780	1995

#### 4.1.2 Contexto operacional del Servicio de Transporte del Hospital Nacional de Niños

El Hospital Nacional de Niños, como único centro médico especializado en pediatría en el país ofrece un servicio de transporte básico diseñado para pacientes que no requieren atención médica de emergencia. Este servicio desempeña un papel crucial en la atención pediátrica y brinda

a los pacientes la oportunidad de acceder de forma segura, eficaz y gratuita a sus consultas médicas. A continuación, se mencionan las modalidades de transporte que las ambulancias proporcionan:

- **Traslado de pacientes interhospitalarios:** este servicio permite trasladar a pacientes desde el Hospital Nacional de Niños a otros centros médicos públicos o privados cuando se necesita atención especializada que no se ofrece en este centro pediátrico.
- **Traslado de pacientes dados de alta del hospital a su domicilio:** para pacientes que no pueden moverse por sus propios medios después de recibir atención médica, las ambulancias los llevan de regreso a sus hogares de manera segura.
- **Traslado desde el domicilio a consultas, exámenes y procedimientos programados:** las ambulancias se encargan de llevar a los pacientes desde sus hogares a citas médicas, exámenes y procesos programados en el Hospital Nacional de Niños u otras instalaciones médicas asociadas, como el Centro Nacional de Resonancia magnética en el Hospital Calderón Guardia o el Centro de radioterapia en el Hospital México y de regreso a su domicilio.
- **Traslado ida y vuelta de pacientes hospitalizados para exámenes y procedimientos en otros centros médicos de la Caja Costarricense de Seguro Social:** esto puede incluir traslados para resonancias magnéticas u otros procesos que requieran que los pacientes estén hospitalizados.

Es importante destacar que, debido a que el Hospital Nacional de Niños es el único centro pediátrico en Costa Rica, las ambulancias cubren todo el territorio nacional, desde áreas metropolitanas hasta zonas rurales, extendiéndose desde la frontera norte hasta la frontera sur y desde el océano Pacífico hasta el mar Caribe. Acosta (2022) indica que: «Con respecto a los traslados terrestres se obtuvo una mediana de distancia aproximada entre centros de 96.9 km, con un rango intercuartil de 24 km a 161.5 km» (s. p.).



La Tabla 4 proporciona una lista de destinos y sus respectivas distancias en kilómetros tomando como punto de partida el Hospital Nacional de Niños. Esta información se presenta como una referencia para visualizar los posibles traslados que realizan las ambulancias. Las distancias representan solo el viaje de ida al destino final.

Tabla 4. Destinos y respectivas distancias recorridas

Lugar	Distancia (km)
Hospital La Anexión de Nicoya	298
Hospital de Ciudad Neilly	331
Hospital Tony Facio Limón	160
Hospital de Upala	210
Bribri	245
Las Brisas de la Cruz Guanacaste	310
Santa Teresa de Cóbano	186
Zona Indígena Cabagra	330
Sixaola	247

En relación con la topografía y a los tipos de caminos que las ambulancias transitan con frecuencia, es importante destacar que se enfrentan a una geografía variada. Aproximadamente, el 75 % de las rutas se desarrollan en carreteras asfaltadas, mientras que el 25 % restante abarca caminos rurales que atraviesan distintas clases de terreno. Esto incluye áreas montañosas, zonas costeras, extensas llanuras guanacastecas y regiones del norte y sur del país.

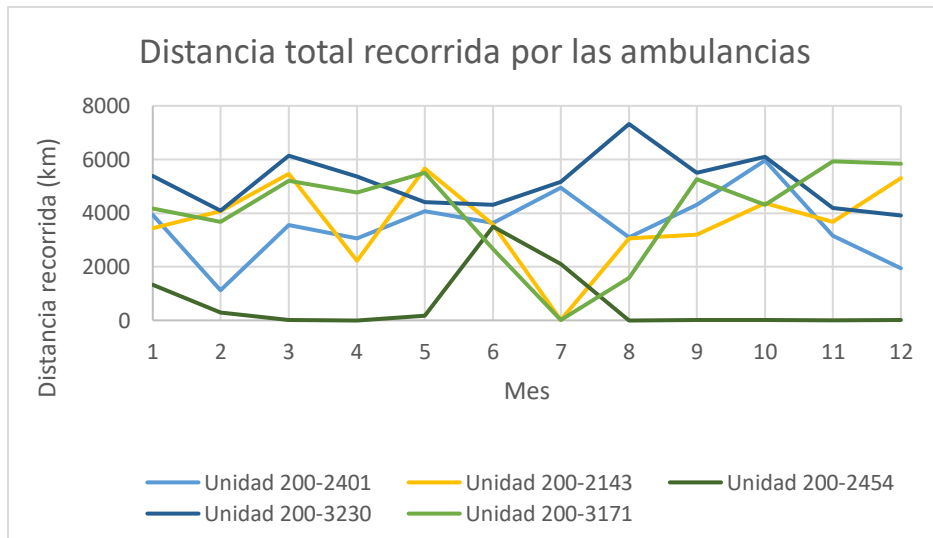
Debido a lo impredecible que son las solicitudes de traslados, las posibles averías mecánicas y el estilo de conducción de los choferes, se observan variaciones en la cantidad de traslados realizados, la distancia recorrida y el consumo de combustible en cada una de las cinco unidades.

Tabla 5. Número de traslados realizados por las ambulancias en el año 2022

Unidad	Número de traslados											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
200-2401	38	34	56	52	55	53	54	56	51	46	38	43
200-2143	32	46	57	25	62	56	1	45	47	55	47	45
200-2454	65	10	1	1	7	44	39	1	3	1	1	1
200-3230	46	64	56	70	70	40	61	64	76	56	58	45
200-3171	35	51	49	43	60	28	2	12	55	54	58	52

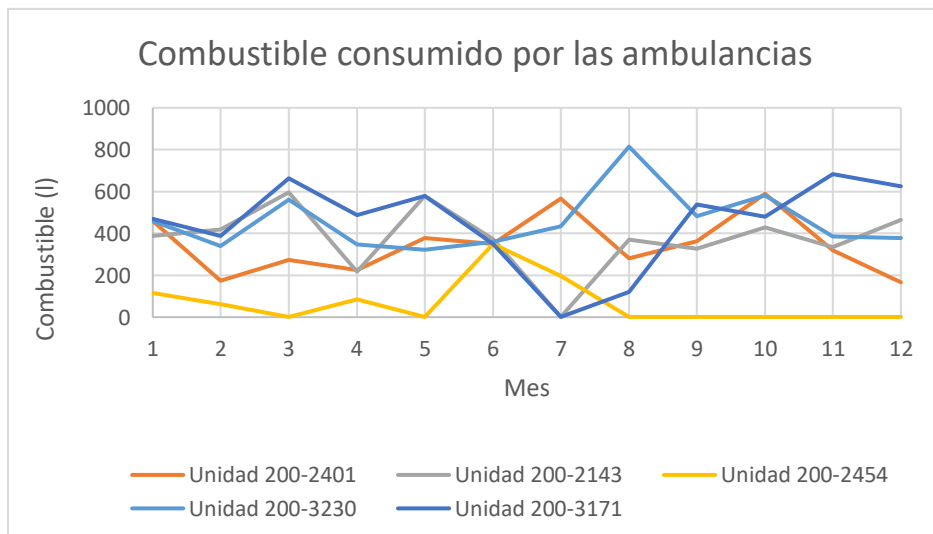
**Figura 14**

Distancia mensual recorrida en kilómetros por las ambulancias a lo largo del año 2022



**Figura 15**

Combustible mensual consumido en litros por las ambulancias a lo largo del año 2022



Según la información deducida de la Tabla 5, en el año 2022 se realizó un total de 2,473 traslados. Se puede observar que la unidad placa 200-3230 se destacó como la ambulancia con la mayor cantidad de traslados a lo largo del año, con un total de 706 salidas, el mes de septiembre es el que se presenta la mayor cantidad de traslados con un total de 76 y en el mes de julio se muestra la menor cantidad de traslados. Por otra parte, la unidad 200-2454 fue la ambulancia con la menor cantidad de traslados, contabiliza solo 1 salida por mes en 6 de los 12 meses del año. Esto se debe a que la unidad estuvo fuera de servicio durante esos meses por desperfectos mecánicos.

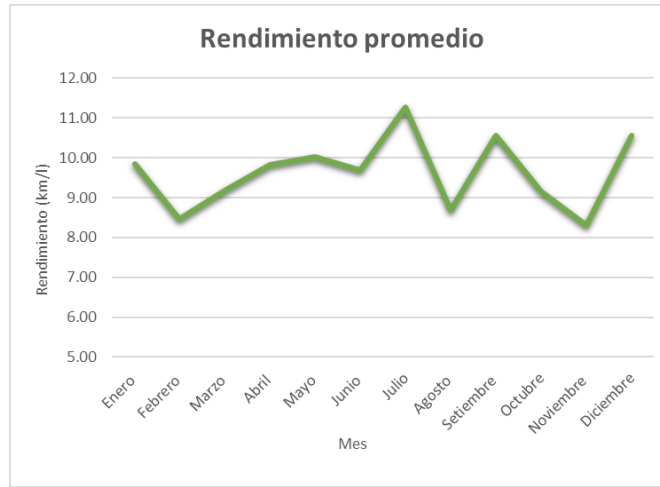
No obstante, es fundamental considerar el hecho de que una ambulancia registre un mayor número de viajes no necesariamente significa que habrá recorrido la mayor distancia o consumido la mayor cantidad de combustible.

Para ejemplificar lo anterior, en la Figura 14 y la Figura 15 se destaca el caso de la unidad placa 200-3230, que realizó un total de 64 traslados en el mes de agosto, registró en ese mismo mes la mayor cantidad de distancia recorrida con un total de 7321 km, consumió un total de 814.55 l de combustible y su rendimiento fue de 8.99 km/l. En contraste, en el mes de septiembre, aunque tuvo la mayor cantidad de traslados con un total de 76, recorrió un total de 5512 km y consumió 482 l de combustible y su rendimiento fue de 11.43 km/l. Esta información sugiere que, en términos de eficiencia en el uso de combustible, el mes de septiembre fue más favorable para la unidad 200-3230 a pesar de tener una carga de trabajo más alta en términos de traslados.

Esta variabilidad en los datos lleva a considerar otro aspecto relevante, además de la distancia total recorrida y el consumo de combustible. Esto hace referencia al rendimiento promedio en kilómetros por litro (km/l) de las ambulancias durante el año 2022. Este indicador es importante, ya que ofrece una visión más precisa de la eficiencia en el uso de combustible de las unidades a lo largo de todo el año.

**Figura 16**

Rendimiento promedio anual en kilómetros por litro de las cinco ambulancias en el año 2022



Para tener una comprensión más completa de los datos recopilados sobre el rendimiento, la Tabla 6 muestra el rendimiento por mes de cada ambulancia para el periodo 2022.

Tabla 6. Rendimiento mensual en km/l de las ambulancias a lo largo del 2022

Rendimiento Mensual												
Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
200-2401	8.55	6.41	12.95	13.54	10.76	9.35	8.75	11.00	11.89	10.12	9.95	11.69
200-2143	8.82	9.75	9.17	10.31	9.76	9.57	12.00	8.26	9.74	10.18	11.00	11.42
200-2454	11.36	4.69	5.00	0.05	174.00	10.00	10.72	2.00	10.00	6.00	1.00	10.00
200-3230	11.70	12.04	10.93	15.44	13.70	11.95	11.88	8.99	11.43	10.48	10.87	10.35
200-3171	8.86	9.47	7.85	9.82	9.50	7.61	13.00	13.20	9.75	8.98	8.68	9.34

De esta manera, los 2473 de traslados realizados representaron para las ambulancias un total de 205018 km recorridos y un total de 20208.35 l de diésel consumidos para atender las diversas necesidades de los pacientes. Lo anterior se traduce en un rendimiento promedio anual de 10.14 km/l.

### 4.1.3 Revisión de la oferta de ambulancias eléctricas en el mercado

En primer lugar, es importante destacar que en Costa Rica no se comercializan vehículos eléctricos específicamente diseñados y etiquetados como *ambulancias*. Esto aplica tanto a vehículos de combustión como a vehículos eléctricos. En vez de esto, lo que la Caja Costarricense de Seguro Social hace es adquirir vehículos tipo microbús y luego lleva a cabo las modificaciones para adecuarlos a las necesidades requeridas para su uso como ambulancias.

Esto significó que la revisión de ambulancias en Costa Rica se basó en la búsqueda de vehículos eléctricos tipo microbús o tipo miniván que puedan satisfacer las características técnicas necesarias para desempeñar las funciones de una ambulancia de manera eficiente. Es decir, esta búsqueda se centró en buscar vehículos eléctricos que se asemejen a la flotilla actual de ambulancias en términos de especificaciones técnicas.

En el caso específico de la unidad placa 200-3171, se trata de un vehículo diseñado para operar en todo tipo de terrenos, lo que implica que cuenta con tracción  $4 \times 4$  y una caja reductora de velocidades, conocida como *transfer*. Esto se debe a que esta unidad está diseñada para enfrentar terrenos difíciles y cuenta con características técnicas específicas, no se encontró un vehículo eléctrico que cumpla con estas mismas especificaciones en Costa Rica.

Una vez que se ha comprendido las características técnicas de las ambulancias actuales y su contexto operativo, se inicia una preselección de ambulancias eléctricas, teniendo en cuenta ciertos requisitos mínimos como la potencia, la autonomía, el rendimiento, la capacidad de la batería y sus dimensiones.

Tabla 7. Especificaciones técnicas de la oferta actual de ambulancias eléctricas

Marca	BYD	DFM	Geely	Geely	Ambacar	Maxus	Renault	Wuling	JAC	Shineray
Modelo	T3	EM26	Farizon E5L	Farizon E6L	Karry	EV30 SW	Kangoo ZE	EV50	M3 EV	X30 EV
Peso bruto (kg)	2420	1640	2510	3495	3250	2525	2175	2245	2835	1465
Autonomía (km)	300	220	300	235	280	320	270	300	340	305
Capacidad (kWh)	44.9	41.9	42	50.2	43.5	50	33	43.2	50.23	41.86
Rendimiento (Wh/km)	149.67	190.45	139.53	213.62	155.36	156.25	122.22	144.00	147.74	137.25
Batería	LFP	LFP	LFP	LFP	LFP	LFP	Li-Ion	LFP	LFP	LFP
Potencia (kW)	100	70	60	100	75	85	45	60	150	60
Torque (Nm)	180	230	220	400	265	250	225	220	295	220
Precio	\$ 37,900.00	\$ 35,500.00	\$ 29,900.00	\$ 41,900.00	\$ 39,900.00	\$ 38,800.00	\$ 38,900.00	\$ 27,000.00	\$ 41,490.00	\$ 32,000.00

Tabla 8. Dimensiones de las ambulancias eléctricas disponibles en el país

Marca	Modelo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
BYD	T3	4460	1720	1875
DFM	EM26	4865	1715	2060
Geely	Farizon E5L	4495	1680	1990
Geely	Farizon E6L	5450	1700	1995
Ambacar	Karry	5457	1850	2046
Maxus	EV30 SW	4555	1780	1900
Renault	Kangoo ZE	4282	1829	1805
Wuling	EV50	4490	1612	1900
JAC	M3 EV	5115	1765	1900
Shineray	X30 EV	4495	1680	1990

Según la información anterior, se evidencia que existe un total de diez vehículos eléctricos disponibles en todo el territorio nacional microbús y miniván que cuentan con las características técnicas necesarias para cumplir la función de ambulancia. Para obtener estas características y el precio final de cada vehículo, se llevó a cabo una visita a cada uno de los concesionarios correspondientes.

Tras mantener conversaciones con la Jefatura médica y la Jefatura del taller mecánico, responsable de autorizar la compra de vehículos, se llegó a la conclusión de que el modelo X30 EV de la marca Shineray es el vehículo seleccionado para llevar a cabo el estudio.

**Figura 17**

Shineray X30 EV microbús que se seleccionó para el estudio



Fuente: redes sociales concesionario Ambacar.

## 4.2 Objetivo n.º 2

**Determinar la infraestructura eléctrica requerida y el diseño de la acometida para la alimentación de las ambulancias eléctricas en una eventual conversión de la flotilla actual de ambulancias a ambulancias eléctricas, con base en el Código Eléctrico de Costa Rica.**

### 4.2.1 Infraestructura eléctrica requerida y diseño de la acometida

Para determinar la infraestructura eléctrica necesaria en caso de una eventual conversión de la flota actual de ambulancias y diseñar la acometida de las estaciones de carga de las ambulancias eléctricas, se tomó en cuenta el cumplimiento de las normativas actuales establecidas en el Código Eléctrico Nacional (NEC). Como primer paso, se identificó cuál es la fuente de energía eléctrica que abastecerá a las estaciones de carga. A partir de una conversación mantenida con el jefe del Área de Gestión de Ingeniería y Mantenimiento, se acordó que la energía requerida para cargar las ambulancias es suministrada desde el edificio de tamizaje, el cual cuenta con un transformador trifásico de 300 KVA de capacidad. En la siguiente tabla se presentan las características del transformador.

Tabla 9. Características eléctricas del transformador trifásico del edificio de tamizaje

Potencia del transformador (KVA)	Voltaje lado primario (V)	Voltaje lado secundario (V)	Corriente del lado primario (A)	Corriente del lado secundario (A)
300	13800	208	12.55	832.72

Una vez identificadas las características del transformador, el siguiente paso consistió en llevar a cabo el cálculo de la demanda actual de potencia aparente. Este cálculo se realizó con el fin de asegurar que el transformador actual sea capaz de satisfacer la demanda de energía de las estaciones de carga. En caso de que el transformador existente no cumpla con esta capacidad, se contempla la necesidad de instalar un transformador nuevo.

Tabla 10. Potencia máxima demandada

Mes	Demanda Máxima (kW)
Enero	81.36
Febrero	87.96
Marzo	82.44
Abril	92.28
Mayo	92.04
Junio	92.04

Según Barahona (2022) para determinar la capacidad del transformador en KVA si la carga se expresa en Watts, se debe convertir a KVA. La ecuación que se utilizó para efectuar la conversión es la siguiente:

$$KVA = \frac{Watts}{1000 * F.P} (4).$$

En relación con el factor de potencia, resulta fundamental destacar que la normativa técnica regulatoria AR-NT-SUCOM establece la imposición de un cargo mensual por bajo factor de potencia siempre y cuando la demanda máxima alcance o quede por debajo de los 1000 kW y, al mismo tiempo, el factor de potencia sea inferior a 0.90. Al revisar los registros mensuales de facturación de electricidad, se observa que el importe mensual atribuido al bajo factor de potencia ronda los \$98.34, un monto mensual sumamente bajo, esto sugiere que el valor del factor de potencia se aproxima a 0.9.

Tabla 11. Cálculo de la potencia aparente instalada en el transformador

Demanda Máxima (kW)	Factor de potencia	Potencia Aparente Instalada (KVA)
92.04	0.9	102.27

En relación con la potencia total requerida por las estaciones de carga, debido a la falta de información técnica sobre el cargador proporcionado con los vehículos y la ausencia de datos sobre



el factor de potencia de las estaciones de carga tipo Wallbox, se asumió que tiene un factor de potencia igual a uno. Para calcular la potencia aparente total, se empleó la siguiente ecuación:

$$S (KVA) = \frac{P(W)}{F.P} \times \# \text{ de estaciones de carga} \quad (5)$$

Tabla 12. Cálculo de la potencia total aparente de las estaciones de carga

Potencia estación de carga (kW)	Factor de potencia	Potencial total de las estaciones de carga (kW)	Potencia aparente total (KVA)
7.6	1	38	38

Como se evidencia en la Tabla 11 y la Tabla 12, la potencia aparente instalada es de 102.27 KVA, mientras que la potencia aparente total requerida para abastecer las estaciones de carga es de 38 KVA. Al sumar estas potencias y compararlas con la capacidad del transformador actual, se concluye que el transformador actual es capaz de atender la demanda de potencia de las estaciones de carga.

Una vez que se verificó que el transformador es capaz de abastecer de energía a las estaciones de carga, se calcula la corriente de los circuitos ramales. Para calcular la corriente de los circuitos ramales se llevó a cabo una revisión de las especificaciones técnicas del cargador suministrado por la agencia. Sin embargo, no se obtuvo respuesta en relación con la ficha técnica del cargador. Debido a esta falta de información, se decidió optar por estaciones de carga tipo Wallbox de la marca ELCO.

Tabla 13. Especificaciones técnicas estación de carga tipo Wallbox

Modelo	WLB-30
Potencia de estación	7.6 kW
Tensión eléctrica de entrada	Monofásico trifilar 240 V
Corriente de salida	32 A
Tipo de montaje	Empotrable en pared
Tipo de conector de salida	TIPO1, TIPO2 o GB/T
Número de conectores	1
Longitud de cable	7 m
Estándares	IEC 61851-1, IEC 61851-22
Grado de protección	IP65
Precio	\$ 690 + IVA

Fuente: datos brindados por ELCO, 2023.

Para el cálculo de la corriente de diseño para los circuitos ramales se utilizó la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P * 1000}{V} \quad (6)$$

Donde  $I_L$  es la corriente de línea,  $P$  es el consumo de potencia de la carga en Watts y  $V$  es el voltaje de entrada al cargador. Es importante mencionar que el tiempo de carga de las baterías al 100 % es de aproximadamente 6 horas.

Tabla 14. Corriente de línea para los circuitos ramales

Circuito	Corriente de línea (A)
C-1	36.54
C-2	36.54
C-3	36.54
C-4	36.54
C-5	36.54

Debido a lo anterior y según lo estipulado en el art. 210.19(A)(1)(a) del NEC, las estaciones de carga se deben considerar como cargas continuas. Por lo tanto, el calibre mínimo del conductor del circuito ramal debe tener una ampacidad permitida no menor que la carga no continua más el

125 % de la carga continua. A esto se le conoce como factor de corrección por carga continua ( $FC_{cc}$ ).

Seguidamente, para continuar con el diseño eléctrico es fundamental tener en cuenta el factor de corrección por temperatura ( $FC_T$ ). Este factor es esencial, ya que ningún conductor debe operar a una temperatura que exceda la especificada para el tipo de conductor aislado que se utiliza según se detalla en el art. 310.15(A)(3) del NEC. Para aplicar correctamente este factor es imprescindible conocer la temperatura pico del entorno donde se encuentra la instalación eléctrica.

### Figura 18

Temperaturas mínimas y máximas en San José, Costa Rica

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Máxima	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	26 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Temp.	21 °C	21 °C	21 °C	22 °C	21 °C	21 °C	21 °C	21 °C	20 °C	20 °C	20 °C	21 °C
Mínima	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	17 °C	17 °C	18 °C	18 °C

Fuente: Weather Spark (2022).

En el caso específico del Hospital Nacional de Niños, ubicado en San José, se debe considerar que la temperatura pico en esta región es de 27 °C y según el Código Eléctrico Nacional (NEC), en la Tabla 310.15(B)(2)(a) establece los factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 °C. Al utilizar la Tabla 310.15(B)(2)(a) del NEC, se calculó la corriente de diseño de los circuitos ramales con el uso de la siguiente ecuación:

$$I_{diseño} = I_{línea} * FC_{cc} * FC_T \quad (7)$$

Tabla 15. Cálculo de la corriente de diseño de los circuitos ramales

Circuito	Corriente de línea (A)	Factor de corrección por temperatura	Factor de corrección por carga continua	Corriente de diseño (A)
C-1	36.54	1	1.25	45.67
C-2	36.54	1	1.25	45.67
C-3	36.54	1	1.25	45.67
C-4	36.54	1	1.25	45.67
C-5	36.54	1	1.25	45.67

Una vez obtenida la corriente línea y según lo estipulado en el art. 240.6(A) y el art. 625.40 del NEC, se procedió con la selección del disyuntor.

Tabla 16. Selección de disyuntores para las estaciones de carga

<b>Circuito</b>	<b>Corriente de línea (A)</b>	<b>Factor de corrección por carga continua</b>	<b>Corriente de diseño (A)</b>	<b>Disyuntor</b>
C-1	36.54	1.25	45.67	2P / 50 A
C-2	36.54	1.25	45.67	2P / 50 A
C-3	36.54	1.25	45.67	2P / 50 A
C-4	36.54	1.25	45.67	2P / 50 A
C-5	36.54	1.25	45.67	2P / 50 A

Después de determinar la protección necesaria para cada uno de los circuitos ramales, el siguiente paso implica la selección del calibre de los conductores. En este paso, se utilizó la Tabla 310.15(B)(16) del Código Eléctrico Nacional (NEC) para seleccionar el calibre de los conductores y la Tabla 250.122 se empleó para elegir el calibre de los conductores de puesta a tierra.

Tabla 17. Selección del calibre de los conductores y puesta a tierra para los circuitos ramales

<b>Circuito</b>	<b>Corriente de diseño (A)</b>	<b>Calibre de Fase</b>	<b>Calibre Puesta a Tierra</b>
C-1	45.67	2x #6 AWG THHN	1x #10 AWG THHN
C-2	45.67	2x #6 AWG THHN	1x #10 AWG THHN
C-3	45.67	2x #6 AWG THHN	1x #10 AWG THHN
C-4	45.67	2x #6 AWG THHN	1x #10 AWG THHN
C-5	45.67	2x #6 AWG THHN	1x #10 AWG THHN

Seguidamente, se usó la Tabla 5 del Capítulo 9 del NEC para definir las dimensiones de los conductores. Posteriormente, se empleó la Tabla 4 del mismo capítulo para establecer las dimensiones y el área porcentual de los conductos. Cabe destacar que en este diseño se utiliza tubería metálica tipo EMT.

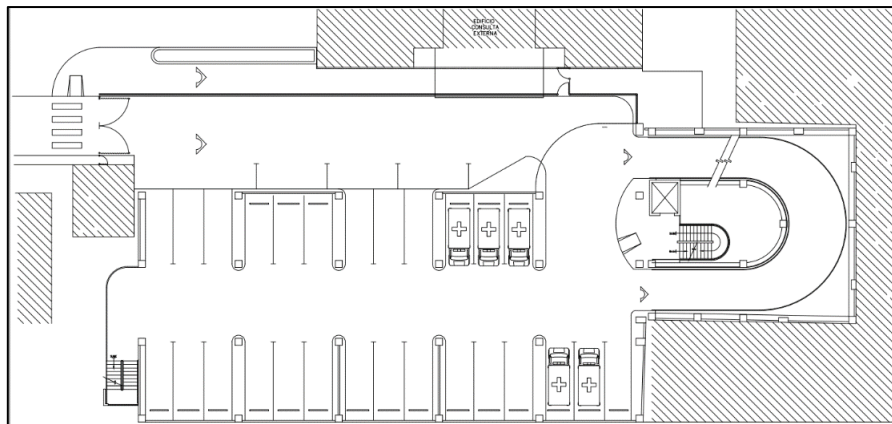
Tabla 18. Selección de ducto comercial para los circuitos ramales

Circuito	Área del conductor fase (mm <sup>2</sup> )	Área del conductor puesta a tierra (mm <sup>2</sup> )	Área total de los conductores (mm <sup>2</sup> )	Tamaño comercial del ducto (in)	Área total del ducto (mm <sup>2</sup> )
C-1	32.71	13.61	79.03	3/4"	343
C-2	32.71	13.61	79.03	3/4"	343
C-3	32.71	13.61	79.03	3/4"	343
C-4	32.71	13.61	79.03	3/4"	343
C-5	32.71	13.61	79.03	3/4"	343

En el art. 210.19(A) del NEC se detalla que los conductores para circuitos ramales deben dimensionarse para evitar una caída de tensión que exceda el 3 % en la salida más lejana. De esta forma, se llevó a cabo una inspección de la infraestructura del estacionamiento del edificio designado para parquear las ambulancias con el fin de definir el espacio para la colocación del tablero secundario y las estaciones de carga.

**Figura 19**

Representación gráfica del estacionamiento del edificio donde se ubican las ambulancias

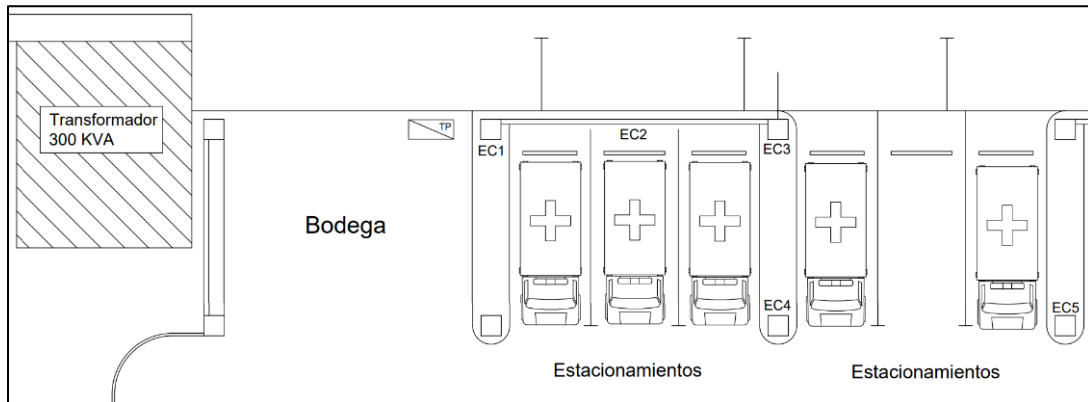


Fuente: Departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital Nacional de Niños.

Una vez que se evaluó y definió el espacio destinado en el estacionamiento para la colocación del tablero secundario y las estaciones de carga, se realizaron las respectivas mediciones para estimar las longitudes necesarias de los conductores tomando como punto de inicio el tablero secundario y como punto final el receptáculo de cada una de las estaciones de carga.

## Figura 20

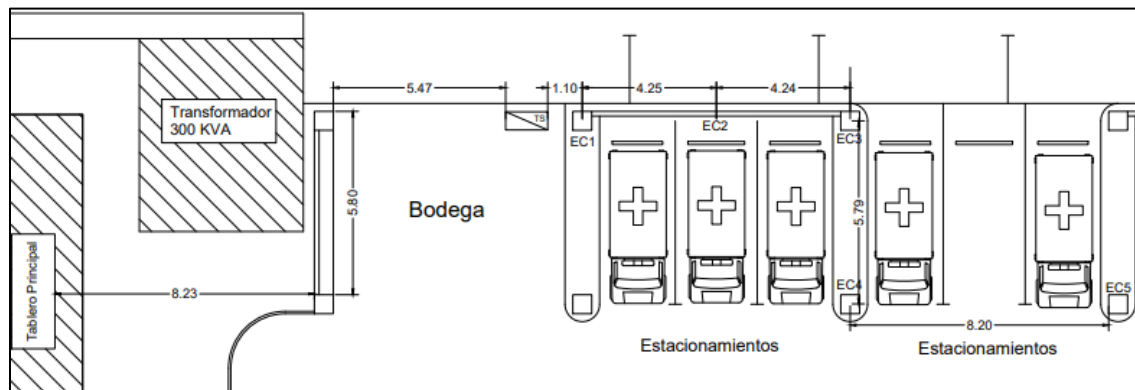
Ubicación parte visible de la instalación eléctrica



Para comprender mejor la figura anterior, EC1, EC2, EC3, EC4 y EC5 son las estaciones de carga para las ambulancias eléctricas y TS es el tablero secundario.

## Figura 21

Representación gráfica de la distancia del circuito ramal para las estaciones de carga



Con respecto a la figura anterior, es importante mencionar que las cotas mostradas se encuentran en metros y que la instalación es área por lo que se debe agregar la distancia de bajada que hay desde el techo hasta la estación de carga. Esta distancia es aproximadamente 1.3 m. Para calcular el porcentaje de caída de tensión se utilizaron las siguientes fórmulas.

$$Z = R \cos \theta + X \sin(\cos^{-1}(\theta)) \%CV = \left( \frac{2 * Z \left( \frac{\Omega}{km} \right) * L(m) * I(A)}{1000 * V(V)} \right) * 100 \quad (9)$$

Donde:

%CV = porcentaje de caída de tensión.

Z = impedancia eficaz del conductor.

L = longitud del conductor.

I = corriente de carga.

V = voltaje de la red.

Los valores de R y X que se utilizan para el cálculo de la impedancia efectiva se detallan en la Tabla 9 del Capítulo 9 del NEC. Es importante recordar que para este cálculo se ha asumido un factor de potencia unitario. En la tabla que se muestra a continuación se exponen los porcentajes de caída de tensión para cada uno de los circuitos ramales.

Tabla 19. Porcentaje de caída de tensión de los circuitos ramales

Circuito	Longitud del conductor (m)	Corriente de la carga (A)	Voltaje (V)	XL (Ω)	R (Ω)	Z (Ω/km)	%CV
C-1	2.40	36.54	208	0.210	1.61	1.61	0.14%
C-2	6.65	36.54	208	0.210	1.61	1.61	0.38%
C-3	10.89	36.54	208	0.210	1.61	1.61	0.62%
C-4	16.68	36.54	208	0.210	1.61	1.61	0.94%
C-5	24.88	36.54	208	0.210	1.61	1.61	1.41%

Finalmente, después de verificar que la selección del calibre de los conductores es la apropiada, ya que no supera el límite del 3 % de caída de tensión, se continuó con la selección de los conductores del circuito que alimentará al panel secundario. Para determinar la corriente de los conductores que van desde el tablero principal hasta el tablero secundario se usó la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P_{Cargador(W)} * 5}{V} \quad (10)$$

Como se mencionó, las estaciones de carga se deben considerar como cargas continuas por lo que es necesario aplicar el factor de corrección por carga continua ( $FC_{cc}$ ), esto según lo estipulado en el art. 210.19(A)(1)(a) del NEC.

Asimismo, se debe tener en cuenta nuevamente el factor de corrección por temperatura ( $FC_T$ ), según se detalla en el art. 310.15(A)(3) y la Tabla 310.15(B)(2)(a) del NEC. La corriente de diseño del circuito alimentador se determinó mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$I_{diseño} = (I_{línea} * FC_{cc} * FC_T) \quad (11).$$

Tabla 20. Cálculo de la corriente de diseño del circuito alimentador

Corriente de línea (A)	Factor de corrección por carga continua	Factor de corrección por temperatura	Corriente de diseño (A)
182.69	1.25	1	228.37

Una vez obtenida la corriente de línea y según a lo estipulado en el art. 240.6, se procedió con la selección del disyuntor.

Tabla 21. Selección de disyuntor para el circuito alimentador

Corriente de línea (A)	Factor de corrección por carga continua	Corriente de diseño (A)	Disyuntor
182.69	1.25	228.37	3P / 250 A

Después de determinar la protección necesaria para el circuito alimentador, el siguiente paso implica la selección del calibre de los conductores. Se utilizó la Tabla 310.15(B)(16) del Código Eléctrico Nacional (NEC) para seleccionar el calibre de los conductores y la Tabla 250.122 se empleó para elegir el calibre del conductor de puesta a tierra.



Tabla 22. Selección del calibre de los conductores y puesta a tierra para el circuito alimentador

Corriente de diseño (A)	Calibre de fase y neutro	Calibre puesta a tierra
228.37	3x 4/0 AWG THHN	1x #4 AWG THHN

Seguidamente, se usó la Tabla 5 del Capítulo 9 del NEC para definir las dimensiones de los conductores. Posteriormente, se empleó la Tabla 4 del mismo capítulo para establecer las dimensiones y el área porcentual de los conductos. Cabe destacar que en este diseño se utiliza tubería metálica tipo EMT.

Tabla 23. Selección de ducto comercial para el circuito alimentador

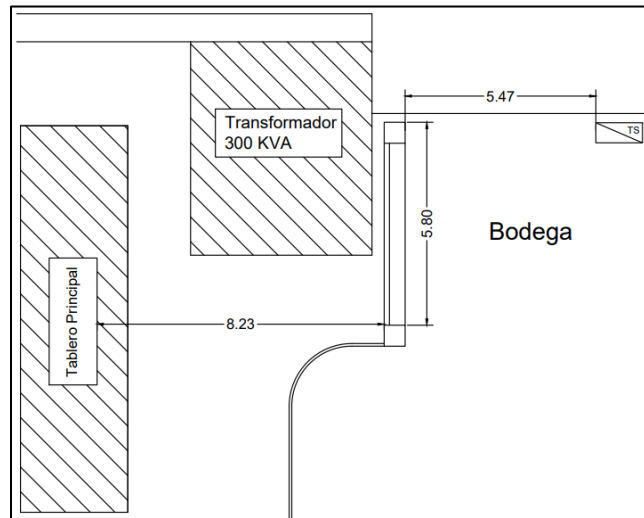
Área del conductor fase (mm <sup>2</sup> )	Área del conductor puesta a tierra (mm <sup>2</sup> )	Área total de los conductores (mm <sup>2</sup> )	Tamaño comercial del ducto (in)	Área total del ducto (mm <sup>2</sup> )
208.8	53.16	679.56	2"	2165

Como siguiente paso se determinó la longitud del conductor para proceder con el cálculo del porcentaje de caída de tensión según lo estipulado en el art. 210.19(A) del NEC, utilizando las fórmulas (2) y (3).

Para determinar la longitud del conductor, se llevó a cabo una inspección del edificio donde se ubica el transformador y el tablero principal. El objetivo de esta inspección fue evaluar y definir el espacio disponible para la instalación del circuito alimentador. Las cotas mostradas en la Figura 10 se encuentran en metros.

## Figura 22

Representación gráfica de la ubicación y distancia del circuito alimentador



Fuente: Departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital Nacional de Niños.

En la tabla que se muestra a continuación se expone el porcentaje de caída de tensión para el circuito alimentador.

Tabla 24. Porcentaje de caída de tensión del circuito alimentador

Longitud del conductor (m)	Corriente de la carga (A)	Voltaje (V)	XL ( $\Omega$ )	R ( $\Omega$ )	Z ( $\Omega$ /km)	%CV
19.50	182.69	208	0.167	0.207	0.207	0.71%

A partir de la tabla anterior, se puede concluir que la selección del calibre de los conductores es adecuada, ya que no supera el límite del 3 % de caída de tensión.

### 4.3 Objetivo n.º 3

**Desarrollar un análisis de costo de ciclo de vida útil, tanto para la ambulancia eléctrica como para la ambulancia de combustión interna, donde se tomen en cuenta los costos de adquisición, operación, mantenimiento y descarte que permita la comparación entre ambos.**

Prat (2022) indica que:

El análisis de ciclo de vida útil es una técnica que permite determinar los impactos ambientales asociados a un producto durante sus diferentes etapas de la vida, cuya finalidad es analizar, de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida (s. p.).

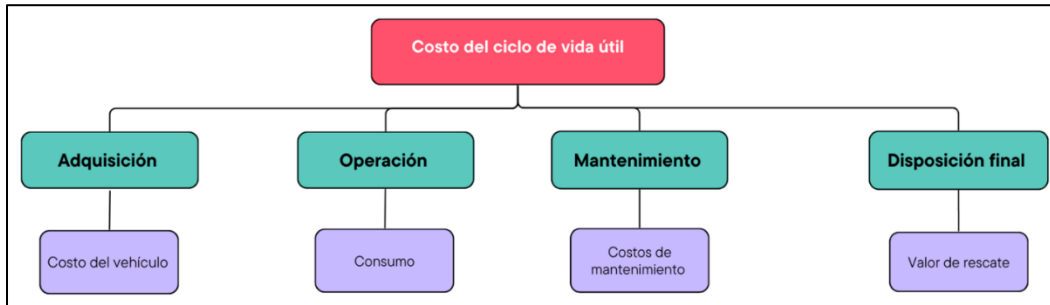
Además de lo ambiental, Piedra (2021): «Señala que el CCV es una herramienta que ayuda a las empresas a maximizar el rendimiento de sus inversiones y minimizar las pérdidas económicas» (s. p.). Para el presente trabajo de investigación se realizan tres escenarios para el análisis de costos, el primero tomando en cuenta las ambulancias actuales que posee la institución, el segundo tomando en cuenta ambulancias eléctricas y el tercero tomando en cuenta ambulancias de combustión interna nuevas.

Debido a lo anterior, para cuantificar la totalidad de los gastos (directos o indirectos, fijos o variables) pagados por la ambulancia a lo largo de su vida útil: «Se desarrolló la estructura de costos asociados al ciclo de vida útil con base en información del fabricante, considerando las etapas de adquisición, operación, mantenimiento y disposición final» (Tecnológico de Costa Rica, 2022, s. p.).

El periodo de análisis corresponde a 15 años. La estructura de distribución de costos asociados al análisis de ciclo de vida útil para los vehículos de combustión interna y para vehículos eléctricos se muestra en la Figura 23 y la Figura 24 respectivamente.

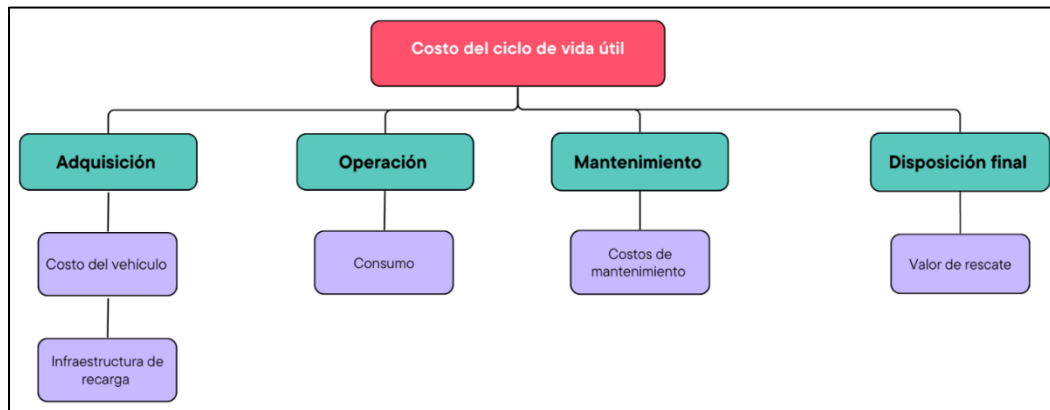
**Figura 23**

Estructura de distribución de costos del ciclo de vida útil para un vehículo de combustión interna



**Figura 24**

Estructura de distribución de costos del ciclo de vida útil para un vehículo eléctrico



En este objetivo, todas las conversiones de dólares a colones se realizan utilizando el tipo de cambio de venta de dólares, con referencia al Banco Central de Costa Rica, establecido para el 22 de septiembre de 2023, el cual es de ₡541,85.

### 4.3.1 Escenario 1. Ambulancias actuales

#### Etapa de adquisición

Para calcular el costo de adquisición de las ambulancias, se parte del valor de compra de estas en sus respectivos años de venta. A este valor se le aplica el factor de depreciación que se encuentra en la Tabla 7 del Decreto n.º 41997-H Actualización de la lista de valores de vehículos, aeronaves y embarcaciones, así como los montos de valor y tasa mínima (Ministerio de Hacienda, 2019). Esto permite estimar el valor de las ambulancias en el mercado costarricense actual.

El valor de compra de las ambulancias en sus respectivos años de venta incluye el costo por la conversión de los vehículos a ambulancias. Este valor se obtuvo de los expedientes físicos de cada una de las ambulancias.

Tabla 25. Costo de adquisición de las ambulancias actuales en el mercado actual

Costo de adquisición VCI					
Vehículo	Año	Precio de venta	Factor de depreciación	Valor Mercado Actual	
Nissan Urvan	2008	\$ 24,295	0.278268	\$ 6,761	₡ 3,663,188.34
Toyota Hiace	2010	\$ 48,770	0.340628	\$ 16,612	₡ 9,001,443.87
Mercedes Benz Sprinter	2011	\$ 63,000	0.376518	\$ 23,721	₡ 12,853,025.53
Toyota Hiace	2016	\$ 45,150	0.599708	\$ 27,077	₡ 14,671,572.86
Toyota Land Cruiser	2016	\$ 57,925	0.599708	\$ 34,738	₡ 18,822,831.84

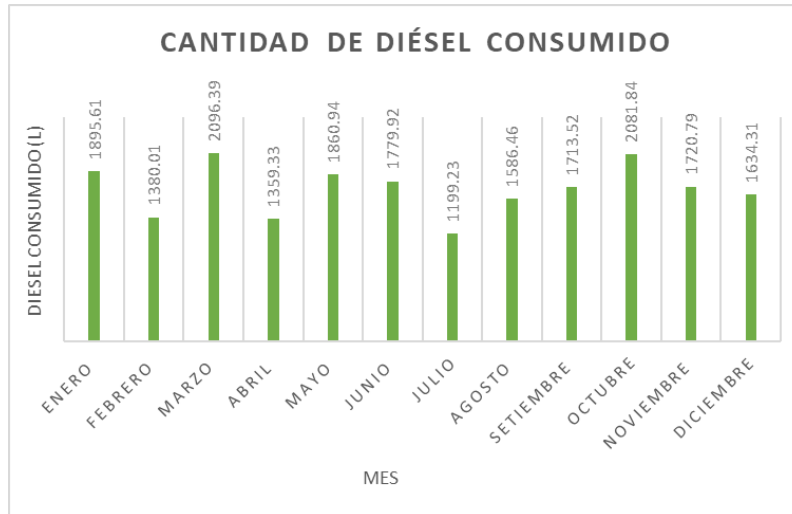
A partir de los datos de la tabla anterior, se estima que el valor total de la flotilla actual de ambulancias en el mercado costarricense es de ₡59.012.062,45.

#### Etapa de operación

En esta etapa se muestran los costos necesarios para mantener el Servicio de Transporte en funcionamiento durante un periodo de aproximadamente 1 año. Para el cálculo, se consideran los costos fijos, como los salarios de los choferes, personal administrativo, derecho de circulación, la revisión técnica vehicular y los costos variables, como el consumo de combustible. En las figuras que se muestran a continuación, se puede observar el consumo de diésel en litros y el costo total del diésel consumido en el periodo establecido.

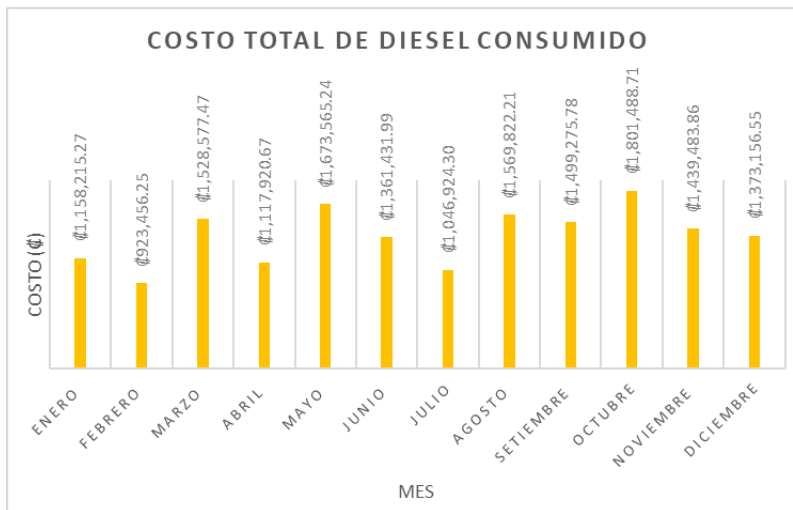
**Figura 25**

Cantidad total de litros de diésel consumido mensualmente por las cinco ambulancias en el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022



**Figura 26**

Costo total de diésel consumido mensualmente por las ambulancias en el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022



Con base en la información presentada en la Figura 25 y la Figura 26, se calculó una estimación del costo por kilómetro recorrido por las ambulancias durante 1 año de operación.

Tabla 26. Costo del diésel consumido por kilómetro mensualmente por las ambulancias en el periodo que abarca desde enero a diciembre de 2022

Mes	Costo por kilómetro (€/km) 2022
Enero	63.53
Febrero	69.78
Marzo	75.04
Abril	72.50
Mayo	84.43
Junio	77.14
Julio	85.51
Agosto	104.29
Setiembre	81.95
Octubre	86.81
Noviembre	84.95
Diciembre	80.75

Al considerar toda la información proporcionada se puede concluir que, en el año 2022, el costo total del combustible diésel consumido alcanzó los €16.493.318,30, con un costo anual promedio por kilómetro recorrido de €80,56/km.

En relación con los salarios del personal administrativo y los choferes, es importante destacar que esta información se obtuvo al consultar la planilla de salario bruto a través de los datos abiertos disponibles en el sitio web oficial de la Caja Costarricense de Seguro Social.

Tabla 27. Gasto en salarios del Servicio de Transporte

Rubro	Costo
Costo mensual personal administrativo y choferes	€ 5,607,078.62
Costo anual personal administrativo y choferes	€ 67,284,943.44

En cuanto al costo de la revisión técnica vehicular, según la resolución RE-0018-IT-2023 Tarifas para el servicio de inspección técnica vehicular establece que para buses, busetas y microbús la tarifa corresponde a €9.240 (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2023).

En lo que respecta al costo del derecho de circulación, conocido también como marchamo, es importante destacar que el Hospital Nacional de Niños, al ser una institución pública, únicamente asume el rubro correspondiente al seguro obligatorio automotor (SOA). En el año 2022, la Superintendencia General de Seguros (Sugese) aprobó las tarifas del seguro obligatorio de automóviles (SOA) para el periodo 2023 (Superintendencia General de Seguros, 2022).

Tabla 28. Tarifas autorizadas del seguro obligatorio automotor para el 2023

Tipo de Vehículo	Primas vigentes 2022	Primas autorizadas 2023	Variación absoluta	Variación relativa
	a	b	b - a	b / a - 1
Particular	¢ 25.215	¢ 25.077	¢ -138	-0,5%
Carga Liviana	¢ 15.876	¢ 17.686	¢ 1.810	11,4%
Carga Pesada	¢ 23.399	¢ 26.931	¢ 3.532	15,1%
Motos y Bicimotos	¢ 82.170	¢ 86.427	¢ 4.257	5,2%
Buses	¢ 71.292	¢ 70.580	¢ -712	-1%
Taxis	¢ 63.085	¢ 69.452	¢ 6.367	10,1%
Equipo especial	¢ 7.286	¢ 7.047	¢ -239	-3,3%
Prima media ponderada	¢ 35.431	¢ 36.513	¢ 1.082	3,1%

Conforme al último derecho de circulación pagado por el Servicio de Transporte, las ambulancias se clasifican como vehículos particulares. Por lo tanto, para el periodo 2023, el costo total del marchamo para las cinco ambulancias es de ₡125.385.

### **Etapas de mantenimiento**

Como parte del mantenimiento de los vehículos, la Dirección de Servicios de Instituciones y el Área de Servicios Generales de la Caja Costarricense de Seguro Social, en los oficios GA-DSI-0467-2016 y DSI-ASG-0563-2016, solicitan a la agencia una garantía contra defectos de fábrica de 100 000 km sin límite de tiempo para la ambulancia, accesorios y transformación en general.

Esta garantía cubre defectos de fábrica o desgaste prematuro en todas las partes del vehículo. En este caso, la empresa adjudicada se compromete a revisar, reparar o cambiar dichas piezas sin costo alguno para la institución, tanto en mano de obra como en repuestos.



Con respecto a las revisiones de mantenimiento preventivo, la empresa adjudicada realiza obligatoriamente 20 inspecciones, en las que se realizan las operaciones técnicas emitidas por el fabricante. Estas operaciones técnicas se encuentran detalladas en la Tabla 25.

Esta cantidad de revisiones técnicas debe ejecutarse cada 5000 km y se considera como mantenimiento preventivo básico. El costo de los insumos por las inspecciones de mantenimiento preventivo debe cancelarse después de recibir el servicio y la empresa adjudicada cubrirá el costo de mano de obra.

Para calcular los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo de las ambulancias actuales, se llevó a cabo una revisión de los expedientes físicos de cada una. En este proceso se clasificaron las facturas en dos categorías distintas:

- Mantenimientos preventivos: aquellos que se relacionan con las operaciones técnicas de la Tabla 29.
- Mantenimientos correctivos: los costos directos que se relacionan con la mano de obra, consumibles y los repuestos que se utilizan en caso de una acción no planificada (Parra y Crespo, 2015).

Tabla 29. Matriz de mantenimiento preventivo para los vehículos de combustión interna

Operaciones Descripción	Matriz de mano de obra																			
	Frecuencia de revisiones en miles de kilómetros																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Cambio de aceite de motor y filtro (diésel)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Limpiar filtro de aire		x				x				x					x					x
Cambiar filtro de aire								x								x				
Balanceo de las ruedas		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Alineamiento de dirección		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Ajuste freno de mano		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Inspección y rotación de llantas		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Engrase general		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Revisar y drenar sedimentador de filtro de diésel		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Inspección aceites transmisión, diferencial, transfer		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Limpiar respiradores transmisión, transfer y diferen		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Limpieza y ajuste frenos delanteros				x		x		x				x		x		x		x		x
Limpieza y ajuste frenos traseros				x		x		x				x		x		x		x		x
Cambio líquido de frenos								x								x				
Ajuste resoque de suspensión				x		x		x		x		x		x		x		x		x
Cambio aceite transmisión manual								x								x				
Cambio aceite diferencial								x								x				
Cambio aceite transfer								x								x				
Cambiar filtro de combustible					x					x					x					x

Una vez realizada la distribución de los gastos, se obtuvo la totalidad de los costos según el tipo de mantenimiento para mantener en servicio las ambulancias.

Tabla 30. Costo anual según el tipo de mantenimiento de las cinco ambulancias de combustión interna

<b>Gasto en mantenimiento</b>	
<b>Preventivo</b>	<b>Correctivo</b>
₡ 4,121,370.87	₡ 13,139,257.52

### **Etapas de disposición final**

La Dirección de Servicios Institucionales del Área de Servicios Generales de la Caja Costarricense de Seguro Social, en el oficio GA-DSI-ASG-PR008 denominado *Procedimiento de Disposición de vehículos en Desuso*, indica las gestiones correspondientes para dar de baja como activo un vehículo institucional. El encargado de la Subárea de Taller Mecánico determina el destino final del vehículo de acuerdo con su estado general, considerando la alternativa de dación en pago o venta mediante proceso de licitación pública, según lo establecido en la Ley de Contratación Administrativa y su reglamento y la normativa institucional.

Para fijar el precio base en que se venden los vehículos eléctricos o dados como opción de pago se utilizan los factores de depreciación establecidos en la Tabla 7 del Decreto n.º 41997-H «Actualización de la lista de valores de vehículos, aeronaves y embarcaciones, así como los montos de valor y tasa mínima» (Ministerio de Hacienda, 2019).

Tabla 31. Valor estimado de las ambulancias dentro de 15 años

Vehículo	Costo mercado 2023	Factor 15 años	Valor del vehículo dentro de 15 años
Nissan Urvan 2008	₡ 3,663,188.34	0.278268	₡ 1,019,348.09
Toyota Hiace 2010	₡ 9,001,443.87	0.278268	₡ 2,504,813.78
Mercedes Benz Sprinter 2011	₡ 12,853,025.53	0.278268	₡ 3,576,585.71
Toyota Hiace 2016	₡ 14,671,572.86	0.278268	₡ 4,082,629.24
Toyota Land Cruiser 2016	₡ 18,822,831.84	0.278268	₡ 5,237,791.77

### Costo del ciclo vida

Para determinar el costo total del ciclo de vida útil de las ambulancias actuales se suman el costo de adquisición, el costo de operación y el costo de mantenimiento. A este resultado se le resta el valor de venta establecido en la etapa de disposición final. La Tabla 17 muestra un resumen de los costos asociados a cada etapa del ciclo de vida útil proyectado para los 15 años.

Tabla 32. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las cinco ambulancias de combustión interna actuales

Rubro	Costo
Costo de adquisición	₡ 59,012,062.45
Costo de operación	₡ 249,973,549.55
Costos fijos	₡ 1,009,274,151.60
Costo de mantenimiento	₡ 258,909,425.85
Valor de venta	-₡ 16,421,168.59
Costo total CCV	₡ 1,560,748,020.85

### 4.3.2 Escenario 2. Ambulancia eléctrica

#### Etapa de adquisición

En esta etapa, se calculan dos costos esenciales para determinar la inversión inicial necesaria para optar por la implementación de una flotilla 100 % eléctrica de ambulancias en el

Hospital Nacional de Niños. El primer costo corresponde a la compra de los vehículos eléctricos con la conversión a ambulancia incluida. El segundo costo se relaciona con la infraestructura eléctrica indispensable para las estaciones de carga.

Tabla 33. Costos asociados a la adquisición de una ambulancia eléctrica

<b>Rubro</b>	<b>Costo</b>	
Costo del vehículo	\$ 32,000.00	₡ 17,339,200.00
Costo conversión a ambulancia	\$ 14,725.00	₡ 7,978,741.25
Total por ambulancia	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25
Total por cinco ambulancias	\$ 233,625.00	₡ 126,589,706.25

Tabla 34. Costos asociados a la infraestructura eléctrica necesaria para cargar las ambulancias

<b>Rubro</b>	<b>Costo</b>	
Costo 5 estaciones de carga	\$ 3,450.00	₡ 1,869,382.50
Costo materiales	\$ 4,069.26	₡ 2,204,929.75
Honorarios ingeniero	\$ 1,037.66	₡ 562,257.09
<b>Total</b>	\$ 8,556.92	₡ 4,636,569.34

En la etapa de adquisición, otro factor importante por considerar es la posibilidad de tener que cambiar la batería del vehículo. En este estudio se seleccionó un vehículo equipado con una batería fabricada por la empresa CATL, que utiliza tecnología de litio-ferrofosfato (LFP) y tiene una capacidad de 41.86 kWh.

La empresa de fabricación de baterías CATL, durante su participación en la Exposición Internacional de Baterías y Sistemas de Almacenamiento de Energía de Europa 2019 (ESS por sus siglas en inglés) indica que su tecnología de batería LFP, debido a sus propiedades electroquímicas, se encuentra entre las tecnologías de baterías más seguras que no solo garantizan una excelente vida útil de hasta 12 000 ciclos de carga, sino que también eliminan el riesgo de peligros que pueden provocar posibles accidentes con daños secundarios (CATL, 2019). De acuerdo con la información proporcionada por el Departamento de Ventas del concesionario Ambacar, la batería de este vehículo tiene una vida útil estimada de 6,000 ciclos de carga.

Para determinar si es necesario realizar el cambio de batería, se parte del supuesto de que las ambulancias eléctricas recorrerán, en promedio, la misma distancia anual que registran las ambulancias de combustión interna actuales. Una vez establecido este punto se divide la autonomía del vehículo eléctrico entre la distancia anual recorrida. Lo anterior tiene el fin de estimar la cantidad aproximada de ciclos de carga necesarios en 1 año.

Tabla 35. Cantidad aproximada de ciclos de carga al año y dentro de 15 años para cinco ambulancias eléctricas

<b>Vehículo</b>	<b>Kilómetros recorridos al año</b>	<b>Autonomía (km)</b>	<b>Ciclos de Carga al año</b>	<b>Ciclos de Carga dentro de 15 años</b>
1	42805	305	140	2105
2	44021	305	144	2165
3	7414	305	24	365
4	61877	305	203	3043
5	48904	305	160	2405

La tabla anterior demuestra que no es necesario reemplazar las baterías a lo largo de la vida útil de las ambulancias eléctricas.

### **Etapas de operación**

En esta etapa se consideran todos los costos necesarios para poder brindar diariamente las diferentes modalidades de transporte que le competen a las ambulancias. Dentro de los costos por considerar están:

- El costo asociado al consumo energético.
- El derecho de circulación.
- La revisión técnica vehicular

En cuanto al costo de la revisión técnica vehicular, según la resolución RE-0018-IT-2023 Tarifas para el servicio de inspección técnica vehicular, se establece que para buses, busetas y microbús la tarifa corresponde a ₡9.240 (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2023). En lo que respecta al costo del derecho de circulación, conocido también como marchamo, como se mencionó solo asume el rubro correspondiente al seguro obligatorio automotor (SOA). Por lo tanto, el costo total anual por concepto de marchamo para las cinco ambulancias es de ₡125.385.

Para establecer los costos asociados al consumo energético, es importante indicar que se parte del supuesto de que las ambulancias eléctricas recorrerán en promedio la misma cantidad de kilómetros que se reportaron en el año 2022 por las ambulancias de combustión interna actuales.

Una vez aclarado lo anterior, el siguiente paso es conocer la empresa que provee el servicio eléctrico y el tipo de tarifa eléctrica que se le aplica al edificio donde se instalan las estaciones de carga. En este caso el ICE es quien brinda el servicio y la tarifa es T-CO Comercio y servicios donde para consumos mayores de 3000 kWh por cada kWh la tarifa es de ₡65.98 (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2023).

Para obtener el costo energético anual de la flota de ambulancias eléctricas, se dividió el kilometraje anual entre la autonomía del vehículo para conseguir la cantidad de ciclos de carga aproximados al año. Posteriormente, se multiplicó la tarifa eléctrica por la capacidad de la batería para obtener el costo por ciclo de carga. Finalmente, se multiplicó el costo por ciclo de carga por la cantidad de ciclos de carga aproximados al año para obtener el costo energético anual.

Tabla 36. Costo energético total de cinco ambulancias eléctricas

<b>Costo energético</b>	
Kilometraje Anual (km)	205021
Autonomía (km)	305
Ciclos de carga aproximados al año	672.2
Capacidad de la batería (kWh)	41.86
Tarifa eléctrica (₡/kWh)	65.98
Costo por ciclo de carga (₡)	₡ 2,761.92
Costo Anual (₡)	₡ 1,856,564.51

## **Fase de mantenimiento**

En esta etapa se consideran los costos que se relacionan con el mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de los vehículos eléctricos. Es importante mencionar que, para la fecha de redacción, no se contaba con la matriz de mantenimiento preventivo del vehículo eléctrico seleccionado.

Por lo tanto, se utilizó la información proporcionada por el Departamento de Ventas de la empresa MG Motors sobre las revisiones de mantenimiento preventivo que la marca realiza en los vehículos eléctricos. Estas inspecciones abarcan aspectos como.

- Estado de la batería
- Motor eléctrico
- Sistema de refrigerado (si aplica).
- Frenado

El vehículo seleccionado cuenta con una garantía de 3 años o 150 000 km y las revisiones de mantenimiento preventivo se recomiendan cada 10 000 km. Estas tienen un costo aproximado de \$250 (C\$135.462,50) cada una, lo que da un total de 15 mantenimientos incluidos por el fabricante. Por lo tanto, el costo de mantenimiento preventivo por 150 000 km recorridos es de \$3,750 (C\$2.031.937,50).

Una vez que se conoce el costo asociado al mantenimiento preventivo, la frecuencia de estos y a partir del hecho de que se recorren los mismos kilómetros en 1 año que las ambulancias de combustión interna actuales, en la Tabla 37 se muestra el costo anual por mantenimiento preventivo.

Tabla 37. Costo anual por mantenimiento preventivo asociado a cinco ambulancias eléctricas

<b>Distancia recorrida (km)</b>	<b>Frecuencia del mantenimiento (km)</b>	<b>Costo anual por mantenimiento (₡)</b>
205021	10000	₡ 2,777,265.72

En cuanto al mantenimiento correctivo, Escobar (2023) lo resume de la siguiente manera.

- Cambio de llantas
- Cambio de pastillas de freno

Para calcular el costo anual de mantenimiento correctivo, se estableció la frecuencia de cambio a partir de la frecuencia con la que se realiza en las ambulancias de combustión actuales. El cambio de llantas se realiza aproximadamente cada 2 años y tiene un costo de ₡151.800 por ambulancia. El cambio de las pastillas de freno se lleva a cabo cada 6 meses y tiene un costo de ₡74.000 por ambulancia. Es importante mencionar que, para obtener el costo por año asociado al cambio de llantas, se dividió el costo total entre 2, ya que se realiza una vez cada 2 años.

Tabla 38. Costo anual por mantenimiento correctivo asociado a cinco ambulancias eléctricas

<b>Cambio de llantas</b>	<b>Cambio pastillas de freno</b>
₡ 379,500.00	₡ 370,000.00

### **Etapas de disposición final**

En esta etapa, se considera la venta o remate del vehículo eléctrico. La Dirección de Servicios Institucionales del Área de Servicios Generales de la Caja Costarricense de Seguro Social, en el oficio GA-DSI-ASG-PR008, Procedimiento de Disposición de vehículos en Desuso, establece las gestiones correspondientes para dar de baja como activo un vehículo institucional. El encargado del Subárea de Taller Mecánico determina el destino final del vehículo de acuerdo con su estado general, considerando la alternativa de dación en pago o venta mediante proceso de



licitación pública, según lo establecido en la Ley de Contratación Administrativa y su reglamento y la normativa institucional.

Para fijar el precio base en que se venden los vehículos eléctricos o dados como opción de pago, se utilizan los factores de depreciación establecidos en la Tabla 7 del Decreto n.º 41997-H Actualización de la lista de valores de vehículos, aeronaves y embarcaciones, así como los montos de valor y tasa mínima (Ministerio de Hacienda, 2020).

Tabla 39. Valor estimado de las ambulancias eléctricas dentro de 15 años

Vehículo	Valor de venta		Factor 15 años	Valor del vehículo dentro de 15 años	
Shineray X30 EV	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25	0.278268	\$ 13,002.07	₡ 7,045,172.88
Shineray X30 EV	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25	0.278268	\$ 13,002.07	₡ 7,045,172.88
Shineray X30 EV	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25	0.278268	\$ 13,002.07	₡ 7,045,172.88
Shineray X30 EV	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25	0.278268	\$ 13,002.07	₡ 7,045,172.88
Shineray X30 EV	\$ 46,725.00	₡ 25,317,941.25	0.278268	\$ 13,002.07	₡ 7,045,172.88

### Costo del ciclo vida

Para determinar el costo total del ciclo de vida útil de las ambulancias eléctricas se suma el costo de adquisición, el costo de operación y el costo de mantenimiento. A este resultado, se le resta el valor de venta establecido en la etapa de disposición final. La Tabla 40 muestra un resumen de los costos asociados a cada etapa del ciclo de vida útil proyectado para los 15 años.

Tabla 40. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las cinco ambulancias eléctricas

Rubro	Costo
Costo de adquisición	₡126,589,706.25
Costo de operación	₡30,422,242.59
Costos fijos	₡1,009,274,151.60
Costo de mantenimiento	₡52,901,485.82
Valor de venta	-₡35,225,864.38
Costo total CCV	₡1,183,961,721.88

### 4.3.3 Escenario 3. Ambulancia combustión interna nueva

#### Etapa de adquisición

Para la etapa de adquisición, se parte del precio de venta que tiene un vehículo nuevo Toyota Hiace modelo 2024. El costo de este se obtuvo realizando una visita al concesionario Ciudad Toyota. Es importante aclarar que a este precio se le debe sumar el costo de la conversión a ambulancia. En la Tabla 34 se muestra el monto total de adquisición.

Tabla 41. Costo de adquisición de cinco ambulancias de combustión interna nuevas

Rubro	Costo	
Costo del vehículo	\$ 64,900.00	₪ 35,166,065.00
Costo conversión a ambulancia	\$ 14,725.00	₪ 7,978,741.25
Total por ambulancia	\$ 79,625.00	₪ 43,144,806.25
Total por cinco ambulancias	\$ 398,125.00	₪ 215,724,031.25

#### Etapa de operación

En esta etapa se consideran los costos que se relacionan con el derecho de circulación, la revisión técnica vehicular y el consumo de combustible. En cuanto al costo de la revisión técnica vehicular, según la resolución RE-0018-IT-2023, Tarifas para el servicio de inspección técnica vehicular, se establece que para buses, busetas y microbús la tarifa corresponde a ₪9.240 (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2023).

En lo que respecta al costo del derecho de circulación, conocido también como marchamo, como se mencionó, únicamente asume el rubro correspondiente al seguro obligatorio automotor (SOA). Por lo tanto, el costo total anual por concepto de marchamo para las cinco ambulancias es de ₪125.385.

Para establecer los costos asociados al consumo de combustible, se parte del rendimiento en km/l establecido por el fabricante, según el sitio web oficial toyota.cl, el rendimiento es de 11.7 km/l. Es importante indicar que se parte del supuesto de que las ambulancias de combustión

interna nuevas consumirán en promedio la misma cantidad de litros de combustible que se reportaron en el año 2022 por las ambulancias de combustión interna actuales.

Para obtener el costo de combustible diésel anual de la flota de ambulancias de combustión interna nuevas se dividió el kilometraje recorrido al año entre el rendimiento en km/l para conseguir la cantidad total de litros de diésel al año. El precio del diésel por litro se fijó con base en la tarifa vigente a partir del 6 de setiembre de 2023 en estaciones de servicio según lo estipulado por la Aresep. Este es de ₡634 por litro (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2023).

Tabla 42. Costo de combustible diésel total de cinco ambulancias de combustión interna nuevas

<b>Costo Combustible Diésel</b>	
Kilometros Anuales (km)	205021
Rendimiento (km/l)	11.7
Total de litros de diésel consumidos (l)	17523.16
Precio diésel por litro	₡ 634.00
Costo Anual (₡)	₡ 11,109,684.96

### **Etapas de mantenimiento**

En esta etapa se consideran los costos que se relacionan con el mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de las ambulancias de combustión interna nuevas. Con respecto a las revisiones de mantenimiento preventivo, el vehículo cuenta con una garantía de 3 años o 100 000 km. La frecuencia de las inspecciones es cada 5000 km, la matriz de mantenimiento preventivo se encuentra en el Anexo 5 y el costo aproximado de cada revisión se muestra en la siguiente figura.

**Figura 27**

Cotización revisiones de mantenimiento preventivo para 100 000 km

Precios Regulares de Servicio Mantenimiento	
Mantenimiento	Valor Regular de Taller
5,000km	\$88.45
10,000km	\$211.19
15,000km	\$88.45
20,000km	\$520.04
25,000km	\$88.45
30,000km	\$428.29
35,000km	\$88.45
40,000km	\$593.27
45,000km	\$88.45
50,000km	\$333.19
55,000km	\$88.45
60,000km	\$615.13
65,000km	\$88.45
70,000km	\$333.19
75,000km	\$88.45
80,000km	\$593.27
85,000km	\$88.45
90,000km	\$428.29
95,000km	\$88.45
100,000km	\$520.04
<b>Total Precio Regular:</b>	<b>\$5,460.41</b>

Fuente: cotización Grupo Purdy 2023.

A partir del supuesto que las ambulancias de combustión nuevas recorren los mismos kilómetros al año que las ambulancias de combustión actuales, se calcula el costo anual por mantenimiento preventivo.

Tabla 43. Costo anual por mantenimiento preventivo para cinco ambulancias de combustión interna nuevas

Costo mantenimiento preventivo			
Vehículo	Kilometros anuales recorridos (km)	Costo por mantenimiento preventivo	
1	42805	\$ 2,106.59	¢1,141,455.79
2	44021	\$ 2,106.59	¢1,141,455.79
3	7414	\$ 88.45	¢ 47,926.63
4	61877	\$ 3,231.81	¢1,751,156.25
5	48904	\$ 2,195.04	¢1,189,382.42
TOTAL		\$ 9,728.48	¢5,271,376.89

En cuanto al mantenimiento correctivo, se considera el cambio de llantas y la sustitución de las pastillas de freno. Para calcular el costo anual de mantenimiento correctivo, se estableció la

frecuencia de cambio a partir de la frecuencia con la que se realiza en las ambulancias de combustión interna actuales.

El cambio de llantas se realiza aproximadamente cada 2 años y tiene un costo de ₡330.000 por ambulancia. El cambio de pastillas de freno se lleva a cabo cada 6 meses y tiene un costo de ₡59.450 por ambulancia. Es importante mencionar que, para obtener el costo por año asociado al cambio de llantas, se dividió el costo total entre 2, ya que se realiza una vez cada 2 años.

Tabla 44. Costo anual por mantenimiento correctivo asociado a cinco ambulancias de combustión interna nuevas

Cambio de llantas		Cambio pastillas de freno	
₡	825,000.00	₡	594,500.00

### Etapa de disposición final

En esta etapa, se considera la venta o remate del vehículo eléctrico. La Dirección de Servicios Institucionales del Área de Servicios Generales de la Caja Costarricense de Seguro Social, en el oficio GA-DSI-ASG-PR008, Procedimiento de Disposición de Vehículos en Desuso, establece las gestiones correspondientes para dar de baja como activo un vehículo institucional. El encargado del Subárea de Taller Mecánico determina el destino final del vehículo de acuerdo con su estado general, considerando la alternativa de dación en pago o venta mediante proceso de licitación pública, según lo establecido en la Ley de Contratación Administrativa y su reglamento y la normativa institucional.

Para fijar el precio base en que se venden los vehículos eléctricos o dados como opción de pago, se utilizan los factores de depreciación establecidos en la Tabla 7 del Decreto n.º 41997-H Actualización de la lista de valores de vehículos, aeronaves y embarcaciones, así como los montos de valor y tasa mínima (Ministerio de Hacienda, 2020).

Tabla 45. Valor estimado de las ambulancias eléctricas dentro de 15 años

Vehículo	Valor de venta		Factor 15 años	Valor del vehículo dentro de 15 años	
Toyota Hiace 2024	\$ 79,625.00	₡ 43,144,806.25	0.278268	\$ 22,157.09	₡ 12,005,818.95
Toyota Hiace 2024	\$ 79,625.00	₡ 43,144,806.25	0.278268	\$ 22,157.09	₡ 12,005,818.95
Toyota Hiace 2024	\$ 79,625.00	₡ 43,144,806.25	0.278268	\$ 22,157.09	₡ 12,005,818.95
Toyota Hiace 2024	\$ 79,625.00	₡ 43,144,806.25	0.278268	\$ 22,157.09	₡ 12,005,818.95
Toyota Hiace 2024	\$ 79,625.00	₡ 43,144,806.25	0.278268	\$ 22,157.09	₡ 12,005,818.95

### Costo del ciclo vida

Para determinar el costo total del ciclo de vida útil de las ambulancias eléctricas se suma el costo de adquisición, el costo de operación y el costo de mantenimiento. A este resultado se le resta el valor de venta establecido en la etapa de disposición final. La Tabla 46 muestra un resumen de los costos asociados a cada etapa del ciclo de vida útil proyectado para los 15 años.

Tabla 46. Resumen de costos del ciclo de vida útil proyectado a 15 años de las cinco ambulancias de combustión interna nuevas

Rubro	Costo
Costo de adquisición	₡ 146,299,500.00
Costo de conversión a ambulancia	₡ 39,893,706.25
Costo de operación	₡ 166,645,274.36
Costos fijos	₡ 1,011,293,526.60
Costo de mantenimiento	₡ 108,913,153.32
Valor de venta	₡ 40,710,469.27
Costo total CCV	₡ 1,432,334,691.26

#### 4.3.4 Resumen de costos de ciclo de vida útil para cada uno de los escenarios que se evaluaron

La Tabla 47 ofrece un resumen de los resultados en los costos del ciclo de vida útil para cada uno de los escenarios que se analizaron.

Tabla 47. Resumen de costos de ciclo de vida útil para cada uno de los escenarios que se evaluaron

Rubro	Ambulancias de combustión actuales	Ambulancias eléctricas	Ambulancias de combustión nuevas
Costo de adquisición	₡ 59,012,062.45	₡ 126,589,706.25	₡ 215,724,031.25
Costo de operación	₡ 249,973,549.55	₡ 30,422,242.59	₡ 169,219,049.36
Costos fijos	₡ 1,009,274,151.60	₡ 1,009,274,151.60	₡ 1,009,274,151.60
Costo de mantenimiento	₡ 258,909,425.85	₡ 52,901,485.82	₡ 100,363,153.32
Valor de venta	₡ 16,421,168.59	₡ 35,225,864.38	₡ 60,029,094.73
<b>Costo total CCV</b>	<b>₡ 1,560,748,020.85</b>	<b>₡ 1,183,961,721.88</b>	<b>₡ 1,434,551,290.80</b>

### 4.3.5 Análisis financiero

En el análisis financiero, se consideraron todos los costos asociados de acuerdo con la estructura de distribución de costos a lo largo del ciclo de vida útil, tanto para el vehículo de combustión interna (ver la Figura 22) como para el vehículo eléctrico (ver la Figura 23). Para llevar a cabo el análisis financiero a través del flujo de caja para ambos tipos de vehículos, se consideró una tasa de inflación del 3.05 %. Esta cifra se obtuvo a partir del promedio de los últimos 5 años de la variación interanual del índice de precios al consumidor del Banco Central de Costa Rica. Asimismo, se empleó una tasa de descuento o interés del 6.15 %, basada en el promedio anual de la tasa activa negociada por transporte y otros bancos públicos del Banco Central de Costa Rica. Una vez definida la tasa de inflación y la tasa de descuento, se calculó la tasa de descuento nominal  $k$ . Esta tasa se determinó de la siguiente manera.

$$k = (1 + \text{tasa de descuento}) * (1 + \text{tasa de inflación}) - 1 \quad (12)$$

$$k = (1 + 6.15\%) * (1 + 3.05\%) - 1 = 9.35\%$$

Al realizar un análisis de flujo de caja para los gastos de ambas flotas de ambulancias, se determinó el valor actual neto (VAN) de dichas flotas durante su periodo de vida útil. El análisis financiero completo, que incluye los flujos de caja de cada año, se encuentra en el Apéndice C y el Apéndice D.

Tabla 48. VAN asociado a la compra de cinco ambulancias de combustión interna nuevas y cinco ambulancias eléctricas nuevas

Valor Actual Neto			
Ambulancias eléctricas		Ambulancias combustión interna	
-C\$	822,451,534.24	-C\$	1,019,989,590.81

#### 4.3.6 Análisis comparativo

Con base en la información que se recopiló en el presente capítulo, se identificó que:

- Durante la fase de adquisición, el costo de cinco ambulancias eléctricas es un 39.17 % más bajo en comparación con el costo de adquirir ambulancias de combustión interna nuevas y un 55.03 % más alto que el precio de comprar ambulancias de combustión interna usadas.
- En la fase de operación, el gasto en energía eléctrica es un 87.83 % menor en comparación con el costo de combustible diésel empleado por las ambulancias de combustión interna actuales y un 82.02 % inferior al costo del diésel empleado por las ambulancias de combustión interna nuevas. Desde una perspectiva económica, esto se traduce en un ahorro de C\$14.636.753,80 y de C\$9.253.120,45 respectivamente.
- En la fase de mantenimiento, que incluye tanto el mantenimiento correctivo como el preventivo, el costo total para las ambulancias eléctricas es un 79.57 % menor en comparación con las ambulancias de combustión interna actuales y un 47.29 % inferior en comparación con las ambulancias de combustión interna nuevas. Desde una perspectiva económica, esto se traduce en un ahorro de C\$13.733.862,67 y de C\$3.164.111,17 respectivamente.
- Las ambulancias eléctricas muestran una eficiencia energética un 87 % superior en comparación con las ambulancias diésel. Este cálculo se muestra en el Apéndice B.



- El costo de ciclo de vida útil de las ambulancias eléctricas es un 24.14 % menor en comparación con las ambulancias de combustión interna actuales y un 17.47 % menor en comparación con las ambulancias de combustión interna nuevas. Desde una perspectiva económica, esto se traduce en un ahorro de ¢376.786.298,97 y de ¢250.589.568,92 respectivamente.
- El valor actual neto de la adquisición de cinco ambulancias eléctricas es un 19.37 % menos costoso respecto al valor actual neto de la adquisición de cinco ambulancias de combustión interna nuevas. Desde una perspectiva económica, esto se traduce en un ahorro de ¢197.538.056,57.

#### **4.4 Objetivo n.º 4**

**Establecer el impacto ambiental y a la salud generado por una eventual conversión de la flota de ambulancias de combustión interna a eléctricas en términos de emisiones de gases contaminantes en la empresa de transporte público.**

Con el objetivo de evaluar tanto el impacto ambiental como el impacto en la salud derivados del uso de ambulancias de combustión interna y ambulancias eléctricas, se realiza una estimación de las emisiones producidas por los principales gases de efecto invernadero derivados del uso de combustible. Asimismo, se toman en cuenta las emisiones que se relacionan con el uso de lubricantes, así como las emisiones que se generan por el consumo de electricidad durante la fase operativa de las ambulancias.

Según la Declaración de Cambio Climático de la península de Yucatán, los gases de efecto invernadero son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2010). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis gases de efecto invernadero: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Sin embargo, los principales gases que han contribuido con el efecto invernadero son el dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), de los cuales el dióxido de carbono es el más importante, lo que aumenta la concentración debido al uso de combustibles fósiles (Gobierno de México, s. f.).

El Ministerio de Ambiente y Energía junto con el Instituto Meteorológico Nacional, en su informe titulado Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de efecto invernadero Costa Rica, 1990-2017, señala que la mayoría de las emisiones proviene del sector transporte, lo que representa un 41.55 % de todas las emisiones en el ámbito nacional (Instituto Meteorológico Nacional, 2021).

Asimismo, de acuerdo con el informe de resultados generales del Programa País Carbono Neutral (PPCN) correspondiente al año 2018, se documentó que el sector transporte registró la mayor cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), alcanzando un total de 3050.1 tCO<sub>2</sub>e (Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático, s. f.).

Para calcular las emisiones provocadas por los tres gases principales que han contribuido con el efecto invernadero, así como las emisiones derivadas del uso de lubricantes y del consumo de electricidad, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ha publicado en su decimotercera edición los factores de emisión de gases de efecto invernadero (Instituto Meteorológico Nacional, 2023).

Tabla 49. Factores de emisión para combustibles

<b>Tipo de Combustible</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg C02/L)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (g CH4/L)</b>	<b>N<sub>2</sub>O (g N2O/L)</b>
Diésel	2.613	0.149	0.154

Tabla 50. Factores de emisión para uso de lubricantes

<b>Detalle</b>	<b>Factor de emisión (kgC02/L)</b>
Uso de lubricante	0.5101

Tabla 51. Factores de emisión para el uso de electricidad

Detalle	Factor de emisión (kgCO <sub>2</sub> e/kWh)
Uso de electricidad	0.0534

#### 4.4.1 Emisiones asociadas a cinco ambulancias de combustión interna

Para calcular las emisiones que se relacionan con el uso de combustible por parte de las ambulancias, se toma en cuenta la cantidad total de litros de combustible diésel consumidos por las ambulancias en un periodo de 1 año.

Tabla 52. Combustible diésel consumido por las cinco ambulancias en el año 2022

Unidad	Litros anuales consumidos
Nissan Urvan	4148.01
Toyota Hiace	4496.88
Mercedes Benz Sprinter	813.63
Toyota Hiace	5466.27
Toyota Land Cruiser	5383.56
<b>Total</b>	<b>20308.35</b>

Seguidamente, se multiplicó la cantidad total de litros de diésel consumidos por los factores de emisión de combustibles, tal como se detallan en la Tabla 42 con el fin de calcular las emisiones que se generan por las ambulancias de combustión interna.

Tabla 53. Emisiones anuales de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de combustible

Cantidad por año	Unidad	kg CO <sub>2</sub> /Año	kg/CH <sub>4</sub> /Año	kg/N <sub>2</sub> O/Año
20208.75	Litros Totales / año	52805.46	3.01	3.11

Tabla 54. Emisiones de gases de efecto invernadero que se generan a lo largo del ciclo de vida útil asociado al consumo de combustible

Cantidad por 15 años	Unidad	kg CO <sub>2</sub> / 15 Años	kg/CH <sub>4</sub> / 15 Años	kg/N <sub>2</sub> O/ 15 Años
303131.39	Litros Totales / 15 años	792082.31	45166.58	46682.23

En lo que respecta a las emisiones asociadas al empleo de lubricantes, se realizó una consulta en el manual de usuario de cada una de las ambulancias para determinar el tipo y la cantidad total de litros de lubricante que utiliza cada vehículo.

Tabla 55. Tipo y cantidad total de lubricante requerido por cada una de las ambulancias

Ambulancia	Motor		Diferencial		Transmisión	
	Litros	Tipo	Litros	Tipo	Litros	Tipo
Nissan Urvan	6.9	15w-40	3	80w-90	2.5	75w-85
Toyota Hiace	7	15w-40	3.1	80w-90	2.6	75w-90
Mercedes Benz Sprinter	8.5	15w-40	1.8	80w-90	2.6	75w-90
Toyota Hiace	6.8	15w-40	3.1	80w-90	2.6	75w-90
Toyota Land Cruiser	12.5	15w-40	6.1	80w-90	3	75w-90
<b>Total</b>	<b>41.7</b>		<b>17.1</b>		<b>13.3</b>	

Una vez que se conoció la cantidad de aceite lubricante que se utiliza por las ambulancias, la frecuencia de los cambios de aceite conforme a la matriz de mantenimiento preventivo presentada en la Tabla 29 y la cantidad de kilómetros recorridos al año, se procedió al cálculo de la cantidad total de litros de lubricante que se utiliza en 1 año por la flota de cinco ambulancias. Este dato se obtuvo multiplicando la cantidad total de litros de lubricante por el factor de emisión para el uso de lubricantes.

Tabla 56. Emisiones anuales asociadas al uso de lubricantes

Cantidad por año	Unidad	kg CO <sub>2</sub> /Año
72.1	Litros Totales / año	36.78

Tabla 57. Emisiones a lo largo del ciclo de vida útil asociadas al uso de lubricantes

Cantidad por 15 años	Unidad	kg CO <sub>2</sub> / 15 Años
1081.5	Litros Totales / 15 años	551.67

#### 4.4.1 Emisiones asociadas a cinco ambulancias eléctricas

En lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero que se relacionan con los vehículos eléctricos, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2023) señala que:

Los vehículos eléctricos no producen emisiones de escape. Sin embargo, la generación de electricidad necesaria para cargar los vehículos eléctricos puede dar lugar a la emisión de CO<sub>2</sub>. La cantidad de emisiones varía significativamente en función de cómo se produce la energía, por ejemplo, mediante la utilización de fuentes como el carbón o el gas natural, que emiten contaminantes de carbono, en contraposición a recursos renovables como la energía eólica o solar, que no contribuyen a dicha emisión (s. p.).

En Costa Rica, según el Sistema Eléctrico Nacional: «La matriz eléctrica del país ha operado con un 95% de energías renovables y un 5% mediante la compra en el Mercado Eléctrico Regional (MER) y el respaldo térmico durante el transcurso del año» 2023» (Presidencia de la República, 2020, s. p).

Por lo tanto, para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida al cargar la flota de cinco ambulancias eléctricas, se multiplicó el factor de emisión correspondiente al uso de electricidad, el cual se encuentra detallado en la Tabla 51 por la estimación aproximada de la cantidad de kWh requeridos para cargar las ambulancias durante un periodo de 1 año.

Tabla 58. Emisiones anuales asociadas al uso de electricidad

Cantidad/año	Unidad	kg CO2/Año
28138.3	kWh Totales / año	1502.59

Tabla 59. Emisiones a lo largo del ciclo de vida útil asociadas al uso de electricidad

Cantidad por 15 años	Unidad	kg CO2/ 15 Años
422074.5	kWh / 15 años	22538.78

#### **4.4.2 Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes emitidas por la flota de cinco ambulancias de combustión interna**

En esta sección se realizan los cálculos para determinar las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes que se relacionan con la etapa de operación, tanto de la flota de cinco ambulancias de combustión interna como de la flota de cinco ambulancias eléctricas. Estos cálculos son esenciales para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que estas flotas generan durante su operación.

Según Prado (2014): «Una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente es una medida que se utiliza para evaluar el impacto en el fenómeno del efecto invernadero ya que representa la relación entre todos los gases de efecto invernadero y el CO<sub>2</sub>» (s. p.). En este contexto, las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes calculadas indicarán cuántas emisiones de gases de efecto invernadero se producen en la operación de ambas flotas de ambulancias. Estos datos son cruciales para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> que el Hospital Nacional de Niños debe reducir y compensar.

Para llevar a cabo este cálculo, el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG por sus siglas en inglés) proporciona los factores de potencial de cambio climático para los tres principales gases de efecto invernadero. Estos potenciales se detallan en la Tabla 60.

Tabla 60. Potencial de calentamiento global para gases refrigerantes

Tipo de gas refrigerante	Potencial de calentamiento global (CO2 e)
Dióxido de carbono	1
CH4	21
N2O	310

Una vez conocido los potenciales de calentamiento global se utilizó la siguiente ecuación para estimar las toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la flota de cinco ambulancias de combustión interna:

$$\frac{\left(\frac{kg\ CO_2}{año} * 1\right) + \left(\frac{kg\ CH_4}{año} * 21\right) + \left(\frac{kg\ N_2O}{año} * 310\right)}{1000} \quad (13)$$

Para estimar las toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la flota de cinco ambulancias eléctricas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\left(\frac{kg\ CO_2}{año} * 1\right)}{1000} \quad (14)$$

La cantidad total de toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la flota de cinco ambulancias de combustión interna se presenta en la Tabla 61, mientras que la cantidad total de toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la flota de cinco ambulancias eléctricas se muestra en la Tabla 62.

Tabla 61. Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes al año asociadas a la flota de cinco ambulancias de combustión interna

Tipo de Contaminante	TCO <sub>2</sub> eq emitido/año
Cinco ambulancias de combustión interna	53.83

Tabla 62. Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes al año asociadas a la flota de cinco ambulancias eléctricas

Tipo de Contaminante	TCO <sub>2</sub> eq emitido/año
Cinco ambulancias eléctricas	1.50

#### 4.4.3 Análisis comparativo

En la siguiente tabla se presenta la cantidad total de toneladas de CO<sub>2</sub> que se relacionan con la flota de cinco ambulancias de combustión interna, así como la cantidad total de toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas a la flota de cinco ambulancias eléctricas a lo largo de su ciclo de vida útil.

Tabla 63. Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a lo largo del ciclo de vida útil

Tipo de Contaminante	TCO <sub>2</sub> eq emitido/año
Cinco ambulancias de combustión interna	807.50
Cinco ambulancias eléctricas	22.54

Con base en la información que se recopiló en el presente capítulo se identificó que:

- El uso de ambulancias eléctricas a lo largo de los 15 años correspondientes al ciclo de vida útil ocasiona un ahorro del 97.21 % en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.



## **5 Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

#### **Objetivo específico n.º 1**

Se llevó a cabo una evaluación de las características técnicas y el entorno operativo de las actuales ambulancias de combustión interna en el Hospital Nacional de Niños. El propósito principal de este análisis fue obtener datos esenciales para la evaluación de viabilidad, así como para la posterior revisión de la disponibilidad de vehículos eléctricos en el mercado costarricense con especificaciones equiparables.

Este estudio reveló que el Servicio de Transporte del HNN posee cuatro ambulancias tipo microbús y una todoterreno. Además, se constató que en el mercado actual de Costa Rica no existe un vehículo eléctrico que se asemeje en términos de características técnicas al vehículo todoterreno. En consecuencia, se tomó la decisión de realizar el estudio considerando cinco vehículos eléctricos tipo microbús.

En lo que respecta a la revisión de la oferta de vehículos eléctricos tipo microbús, se pudo determinar que únicamente el concesionario Ambacar dispone de un vehículo eléctrico de dichas características. Por lo tanto, el vehículo Shineray X30 EV se seleccionó como el vehículo eléctrico para el análisis.

#### **Objetivo específico n.º 2**

Se estableció la infraestructura eléctrica requerida y el diseño de la conexión eléctrica necesaria para la carga de ambulancias en el caso de una potencial conversión de la flota de ambulancias de combustión interna a ambulancias eléctricas, tomando como referencia las pautas establecidas en el Código Eléctrico Nacional (NEC). Adicionalmente, se identificó que en el Hospital Nacional de Niños dispone de un transformador trifásico con una capacidad de 300 KVA,

lo que permite suministrar la energía eléctrica necesaria para alimentar simultáneamente cinco cargadores de 7600 W.

### **Objetivo específico n.º 3**

Se realizó un análisis de costo de ciclo de vida útil y un análisis financiero comparativo entre la flota de ambulancias de combustión y la flota de ambulancias eléctricas, con el propósito de determinar cuál de los dos escenarios representa una inversión más rentable. Los resultados de este análisis indican que el costo de ciclo de vida de las ambulancias eléctricas es un 15.84 % menor en comparación con las ambulancias de combustión interna.

Además, en cuanto al valor actual neto (VAN), se ha constatado que el VAN de las ambulancias eléctricas es un 18 % más bajo que el de las ambulancias de combustión interna. Estos hallazgos resaltan claramente la ventaja económica y financiera de optar por la flota de ambulancias eléctricas como una inversión más rentable en términos de costos de adquisición, operación, mantenimiento y disposición final a lo largo de su ciclo de vida útil.

### **Objetivo específico n.º 4**

Tras evaluar el impacto ambiental y en la salud de una posible transición de la flota de ambulancias de combustión interna a una flota de ambulancias eléctricas en términos de las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> emitidas por año, se determinó que las ambulancias eléctricas presentan un ahorro del 97.21 % en comparación con las ambulancias de combustión interna.

## 5.2 Recomendaciones

- Una vez adquiridas las ambulancias eléctricas, se recomienda llevar a cabo una capacitación destinada a los choferes con el propósito de familiarizarlos con el funcionamiento de los vehículos eléctricos. Además, es posible instruirlos en las buenas prácticas que deben seguir para prolongar su vida útil de manera óptima. A continuación, se detallan algunos ejemplos de las áreas clave que deben abordarse en la capacitación:
  - Optimizar el uso de la energía de las ambulancias eléctricas. Esto implica conducir de manera eficiente, manteniendo una velocidad adecuada y evitando aceleraciones bruscas para maximizar la eficiencia energética del vehículo, lo que se traduce en un mayor rendimiento y autonomía.
  - Los métodos de regeneración de energía como el frenado regenerativo y la regeneración por desaceleración al levantar el pie del acelerador. Esto contribuye significativamente a la eficiencia del vehículo y ahorra energía, mejorando la autonomía de la ambulancia eléctrica.
  - Prácticas de carga. Se debe resaltar la importancia de no desconectar las ambulancias eléctricas hasta que alcancen el 100 % de carga en sus baterías, así como que las baterías lleguen a un nivel de descarga del 0 %, ya que esto puede dañarlas.
- Se recomienda solicitar a la empresa adjudicada para la compra de las estaciones de carga, incluir como uno de los requerimientos la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para las estaciones de carga. Este plan debe abarcar diversas actividades, tales como inspecciones visuales para identificar daños físicos, conexiones sueltas o cualquier indicio de desgaste, limpieza y comprobaciones de seguridad eléctrica como inspeccionar los cables y conectores para reconocer cualquier signo de daño, como cables deshilachados o expuestos.

- Una vez que se tenga información acerca de la dirección a la que se debe trasladar al paciente, se sugiere realizar la planificación de la ruta antes de despachar la ambulancia. Esto permite identificar con anticipación los puntos de carga disponibles a lo largo del recorrido.
- Se recomienda habilitar espacios exclusivos equipados con estaciones de carga rápida en los hospitales nacionales bajo la administración de la Caja Costarricense de Seguro Social.

## 6 Bibliografía

- Acosta, H. (2022, 04 de noviembre). *Estudio de la Situación Actual del Transporte del Paciente Pediátrico Enfermo en el Servicio de Emergencias del Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera del 01 de julio al 31 de julio de 2021*.  
[https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores\\_en\\_salud/conis/estudios\\_clinicos/tfg\\_heidy\\_acosta.pdf](https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/conis/estudios_clinicos/tfg_heidy_acosta.pdf)
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2023, 28 de agosto). *Electric Vehicle Myths*. <https://www.epa.gov/greenvehicles/electric-vehicle-myths>
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2018, 25 de enero). *Incentivos y promoción para el transporte eléctrico*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=85810](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=85810)
- Asociación Nacional Contra Incendios. (2020). *Código Eléctrico Nacional*. NFPA.
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023, 06 de septiembre). *Tarifas de combustibles*. <https://aresep.go.cr/datos-abiertos/tarifas-de-combustibles/>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023, 21 de abril). *RE-0018-IT-2023- Revisión técnica vehicular-Fijación tarifaria de oficio-ET-010-2023*. [https://aresep-my.sharepoint.com/personal/multimedia\\_aresep\\_go\\_cr/\\_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fmultimedia%5Faresep%5Fgo%5Fcr%2FDocuments%2FDocumentos%20Sitio%20Web%2FIntendencia%20Transporte%2FResoluciones%2F2023%2FRE%2D0018%2DIT%2D2023%2D%2](https://aresep-my.sharepoint.com/personal/multimedia_aresep_go_cr/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fmultimedia%5Faresep%5Fgo%5Fcr%2FDocuments%2FDocumentos%20Sitio%20Web%2FIntendencia%20Transporte%2FResoluciones%2F2023%2FRE%2D0018%2DIT%2D2023%2D%2)
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023, 28 de septiembre). *Tarifas vigentes electricidad*. <https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas/>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2023, 13 de enero). *Cómo instalar infraestructuras de recarga para vehículos eléctricos en las empresas*. BBVA.  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-instalar-infraestructuras-de-recarga-para-vehiculos-electricos-en-las-empresas/>

- Banco Central de Costa Rica. (2023). *Índice de precios al consumidor (IPC)*.  
<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?CodCuadro=2732&Idioma=1&FecInicial=2018/09/30&FecFinal=2023/09/30&Filtro=0>
- Banco Central de Costa Rica. (2023). *Tasa activa negociada (TAN), por actividad económica y por grupo de intermediario financiero*.  
<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%205493>
- Banco Central de Costa Rica. (2023). *Tipo de cambio de compra y venta del dólar de los Estados Unidos de América*.  
<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
- Barahona, G. (2022). *Clase 7.1 Capítulo IV NEC Instalación eléctrica de transformadores [Dipositiva 25]*. Escuela de electromecánica.
- Barrantes, A. (2023). *Análisis de viabilidad técnica-financiera de conversión de una flota de buses de combustión interna a buses eléctricos para transporte público de pasajeros en la empresa MUSOC, S. A.* Repositorio TEC.
- BBVA. (2023, 11 de agosto). *¿Qué es el protocolo de Kioto y cuál era su objetivo?* BBVA.  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-protocolo-de-kioto-y-cual-era-su-objetivo/>
- Business Wire. (2023, 28 de septiembre). *DocGo Unveils All-Electric Ambulances in the UK*.  
<https://www.businesswire.com/news/home/20230928854303/en/DocGo-Unveils-All-Electric-Ambulances-in-the-UK>
- CATL. (2019, 18 de mayo). *EES Europe 2019- CATL ESS solutions and LFP technology take center stage*. <https://www.catl.com/en/news/460.html>
- Demers Ambulances. (2021, 18 de octubre). *Demers Ambulances and Lion Electric Launch All-electric, Purpose-Built Ambulance*. <https://www.demers-ambulances.com/efx-ambulance/>
- División de Operación y Control del Sistema Eléctrico. (2023). *Informe de Atención de Demanda y Producción de Electricidad con Fuentes Renovables*. Instituto Costarricense de Electricidad.
- Durán, A. (2021, 13 de agosto) *Transporte público eficiente: el principal reto de Costa Rica para reducir emisiones contaminantes*. Radios UCR.

<https://radios.ucr.ac.cr/2021/08/interferencia/transporte-publico-eficiente-el-principal-reto-de-costa-rica-para-reducir-emisiones-contaminantes/>

Elco. (2020). *Estación tipo WallBox*. <https://www.elcocrc.com/estacion-wallbox>

Escobar, Á. (2023, 17 de febrero). *¿Cuál es el mantenimiento del coche eléctrico?* AutoBild. <https://www.autobild.es/noticias/cual-mantenimiento-coche-electrico-1202084>

Evesco. (2021). *The Different Levels of EV Charging*. Electric Vehicle Energy Storage Company. <https://www.power-sonic.com/blog/levels-of-ev-charging/>

Fernando, J. (2023, 24 de mayo). *Net Present Value (NPV): What It Means and Steps to Calculate It*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>

Ferrari, G. (2022). *Internal Combustion Engines*. Società Editrice Esculapio.

García, D. (2022, 10 de marzo). *Qué son las baterías LFP: ventajas, inconvenientes y aplicaciones en la automoción*. Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/revision/que-baterias-lfp-ventajas-inconvenientes-aplicaciones-automocion>

Girardin, M. (2023, 17 de marzo). *How to Calculate Net Present Value (NPV)*. Forage. <https://www.theforage.com/blog/skills/npv>

Gobierno de México. (s. f.). *Gases de efecto invernadero*. Estrategia de Cambio Climático de la península de Yucatán.

GreenHouse Gas Protocol. (2016). *Global Warming Potential Values*. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf)

Greenpeace México. (2020, 26 de diciembre). *Huella de carbono: aprende a calcular tu impacto ambiental*. Greenpeace. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/#huella-de-carbono>

Hampel, C. (2021, 09 de agosto). *NHS develops electric ambulances with Ford*. Electrive. <https://www.electrive.com/2021/08/09/nhs-procures-fleet-of-electric-ambulances/>

Herrera, J. y Rojas, J. (2020, 01 de abril). *Modelos de estimación de emisiones vehiculares como herramienta para mejorar la calidad del aire*. Ambientico. [https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/30883/274\\_26-32.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/30883/274_26-32.pdf)

- Heynes, G. (2022, 07 de septiembre). *NHS introduces electric ambulances to the North West*. Current News. <https://www.current-news.co.uk/nhs-introduces-electric-ambulances-to-the-north-west/>
- Hospital Nacional de Niños, Dr. Carlos Sáenz Herrera. (2004). *Homenaje a los pioneros del Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera: Centro de Ciencias Médicas, C.C.S.S.: 45 aniversario*.
- Industrial Quick Search. (2022). *Electric Motor*. Industrial Quick Search Manufacturer Directory. <https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-motor.html>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020, 02 de marzo). *I Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. IMN. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/bur2019/>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2021, 16 de diciembre). *Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica, 1990-2017*. IMN. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/InventariosGEI/InventarioGEI-2017/offline/InventarioGEI2017.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2023, 13 de julio). *Factores de Emisión de gases de efecto invernadero*. IMN. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factoresemision2023/FactoresEmision-GEI-2023.pdf>
- Lekveishvili, R.; Gogiasvili, P. y Lekveishvili, G. (2021). Harmful effects of vibration on patients during transportation by an ambulance car, taking into account the human biomechanical system. *International Scientific Journal Trans & Motauto World*, 3.
- Lightning eMotors (2023, 01 de febrero). *Lightning ZEV3™ Transit Ambulance Type II*. <https://lightningemotors.com/ambulances/>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2018). *Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050*. Dirección de Cambio Climático. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2018). *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030*. Dirección de Cambio Climático. [https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII\\_Plan\\_Nacional\\_de\\_Energia\\_2015-2030.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf)



- Ministerio de Ambiente y Energía. (2019, 22 de mayo). *Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018 2030*. Procuraduría General de la República.  
<http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE41579/Version1/PlanTranspElect.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2023). *Lista actualizada del crecimiento de la flota Costarricense de Vehículos Eléctricos*. Dirección de Energía.  
<https://energia.minae.go.cr/?p=5634>
- Ministerio de Hacienda. (2019, 08 de octubre). *Actualización de la lista de valores de vehículos, aeronaves y embarcaciones, así como los montos de valor y tasa mínima*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=89934&nValor3=0&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=89934&nValor3=0&strTipM=TC)
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2011, 15 de septiembre). *Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011 2035*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.  
<https://repositorio-snp.mideplan.go.cr/bitstream/handle/123456789/90/PP.062.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naciones Unidas. (1994, 21 de marzo). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-laconvencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>
- Naciones Unidas. (2002, 26 de agosto). *Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*.  
<https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Naciones Unidas. (2015, 12 de septiembre). *El Acuerdo de París*. United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/es/most-requested/que-es-el-acuerdo-de-paris>
- Navarro, G. (2021). *Validación y justificación para la adquisición de vehículos 2021 (oficio GA-DSI-0122 2021 y DSI-ASG-0108 2021)*. Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herra.
- NU Cepal, Subsede de México. (2007, 13 de noviembre). *Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020*. Cepal. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/25839-estrategia-energetica-sustentable-centroamericana-2020>

- Organización Mundial de la Salud. (2018, 02 de mayo). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Organización Mundial de la Salud.  
<https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Parra, C. y Crespo, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la gestión de activos*. Ingeman.
- Piedra, C. (2021). *Análisis de costo del ciclo de vida de los activos* [Diapositiva 16]. Escuela de Electromecánica.
- Prado, E. (2014). *Plantilla Inventario GEI* [Archivo de datos]. Microsoft Excel.
- Prat, J. (2022, 26 de abril). *¿Qué finalidad tiene el Análisis de Ciclo de Vida?* Dekra.  
<https://www.dekra.es/es/para-que-sirve-analisis-ciclo-vida/>
- Presidencia de la República. (2020, 17 de diciembre). *Costa Rica suma sexto año consecutivo con más de 98 % de generación eléctrica renovable*. Presidencia de la República.  
<https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/12/costa-rica-suma-sexto-ano-consecutivo-con-mas-de-98-de-generacion-electrica-renovable/>
- Programa País Carbono Neutralidad Oficial del Gobierno de Costa Rica. (2019). *Portafolio de acciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Escala Cantonal de Costa Rica*. Dirección de Cambio Climático. [https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/Portafolio-acciones-mitigacion-emisiones-GEI-escala-cantonal-Costa-Rica-movilidad\\_electrica.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/Portafolio-acciones-mitigacion-emisiones-GEI-escala-cantonal-Costa-Rica-movilidad_electrica.pdf)
- Que Tan Rendidor es Tu Auto. (s. f.). *¿Qué es el rendimiento?*  
<https://quetanrendidorestuauto.org/que-es-el-rendimiento/>
- Repsol. (s. f.). *¿Qué es la eficiencia energética?* Repsol Global.  
<https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climático/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml>
- Rigas, E.; Billis, A. y Bamidis, P. (2022, 25 de mayo). *Can Artificial Intelligence Enable the Transition to Electric Ambulances?* iOS Press Ebooks.  
<https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/SHTI220399>
- Robinson, J. (2022, 03 de marzo). *NHS yet to introduce plans for zero emission ambulances despite COP26 pledge*. The Pharmaceutical Journal. <https://pharmaceutical->

- journal.com/article/news/nhs-yet-to-introduce-plans-for-zero-emission-ambulances-despite-cop26-pledge
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2010, 29 de noviembre). *Cambio Climático Península de Yucatán*. SDS. <https://sds.yucatan.gob.mx/cambio-climatico/index.php>
- Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático. (s. f.). *Total de emisiones en tCO<sub>2</sub>e, según sector productivo y año de reporte (2011 2020)*. Sinamecc. <http://sinamecc.go.cr/datos-abiertos/ppcn>
- STEL Order. (2021, 21 de diciembre). *Mantenimiento correctivo*. <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-correctivo/>
- STEL Order. (2023, 30 de agosto). *Mantenimiento preventivo: Qué es, tipos y cómo hacerlo eficazmente*. <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>
- Superintendencia General de Seguros. (2022, 28 de octubre). *Comunicado Tarifas SOA 2023*. Sugese. [https://www.sugese.fi.cr/seccion-comunicados-prensa/Comunicados/Comunicado\\_Tarifas\\_SOA-2023.docx](https://www.sugese.fi.cr/seccion-comunicados-prensa/Comunicados/Comunicado_Tarifas_SOA-2023.docx)
- Tecnológico de Costa Rica. (2022). *Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil, para la comparación de un vehículo tipo carga liviana eléctrico contra uno de combustible fósil*.
- Touvila, A. (2023, 27 de mayo). *Financial Analysis: Definition, Importance, Types, and Examples*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/f/financial-analysis.asp>

## 7 Apéndices

### 7.1 Apéndice A. Cálculo del costo de la infraestructura eléctrica

Tabla 64. Costo de los materiales para la infraestructura eléctrica

Accesorio	Precio Unitario	Cantidad	Costo Total
Tubo EMT de 2"	₡ 18,550.00	19.5	₡ 361,725.00
Tubo EMT de 3/4"	₡ 5,395.00	61.5	₡ 113,295
Curva 90° EMT de 2"	₡ 5,495.00	5	₡ 27,475.00
Curva 90° EMT de 3/4"	₡ 1,095.00	31	₡ 33,945.00
Toma 220 V - 50 A	₡ 2,125.00	5	₡ 10,625.00
Caja EMT Rectangular 3/4"	₡ 2,950.00	5	₡ 14,750.00
Disyuntor 2P / 50 A	₡ 17,950.00	5	₡ 89,750.00
Disyuntor 3P / 250 A	₡ 544,644.00	1	₡ 544,644.00
Tablero 250 A	₡ 349,493.25	1	₡ 349,493.25
Cargadores WallBoxx	₡ 373,876.50	5	₡ 1,869,382.50
Conductor 4/0 AWG THHN - Rojo	₡ 7,638.00	19.5	₡ 148,941.00
Conductor 4/0 AWG THHN - Negro	₡ 7,638.00	19.5	₡ 148,941.00
Conductor 4/0 AWG THHN - Azul	₡ 7,638.00	19.5	₡ 148,941.00
Conductor #4 AWG THHN - Verde	₡ 1,923.00	19.5	₡ 37,498.50
Conductor #6 AWG THHN - Rojo	₡ 948.00	50.61	₡ 47,978.28
Conductor#6 AWG THHN - Negro	₡ 948.00	42.42	₡ 40,214.16
Conductor#6 AWG THHN - Azul	₡ 948.00	29.97	₡ 28,411.56
Conductor #10 AWG THHN - Verde	₡ 948.00	61.5	₡ 58,302.00
<b>Total</b>			₡ 4,074,312.25

Tabla 65. Cálculo del cobro por honorarios del ingeniero a cargo de la obra.

Costos por honorarios		
Detalle	Tarifa Mínima	Costo
Estudios preliminares	0.50%	₡ 11,024.65
Anteproyecto	1.00%	₡ 22,049.30
Planos y especificaciones técnicas	4.00%	₡ 88,197.19
Inspección	3.00%	₡ 66,147.89
Dirección técnica / Dirección de obra	5.00%	₡ 110,246.49
Administración	12.00%	₡ 264,591.57
<b>TOTAL</b>		₡ 562,257.09

## 7.2 Apéndice B. Cálculo eficiencia energética

Para realizar este cálculo es importante señalar que, según datos de Recope (2021), el poder calorífico del combustible diésel es de 37.64 MJ/L. Adicionalmente, 1 kWh equivale a 3.6 MJ.

Para ambulancia de combustión interna:

$$0.00991 \frac{l}{km} * 37.64 \frac{MJ}{l} = 3.7301 \frac{MJ}{km}$$

Para ambulancia eléctrica:

$$0.1372 \frac{kWh}{km} * \frac{3.6 MJ}{kWh} = 0.4939 \frac{MJ}{km}$$

### 7.3 Apéndice C. Análisis financiero ambulancias eléctricas

Tabla 66. Flujo de caja e indicadores financieros durante 15 años de operación para el proyecto de adquisición de una flota de cinco ambulancias eléctricas.

Tasa de Inflación	Tasa de Interés	Tasa de Descuento Nominal
3.01%	6.15%	9.35%
VAN		-€ 837,409,114.14

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Caso de inversión (compra ambulancias eléctricas, cargadores, infraestructura eléctrica, honorarios)	-€ 13,111,796.59															
Caso de operación anual (energía, manutención, DEBRA)	-€ 2,028,196.81	-€ 2,080,196.81	-€ 2,152,081.63	-€ 2,216,859.29	-€ 2,283,586.73	-€ 2,352,322.71	-€ 2,423,127.63	-€ 2,496,063.77	-€ 2,571,195.29	-€ 2,648,588.27	-€ 2,728,510.77	-€ 2,810,432.91	-€ 2,895,026.96	-€ 2,982,167.27	-€ 3,071,939.50	-€ 3,164,439.61
Caso de mantenimiento anual (preventivo y correctivo)	-€ 3,526,864.38	-€ 3,632,921.37	-€ 3,742,272.39	-€ 3,854,914.70	-€ 3,970,947.63	-€ 4,090,473.16	-€ 4,213,596.40	-€ 4,340,423.65	-€ 4,471,072.46	-€ 4,605,651.74	-€ 4,744,281.86	-€ 4,887,084.74	-€ 5,034,185.99	-€ 5,185,714.99	-€ 5,341,805.01	-€ 5,502,599.34
Caso fijo anual	-€ 6,284,944.44	-€ 6,930,220.24	-€ 7,196,457.87	-€ 7,545,491.25	-€ 7,879,210.54	-€ 8,039,562.77	-€ 8,388,531.61	-€ 8,208,249.08	-€ 85,300,773.37	-€ 87,868,330.77	-€ 90,513,675.33	-€ 93,237,613.87	-€ 96,044,066.05	-€ 98,934,992.44	-€ 101,912,935.71	-€ 104,980,515.07
Posición final	€ 35,225,864.38															€ 35,225,864.38
Valor de rescate	-€ 13,111,796.59	-€ 75,023,338.41	-€ 77,290,811.80	-€ 79,617,265.23	-€ 82,015,744.92	-€ 84,402,388.64	-€ 87,025,277.64	-€ 89,644,738.49	-€ 92,343,045.12	-€ 95,122,570.78	-€ 97,985,700.16	-€ 100,935,115.4	-€ 103,975,279.00	-€ 107,102,874.70	-€ 110,326,671.23	-€ 76,421,639.65

## 7.4 Apéndice D. Análisis financiero ambulancias combustión interna

Tabla 67. Flujo de caja e indicadores financieros durante 15 años de operación para el proyecto de adquisición de una flota de cinco ambulancias de combustión interna nuevas

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Costo de inversión (compra ambulancias combustión interna)	215,724,012.25															
Costo de operación anual (diesel, manutención, DESRA)		11,620,836.18	11,970,623.35	12,320,929.11	12,702,100.38	13,084,433.60	13,478,275.06	13,883,971.13	14,301,678.67	14,733,365.21	15,175,809.41	15,632,601.27	16,103,142.57	16,587,867.16	17,087,141.36	17,601,464.31
Costo de mantenimiento anual (operativo y preventivo)		6,892,272.23	7,097,292.68	7,313,451.54	7,533,565.83	7,760,326.16	7,993,911.98	8,234,528.73	8,482,388.05	8,737,707.93	9,000,712.93	9,271,624.39	9,550,710.59	9,838,188.58	10,134,166.41	10,439,329.23
Costo fijo anual		69,310,220.24	1,396,457.87	73,545,491.25	75,759,210.54	78,039,562.77	80,388,533.61	82,802,249.08	85,300,777.37	87,888,330.77	90,513,167.53	93,237,613.87	96,044,066.05	98,934,992.44	101,912,293.71	104,980,515.07
Proposición final	60,029,047.73															60,029,047.73
Flujo de efectivo	-215,724,012.25	87,823,328.70	-10,466,010.90	93,189,864.90	95,994,876.75	98,884,372.54	101,860,740.65	104,928,748.84	108,085,044.08	111,338,403.91	114,689,689.87	118,141,844.53	121,697,919.20	125,341,026.57	129,134,393.47	133,072,423.99

Tasa de Inflación	Tasa de Interés	Tasa de Descuento Nominal
3.01%	6.15%	9.35%
VAN		-C 1,019,989,590.81

**7.5 Apéndice E. Registro de kilometraje recorrido y combustible consumido de la flotilla actual de ambulancias por placa**

Tabla 68. Registro del kilometraje recorrido y combustible consumido anual por la unidad placa 200-2401

Fecha	Distancia recorrida(km)	Combustible	
		Litros Consumidos	Costo Total
Enero	3927	459.54	₺ 280,779.55
Febrero	1122	175.11	₺ 116,575.79
Marzo	3557	274.58	₺ 204,722.74
Abril	3051	225.39	₺ 190,455.40
Mayo	4073	378.62	₺ 340,347.54
Junio	3625	349.21	₺ 326,715.33
Julio	4955	566.59	₺ 494,631.32
Agosto	3100	281.75	₺ 276,309.85
Setiembre	4318	363.07	₺ 316,600.53
Octubre	5964	589.27	₺ 510,111.70
Noviembre	3165	318.19	₺ 268,936.39
Diciembre	1948	166.69	₺ 139,802.26
Total	42805	4148.01	₺ 3,465,988.40

Tabla 69. Registro del kilometraje recorrido y combustible consumido anual por la unidad placa 200-2143

Fecha	Distancia recorrida(km)	Combustible	
		Litros Consumidos	Costo Total
Enero	3429	388.8	₺ 237,555.58
Febrero	4071	417.58	₺ 279,575.09
Marzo	5464	596.03	₺ 431,526.44
Abril	2228	216.18	₺ 182,669.57
Mayo	5661	580.01	₺ 520,179.82
Junio	3571	373.01	₺ 345,075.07
Julio	12	1	₺ 873.00
Agosto	3052	369.7	₺ 370,533.20
Setiembre	3195	327.92	₺ 285,945.37
Octubre	4371	429.37	₺ 371,707.27
Noviembre	3668	333.33	₺ 276,968.60
Diciembre	5299	463.95	₺ 390,744.79
Total	44021	4496.88	₺ 3,693,353.80



Tabla 70. Registro del kilometraje recorrido y combustible consumido anual por la unidad placa  
200-2143

Fecha	Distancia recorrida(km)	Combustible	
		Litros Consumidos	Costo Total
Enero	1318	116.01	₡ 70,882.72
Febrero	285	60.78	₡ 40,601.04
Marzo	5	1	₡ 724.00
Abril	4	84.1	₡ 40,401.08
Mayo	174	1	₡ 908.00
Junio	3495	349.38	₡ 322,794.33
Julio	2104	196.36	₡ 171,421.41
Agosto	2	1	₡ 890.00
Setiembre	10	1	₡ 800.00
Octubre	6	1	₡ 865.00
Noviembre	1	1	₡ 824.00
Diciembre	10	1	₡ 846.00
Total	7414	813.63	₡ 651,957.58

Tabla 71. Registro del kilometraje recorrido y combustible consumido anual por la unidad placa  
200-3230

Fecha	Distancia recorrida(km)	Combustible	
		Litros Consumidos	Costo Total
Enero	5386	460.48	₡ 281,352.67
Febrero	4090	339.62	₡ 227,586.40
Marzo	6145	562.42	₡ 407,192.08
Abril	5364	347.4	₡ 293,505.68
Mayo	4412	321.95	₡ 288,809.43
Junio	4300	359.16	₡ 36,269.46
Julio	5159	434.28	₡ 379,125.57
Agosto	7321	814.55	₡ 802,509.70
Setiembre	5512	482.04	₡ 425,496.34
Octubre	6094	581.49	₡ 502,991.45
Noviembre	4183	384.98	₡ 321,729.58
Diciembre	3911	377.9	₡ 317,526.32
Total	61877	5466.27	₡ 4,284,094.68

Tabla 72. Registro del kilometraje recorrido y combustible consumido anual por la unidad placa  
200-3171

Fecha	Distancia recorrida(km)	Combustible	
		Litros Consumidos	Costo Total
Enero	4171	470.78	₪ 287,644.75
Febrero	3665	386.92	₪ 259,117.93
Marzo	5200	662.36	₪ 484,412.21
Abril	4773	486.26	₪ 410,888.94
Mayo	5503	579.36	₪ 523,320.45
Junio	2658	349.16	₪ 330,577.80
Julio	13	1	₪ 873.00
Agosto	1577	119.46	₪ 119,579.46
Setiembre	5261	539.49	₪ 470,433.54
Octubre	4316	480.71	₪ 415,813.29
Noviembre	5929	683.29	₪ 571,025.29
Diciembre	5838	624.77	₪ 524,237.18
Total	48904	5383.56	₪ 4,397,923.84

### 7.6 Apéndice F. Registro de mantenimientos preventivos y correctivos de la flotilla actual de ambulancias por placa

Tabla 72. Registro anual de mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad 200-2143

Gasto por mantenimiento preventivo	Gasto por mantenimiento correctivo
₪ 53,466.00	₪ 425,110.00
₪ 105,366.00	₪ 111,400.00
₪ 53,466.00	₪ 272,776.96
₪ 105,281.00	₪ 7,292.00
₪ 57,285.00	₪ 50,999.00

Tabla 73. Registro anual de mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad 200-2401

<b>Gasto por mantenimiento preventivo</b>	<b>Gasto por mantenimiento correctivo</b>
₡ 96,481.00	₡ 41,950.00
₡ 51,086.00	₡ 105,950.00
₡ 103,541.00	₡ 134,450.00
₡ 51,086.00	₡ 15,600.00
₡ 96,481.00	₡ 44,500.00
₡ 52,990.00	₡ 12,100.00
₡ 96,481.00	₡ 15,600.00
₡ 59,390.00	₡ 59,200.00
₡ 112,845.00	₡ 12,300.00
₡ 41,000.00	₡ 56,450.00
₡ 39,495.00	₡ 194,500.00
₡ 43,450.00	₡ 339,100.00
₡ 12,180.00	₡ 109,350.00
₡ 15,600.00	₡ 105,450.00
₡ 4,400.00	₡ 211,500.00
₡ 25,200.00	₡ 61,200.00
	₡ 24,450.00
	₡ 11,920.00
	₡ 161,950.00
	₡ 36,900.00
	₡ 9,485.00
	₡ 10,150.00
	₡ 700,000.00
	₡ 12,400.00
	₡ 206,790.00
	₡ 245,000.00
	₡ 541,500.00
	₡ 93,000.00
	₡ 71,200.00
	₡ 151,260.00
	₡ 43,880.00
	₡ 39,800.00
	₡ 58,000.00
	₡ 14,990.00
	₡ 24,450.00
	₡ 22,450.00
	₡ 970.00
	₡ 500.00
	₡ 12,750.00
	₡ 9,980.00

Tabla 74. Registro anual de mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad 200-3171

<b>Gasto por mantenimiento preventivo</b>	<b>Gasto por mantenimiento correctivo</b>
₡ 70,344.00	₡ 19,210.00
₡ 9,450.00	₡ 116,850.00
₡ 79,794.00	₡ 61,000.00
₡ 12,500.00	₡ 190,300.00
₡ 70,344.00	₡ 1,882,783.00
₡ 6,950.00	₡ 8,000.00
₡ 18,915.00	₡ 6,991.00
₡ 26,450.00	₡ 336,623.00
₡ 135,459.00	₡ 41,186.00
₡ 70,344.00	₡ 44,223.00
₡ 9,450.00	
₡ 79,794.00	
₡ 16,410.00	
₡ 70,344.00	
₡ 9,875.00	
₡ 18,915.00	
₡ 25,450.00	
₡ 140,994.00	
₡ 82,800.00	
₡ 9,875.00	
₡ 92,675.00	
₡ 16,410.00	
₡ 82,800.00	
₡ 9,875.00	
₡ 18,915.00	
₡ 27,450.00	
₡ 155,450.00	
₡ 82,800.00	
₡ 9,875.00	
₡ 92,675.00	

Tabla 75. Registro anual de mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad 200-2454

<b>Gasto por mantenimiento preventivo</b>	<b>Gasto por mantenimiento correctivo</b>
₡ 183,473.00	₡ 356,350.00
₡ 17,600.00	₡ 128,250.00
	₡ 547,450.00
	₡ 98,900.00
	₡ 75,400.00
	₡ 27,895.00
	₡ 135,000.00
	₡ 30,000.00
	₡ 1,545,000.00
	₡ 321,500.00
	₡ 258,000.00
	₡ 237,000.00
	₡ 794,000.00

Tabla 76. Registro anual de mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad 200-3230


<b>Gasto por mantenimiento preventivo</b>	<b>Gasto por mantenimiento correctivo</b>
₡ 46,339.00	₡ 26,455.00
₡ 97,687.50	₡ 45,211.83
₡ 46,339.00	₡ 32,599.41
₡ 99,687.50	₡ 38,033.83
₡ 99,687.50	₡ 4,299.03
₡ 48,005.00	₡ 10,526.60
₡ 105,550.00	₡ 21,973.86
₡ 53,605.00	₡ 59,450.00
₡ 111,150.00	₡ 10,580.00
₡ 8,800.00	₡ 109,200.00
₡ 13,250.37	₡ 11,000.00
₡ 174,400.00	₡ 12,900.00
	₡ 38,005.00
	₡ 378,559.00
	₡ 75,000.00
	₡ 113,000.00

## 7.7 Apéndice G. Cronograma


Actividad	25/07/23	1/8/2023	8/8/2023	15/08/23	22/08/23	29/08/23	5/9/2023	12/9/2023	19/09/23	26/09/23	3/10/2023	10/10/2023	17/10/23	24/10/23	31/10/23	7/11/2023	14/11/23
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Objetivo Específico #1</b>																	
Recolección de información																	
Estudio de las características técnicas de las ambulancias actuales																	
Estudio del contexto operacional del Servicio de Transportes																	
Investigación de la oferta de vehículos eléctricos en el país																	
<b>Objetivo Específico #2</b>																	
Revisión de la infraestructura donde se instalarán las estaciones de carga																	
Realización del diseño y los cálculos eléctricos requeridos para instalar las estaciones de carga																	
<b>Objetivo Específico #3</b>																	
Revisión de los expedientes físicos de las ambulancias actuales																	
Recopilación de los costos de operación y mantenimiento de las ambulancias																	
Recopilación de los costos de operación y mantenimiento de las ambulancias eléctricas																	
Definir costo de disposición final de ambos tipos de ambulancias																	
Realizar el costo de ciclo de vida útil para ambos tipos de ambulancias																	
Realizar el análisis financiero para ambos tipos de ambulancias (VAN)																	
Análisis y comparación de resultados																	
<b>Objetivo Específico #4</b>																	
Recolección de información																	
Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por ambos tipos de ambulancias																	
Análisis de los resultados obtenidos																	
<b>Redacción del informe, revisiones y entrega de borrador final</b>																	
<b>Revisión del proyecto</b>																	
<b>Exposición del proyecto</b>																	




## 8.2 Anexo 2. Ficha técnica Toyota Hiace Techo Alto




Capacidad del tanque(L)  
**70**




Motor  
**2755 4Cyl DOHC**  
Diesel - Turbo de geometría variable con intercooler



Combustible  
**Diesel**

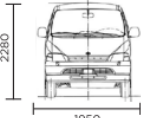


Potencia Hp  
(Hp@rpm)  
**154@3600**

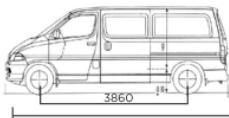


Lantas  
**235/65R16**

ESPECIFICACIONES	
Torque (Nm@rpm)	420@1600-2200
Puertas	4
Transmisión	Manual de 6 velocidades con IMT
Distancia libre al suelo (mm)	183
Suspensión delantera: Mac Pherson	
Suspensión trasera: Eje Rígido - Ballesta (hojas de resorte)	




1950




3860  
5915


HIACE TECHO ALTO SUPER LARGA - GL	
CARACTERÍSTICAS INTERNAS	LH24
Aire acondicionado frontal	✓
Aire acondicionado trasero (con ducto central con control digital y ductos independientes)	✓
Asiento conductor reclinables, deslizables y con control de altura	✓
Asientos pasajeros delanteros (reclinables y deslizables)	✓
Asientos pasajeros traseros reclinables con descansabrazo	✓ (con iluminación de lectura y USB en 1,2 y 3 fila solo asientos lado izquierdo)
Cierre central (con cierre inajámbrico)	✓
Consola central con portavasos y depósitos	✓
Controles en el volante (audio & teléfono)	✓
Dirección hidráulica	✓
Guantera con llave	✓
Sistema de audio AM/FM/BT/USB/AUX 6 parlantes	✓
Tapicería tela/vinil	✓
Toma de 12 voltios 2 y 6 USB	✓
Último fila de asientos plegables	✓
Vidrios eléctricos delanteros conductor y pasajero (con auto up/down)	✓
Volante ajustable telescópico, manual	✓
CARACTERÍSTICAS EXTERNAS	LH24
Copas de lujo (4)	✓
Bumper delantero y traseros (pintados y con molduras cromadas)	✓
Espesios retrovisores con ajuste eléctrico, autoretractables y con direccionales	✓ (con espejo adicional para punto ciego)
Focos delanteros tipo halógeno	✓
Halógenos + DRL	✓
Manijas externas pintadas	✓
Parrilla cromada	✓
DATOS GENERALES	LH24
Filas de asientos	5
Pasajeros	14
Peso bruto (kg)	3810
Capacidad de carga (kg)	1155
Tracción	Trasera
SEGURIDAD	LH24
Airbags conductor & pasajero (2 delanteros)	✓
Cabeceras delanteras conductor y pasajero	✓
Cabeceras traseras	✓
Cinturones delanteros con pretensores de seguridad (3 puntos)	✓
Cinturón delantero pasajero central	✓
Cinturones traseros (3 puntos)	✓
Desempañador trasero con temporizador	✓
Sistema ABS	✓
Frenos delanteros discos ventilados	✓
Frenos traseros discos	✓
Limpiaparabrisas trasero (Intermitente)	✓
Tercera luz de freno en LED	✓




**058** | BLANCO



**167** | SILVER MICA MET



**806** | CELESTE MET.



**4R4** | BEIGE MET

128



### 8.3 Anexo 3. Ficha técnica estación de carga tipo WallBox



#### Estaciones de carga ELCO

##### Especificaciones técnicas:

<b>Modelo:</b>	WBL2-30
<b>Tipo de estación:</b>	L2 carga semi rápida
<b>Potencia de estación:</b>	7.2kW, 9.6kW, 11kW
<b>Tensión eléctrica de entrada:</b>	Monofásico trifilar 240 V, bifásico trifilar 208 V, +/- 5 %, en corriente alterna.
<b>Corriente de salida:</b>	30A, 40A, 46A
<b>Tipo de montaje:</b>	Empotrable en pared
<b>Tipo de conector de salida:</b>	TIPO1, TIPO2 o GB/T
<b>Numero de conectores:</b>	1
<b>Control de acceso:</b>	Tarjetas RFID ISO/IEC 14443
<b>Señales indicadoras:</b>	Luz LED. Colores indican: inicializando, conexión a la red, EV conectado, cargando, carga finalizada, errores.
<b>Protocolo de comunicación:</b>	OCPP 1.6 JSON
<b>Modos de funcionamiento:</b>	On-line (conectado a red wifi) y Off-line (sin conexión a red wifi)
<b>Conexión a internet:</b>	Wifi IEEE 802.11 b/g/n (Puerto Ethernet o SIM opcionales)
<b>Estándares:</b>	IEC 61851-1, IEC 61851-22
<b>Grado de protección:</b>	IP65 Apta para la intemperie
<b>Material:</b>	Plástico ABS recubierto con pintura grado automotriz
<b>Longitud de cable:</b>	4 metros integrado a la estación (diferentes medidas opcionales)
<b>Protecciones:</b>	Ausencia de conexión a tierra. Circuito de falla a tierra (GFCI) Error en la tensión de entrada Malfuncionamiento en el contactor Error en la señal del piloto Ventilación del vehículo requerida Fallo en el diodo del vehículo Sobre corriente Alta temperatura de la estación
<b>Umbral de falla a tierra (GFCI):</b>	30 mA
<b>Software de control:</b>	Monitoreo, control, registro y visualización de datos de eventos de carga mediante aplicación ATILA para PC o dispositivo móvil
<b>Garantía:</b>	5 años después de instalada



## 8.4 Anexo 4. Cotización de estaciones de carga WallBox



**CRC Mechatronics Systems S.A**  
Dirección: 25 m Este de casa antigua casa Matute Gómez,  
Barrio Lahmann, Catedral San José.  
Cédula jurídica: 3-101-693410  
Telefono: 8348-5325  
Dirección web: www.elcocrc.com  
Correo electrónico: info@elcocrc.com  
Facebook: @ELCOCRC

**Factura Proforma 456-2023**  
Fecha: 18/10/2023  
Vencimiento: 18/11/2023

---

**Cilente: Erick Chaves Núñez**

Cantidad	Detalle de producto	Precio/unid	I.V.A/unidad	Total
5	Estación de carga tipo wallbox Mod: WBL2-32, 240V, 32A, 7.6kW con conexión wifi y lector de tarjetas RFID.	\$690.00	\$89.70	\$3,898.50

La estación de carga cuenta con acceso a la Aplicación Atila donde pueden ver todos los datos de consumo, tiempos , usuarios y muchos datos más  
Longitud del cable 5 metros, Conector SAE J1772  
El costo de la tarjeta RFDI adicional, es de \$5 + IVA  
Color a elegir: negro o blanco



**Tiempo de fabricación: 15 días.**  
**Forma de pago:** Contado, contra entrega

---

<b>Total Proforma (Dólares Americanos)</b>	<b>\$3,898.50</b>
--	-------------------

---

## 8.5 Anexo 5. Matriz de mantenimiento preventivo Toyota Hiace Techo Alto

**GRUPO PURDY**

**Matriz Mantenimiento TOYOTA - DIESEL** - El Trabajo, Insumo y Repuesto incluido cada 5,000km.

Operaciones / Repuestos / Insumos	5k	10k	15k	20k	25k	30k	35k	40k	45k	50k	55k	60k	65k	70k	75k	80k	85k	90k	95k	100k	
Cambio de aceite de motor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio filtro de aceite de motor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza de filtro de aire de motor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio de filtro de aire de motor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio de filtro de combustible				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio del líquido de frenos				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Balanceo de las ruedas (fuera del vehículo, dos ruedas)		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Alineamiento de dirección		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ajuste del freno de mano		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección (presión y desgaste) y rotación de llantas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Engrase general	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar y drenar sedimentador filtro diésel	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección aceites transmisión, diferencial, transfer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza Respiradores Transmisión y diferenciales	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza Transfer y Diferenciales (si aplica)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza y Ajuste frenos delanteros	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza y Ajuste frenos traseros	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ajuste resaca de suspensión	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio de Aceite transmisión - *Solamente en Manuales							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio de Aceite Diferencial(es) - Si aplica al modelo							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cambio de Aceite transfer - Si aplica al modelo							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Limpieza de Inyectores Diésel por recirculación						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Alinear y revisar luces	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar tiempo de encendido / tiempo bomba	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección de la válvula PCV	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección tuberías de escape y catalizador	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección sistema de escape	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección de rótulos y articulaciones	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar mínimo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisión de fajas (estado de tensión y desgaste)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisión tapa de válvulas, tapón de radiador	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección y limpieza de batería	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar prensas, mangueras, cables sueltos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Lubricar puertas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar fugas y soportes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisar hules de escobilla	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección del motor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección niveles líquido freno y, clutch	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección del sistema A/C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Revisión sistema de dirección	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección del sistema de enfriamiento	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Inspección de tuberías del sistema de frenos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

**8.6 Anexo 6. Artículos del Código Eléctrico Nacional que se utilizan**

**210.19 Conductores – Ampacidad mínima y calibre mínimo.**

**(A) Circuitos ramales de no más de 600 volts.**

(a) Donde un circuito ramal alimenta cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el calibre mínimo del conductor del circuito ramal debe tener una ampacidad permitida no menor que la carga no continua más el 125% de la carga continua.

**Tabla 310.15(B)(2)(a) Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30°C (86°F)**

Para temperaturas ambientes distintas a 30°C (86°F), multiplique las ampacidades permisibles especificadas en las tablas de ampacidad por el factor de corrección apropiado mostrado a continuación.

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura nominal del conductor			Temperatura ambiente (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 o menos	1.29	1.20	1.15	50 o menos
11–15	1.22	1.15	1.12	51–59
16–20	1.15	1.11	1.08	60–68
21–25	1.08	1.05	1.04	69–77
26–30	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	132–140
61–65	—	0.47	0.65	141–149
66–70	—	0.33	0.58	150–158
71–75	—	—	0.50	159–167
76–80	—	—	0.41	168–176
81–85	—	—	0.29	177–185

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)\*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)\*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4

**625.40 Protección contra sobrecorriente.** El dispositivo de protección contra sobrecorriente para los alimentadores y circuitos ramales de los equipos de alimentación para vehículos eléctricos, debe dimensionarse para régimen continuo y debe tener una capacidad nominal no menor al 125 por ciento de la carga máxima del equipo de alimentación para vehículos eléctricos. Cuando haya cargas no continuas conectadas al mismo alimentador o circuito ramal, el valor nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente no debe ser menor a la suma de todas las cargas no continuas más el 125 por ciento de las cargas continuas.

**240.6 Valores en amperes nominales normalizados.**

**(A) Fusibles e ruptores de circuito de disparo fijo.** Los valores en amperes nominales normalizados de los fusibles e interruptor automático de tiempo inverso, son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes nominales normalizadas adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Debe permitirse el uso de fusibles e ruptores de circuito de tiempo inverso con valores nominales en amperes no normalizadas.

**Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conducto, etc., sin exceder (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1

Tabla 4 Dimensiones y área porcentual de conductos y tuberías (áreas de conductos o tuberías para las combinaciones de cables permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículo 358 — Tubería metálica eléctrica (EMT)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Más de 2 cables 40%		60%		1 cable 53%		2 cables 31%		Diámetro interno nominal		Área total 100%	
		mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm	pulg.	mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>
16	½	78	0.122	118	0.182	104	0.161	61	0.094	15.8	0.622	196	0.304
21	¾	137	0.213	206	0.320	182	0.283	106	0.165	20.9	0.824	343	0.533
27	1	222	0.346	333	0.519	295	0.458	172	0.268	26.6	1.049	556	0.864
35	1¼	387	0.598	581	0.897	513	0.793	300	0.464	35.1	1.380	968	1.496
41	1½	526	0.814	788	1.221	696	1.079	407	0.631	40.9	1.610	1314	2.036
53	2	866	1.342	1299	2.013	1147	1.778	671	1.040	52.5	2.067	2165	3.356
63	2½	1513	2.343	2270	3.515	2005	3.105	1173	1.816	69.4	2.731	3783	5.858
78	3	2280	3.538	3421	5.307	3022	4.688	1767	2.742	85.2	3.356	5701	8.846
91	3½	2980	4.618	4471	6.927	3949	6.119	2310	3.579	97.4	3.834	7451	11.545
103	4	3808	5.901	5712	8.852	5046	7.819	2951	4.573	110.1	4.334	9521	14.753

Tabla 5 (Continuación)

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Área aproximada		Diámetro aproximado	
		mm <sup>2</sup>	pulg. <sup>2</sup>	mm	pulg.
Tipo: RHH*, RHW*, RHW-2*, THHN, THHW, THW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN-2, XF, XFF					
THHN, THWN, THWN-2	14	6.258	0.0097	2.819	0.111
	12	8.581	0.0133	3.302	0.130
	10	13.61	0.0211	4.166	0.164
	8	23.61	0.0366	5.486	0.216
	6	32.71	0.0507	6.452	0.254
	4	53.16	0.0824	8.230	0.324
	3	62.77	0.0973	8.941	0.352
	2	74.71	0.1158	9.754	0.384
	1	100.8	0.1562	11.33	0.446
	1/0	119.7	0.1855	12.34	0.486
	2/0	143.4	0.2223	13.51	0.532
	3/0	172.8	0.2679	14.83	0.584
	4/0	208.8	0.3237	16.31	0.642

Tabla 9 Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75°C (167°F) — Tres conductores individuales en un conducto

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro														Calibre (AWG o kcmil)
	Ohms al neutro por 1000 pies														
	X <sub>i</sub> (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de aluminio			
Conductos de PVC o Aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	—	—	—	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	—	—	—	14
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0