

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“Estudio de prefactibilidad para la instalación de centros de recarga
para vehículos eléctricos en el Campus Central del Instituto
Tecnológico de Costa Rica”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Angie Pamela Bejarano Gómez

Cartago Diciembre, 2020



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 19 de enero, 2021

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Angie Bejarano Gómez

carne No. 2015093767, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado

de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento

Industrial, presentado en la fecha 19 de enero, 2021, con el título Estudio de

prefactibilidad para la instalación de centros de recarga para vehículos eléctricos en el Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:

Angie B

Correo electrónico:

pamelabej3010@gmail.com

Cédula No.:

3 0498 0580

Profesor Guía

Ing. Carlos Piedra Santa María

Tribunal Examinador

Ing. Sebastián Mata Ortega

Ing. Julio Rojas Gómez

Datos personales

Nombre completo: Angie Pamela Bejarano Gómez

Número de cédula: 3 0498 0580

Número de carné: 2015093767

Edad: 23 años

Número de teléfono: 89086125

Correo electrónico: pamelabej3010@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: Urbanización Manuel de Jesús Jiménez.

Datos de la empresa

Nombre: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Actividad principal: Docencia e investigación

Dirección: Cartago, calle 15, avenida 14, 1 km sur de la Basílica de los Ángeles.

Dedicatoria

Primeramente, deseo dar gracias a Dios, sin Él simplemente nada de esto sería posible.

A mi madre, que siempre me ha apoyado y ha sido la persona más importante en este duro camino. Ella ha sido la persona que ha estado ahí en todo momento, apoyándome y motivándome para hacer las cosas de la mejor manera, sin importar las circunstancias.

A mi hermana con la que sabía que podía contar siempre que necesité su ayuda y a todas las personas que han estado junto a mí en este largo camino.

Agradecimientos

Siempre agradecida con Dios por permitirme llegar hasta este momento. A mi madre que es mi fuente de inspiración para seguir adelante y me ha enseñado lo que es la verdadera fortaleza y a ser perseverante en las malas circunstancias.

Agradezco al profesor guía Carlos Piedra, por orientarme en todo el proceso que conllevó el presente trabajo. Así como a todos los profesores que compartieron su conocimiento en esta etapa universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes.....	17
1.1.1 Antecedentes teóricos.....	17
1.2 Reseña de la empresa.....	19
1.2.1 Misión.....	19
1.2.2 Visión	19
1.3 Planteamiento del problema	20
1.4 Objetivo general	21
1.5 Objetivos específicos	21
1.6 Justificación	22
1.7 Viabilidad	24
1.8 Alcance	25
1.9 Limitaciones	26
1.10 Cronograma proyectado.....	27
Capítulo 2. Marco teórico.....	28
2.1 Estudio técnico-económico.....	28
2.2 Estudio financiero.....	29
2.3 Vehículos eléctricos.....	31
2.4 Motores eléctricos.....	32
2.5 Baterías	32
2.6 Método de carga	33
2.7 Modos de carga.....	33
2.8 Tipos de conectores	34
2.9 Tipos de centros de recarga	36
2.10 Transformador.....	37
2.11 Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050	37

2.12	Identificación por radiofrecuencia (RFID)	38
2.13	Artículos del NEC 2014.....	38
Capítulo 3. Resultados y análisis.....		41
3.1	Objetivo 1. Capacidad de instalación para centros de carga	41
3.1.1	Descripción de la instalación.....	41
3.1.2	Normativa nacional para puntos de recarga e instalaciones eléctricas.....	42
3.1.3	Selección de centro de recarga	42
3.1.4	Potencia demandada e instalada	44
3.1.5	Dimensionamiento de conductores	44
3.1.6	Dispositivos de protección	47
3.1.7	Canalización	48
3.1.8	Costo de implementación	50
3.2	Objetivo 2. Mapeo de las estaciones en el campus.....	52
3.2.1	Ubicación	52
3.2.2	Demanda y energía.....	55
3.3	Objetivo 3. Centro de recarga de la unidad de transporte	61
3.3.1	Análisis técnico	61
3.3.2	Análisis financiero.....	84
3.4	Objetivo 4. Sistema de cobro.....	91
3.4.1	Sistema de cobro en Costa Rica	91
3.4.2	Ley N° 9518	91
3.4.3	Ley N° 7593	92
3.4.4	Propuesta de sistema de cobro para el TEC	92
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.....		95
4.1	Conclusiones.....	95
4.2	Recomendaciones	96
Capítulo 5. Bibliografía.....		97

Apéndice.....	103
Anexos.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades.	27
Tabla 2. Evolución de las baterías: energía y costo.	33
Tabla 3. Conectores para recarga rápida.	35
Tabla 4. Conectores para recarga semi-rápida.	36
Tabla 5. Características técnicas del centro de carga.	43
Tabla 6. Previsión de cargas para centros de recarga.	44
Tabla 7. Cálculo de calibre de conductores.	46
Tabla 8. Cálculo de caída de tensión.	47
Tabla 9. Selección de protección contra sobreintensidad.	48
Tabla 10. Dimensiones mínimas para la canalización.	49
Tabla 11. Cálculo de dimensionamiento de ducto.	49
Tabla 12. Dimensiones internas mínimas de la caja de registro.	50
Tabla 13. Costo de implementación.	51
Tabla 14. Costos totales de la instalación eléctrica.	52
Tabla 15. Estacionamientos con control de entrada.	53
Tabla 16. Casos de implementación de centros de recarga.	57
Tabla 17. Detalles de la flota vehicular institucional.	62
Tabla 18. Modelos de vehículos eléctricos en Costa Rica.	64
Tabla 19. Características promedio de los vehículos eléctricos.	65
Tabla 20. Características del modelo Ioniq Electric de Hyundai.	66
Tabla 21. Características de las 10 rutas más frecuentes realizadas por la Unidad de Transporte.	67
Tabla 22. Costos de mano de obra y estructuras de recarga.	70
Tabla 23. Variables del algoritmo heurístico.	71
Tabla 24. Programación de cargadores.	72
Tabla 25. Características técnicas del centro de carga ELCO.	73
Tabla 26. Cálculo de tamaño de ducto.	76
Tabla 27. Especificación del diseño de circuitos ramales de los centros de recarga.	76
Tabla 28. Valores de ρ para diferentes calibres de cable.	77
Tabla 29. Caída de tensión de los circuitos ramales de los centros de recarga.	77
Tabla 30. Cálculos de la demanda máxima y carga instalada.	79
Tabla 31. Cálculo de la demanda máxima para el neutro del alimentador.	79

Tabla 32. Dimensión del alimentador.	80
Tabla 33. Cálculo de caída de tensión para el alimentador.	80
Tabla 34. Dimensión del alimentador-recálculo.	81
Tabla 35. Cálculo de caída de tensión para el alimentador-recálculo.	81
Tabla 36. Cálculo de selección de ducto para el alimentador.	81
Tabla 37. Costos de materiales para los ramales.	82
Tabla 38. Costos de materiales del alimentador y acometida.	83
Tabla 39. Costos totales de la instalación eléctrica.	84
Tabla 40. Desglose de cobro de tarifa preferencial de JASEC.	85
Tabla 41. Características de consumo de vehículo de combustible y vehículo eléctrico.	86
Tabla 42. Sumatoria de kilómetros realizados por las 10 principales rutas.	86
Tabla 43. Costo de combustible y electricidad.	87
Tabla 44. Costo de centros de recarga tipo Wallbox.	88
Tabla 45. Resumen de indicadores financieros sin amortización.	89
Tabla 46. Resumen de indicadores financieros con amortización.	90
Tabla 47. Tecnologías de identificación de usuario.	92
Tabla 48. Características principales de las etiquetas RFID.	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento del transporte eléctrico en Costa Rica.....	17
Figura 2. Planteamiento del problema.....	20
Figura 3. Tipos de conectores.	34
Figura 4. Modelo de centro de recarga.....	43
Figura 5. Diagrama unifilar básico.....	45
Figura 6. Diagrama unifilar de los centros de recarga.	50
Figura 7. Estacionamientos con aguja de control parte I.	54
Figura 8. Estacionamiento con aguja de control parte II.....	54
Figura 9. Modelo de localización en un estacionamiento.	55
Figura 10. Capacidades nominales de los transformadores de poste	56
Figura 11. Unidad de transportes.	61
Figura 12. Hyundai Ioniq Electric.....	66
Figura 13. Distribución de porcentaje de carga disponible.....	68
Figura 14. Conector SAE J1772.....	69
Figura 15. Estación tipo Wallbox ELCO.	73
Figura 16. Tablero de medida y protección para estación de carga.	82
Figura 17. Supuesto de costos de infraestructura de carga y vehículos.	84
Figura 18. Flujo de efectivo del inversionista sin amortización.	89
Figura 19. Flujo de efectivo del inversionista con amortización.	90

LISTA DE ABREVIATURAS

ARESEP: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.
BT: Baja tensión.
CA: Corriente alterna.
CCS: Combined Charging System.
CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.
CONARE: Consejo Nacional de Rectores.
EV: Vehículos eléctricos.
ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.
IVA: Impuesto de Venta Agregado.
JASEC: Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago.
MIDEPLAN: Ministerio de Planificación y Política Económica de Costa Rica.
MT: Mediana tensión.
NEC: Código Eléctrico Nacional.
PR: Periodo de recuperación.
PVC: Policloruro de vinilo.
RFID: Identificación por radiofrecuencia.
SCIJ: Sistema Costarricense de Información Jurídica.
TEC: Tecnológico de Costa Rica.
TIR: Tasa Interna de Retorno.
VAN: Valor Actual Neto.

Resumen

El proyecto fue planteado para ejecutarse en las instalaciones del Tecnológico de Costa Rica en su Campus Central, con el fin de evaluar la prefactibilidad técnica y económica de implementar centros de recarga para vehículos eléctricos dentro de la institución. Primero, se planteó un modelo hipotético de centro de recarga para disposición de los estudiantes, profesores y personal administrativo, en el cual se realizó un estudio eléctrico, donde se aplicaron todas las normas implicadas para el diseño del sistema eléctrico y se realizó un estudio para la ubicación óptima de los cargadores.

Se planteó un sistema de recarga exclusivo para la flota vehicular institucional a cargo de la Unidad de Transporte, bajo el supuesto de que se dé el cambio a una flota eléctrica. Para ello, se realizó un estudio técnico donde se definió la ubicación y el tamaño del proyecto, además, se realizó el cálculo para la selección de los elementos que conforman la instalación eléctrica (cables, ductos, protecciones, etc.). En este caso, se elaboró un estudio financiero, en el cual, a partir del estudio técnico, se logró dimensionar los costos por materiales y mano de obra. Con esta información, se desarrolló el flujo de efectivo del inversionista con y sin amortización y en ambos escenarios los valores del VAN y TIR son positivos.

Finalmente, se realizó un estudio sobre sistemas de cobro para los centros de recarga, los cuales se encuentran normados por la Ley N° 9518 y la Ley N° 7593, donde, actualmente, se imposibilita el cobro por el uso de los cargadores bajo los criterios de diseño que se plantean en este proyecto.

Palabras clave: vehículos eléctricos, centros de recarga, instalación eléctrica, estudio financiero.

Abstract

The project was proposed to be executed in the facilities of the Tecnológico de Costa Rica in its Central Campus, to evaluate the technical and economic pre-feasibility of implementing charging centers for electric vehicles within the institution. First, a hypothetical model of a recharging center was proposed for the disposal of students, teachers, and administrative staff, in which an electrical study was carried out, where all the standards involved for the design of the electrical system were applied and a study was carried out for the optimal location of the chargers.

An exclusive recharging system was proposed for the institutional vehicle fleet in charge of the Transportation Unit, under the assumption that the change to an electric fleet occurs; in which a technical study was carried out where the location and size of the project were defined and the calculation was made for the selection of the elements that make up the electrical installation (cables, ducts, protections, etc.). In this case, a financial study was carried out in which, based on the technical study, it was possible to determine the costs for materials and labor. From that information, the investor's cash flow was developed with and without amortization and in both scenarios the Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) values are positive.

Finally, a study was carried out on charging systems for recharging centers, which are standardized by law, which currently make it impossible to charge for the use of chargers under the criteria of design that arise in this project.

Keywords: electric vehicles, charging centers, electrical installation, financial study.

Capítulo 1. Introducción.

Costa Rica ha fortalecido su compromiso con el medio ambiente por medio de su Plan de descarbonización 2018-2050 (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2018). Dentro del documento, se traza una propuesta de la ruta que debe seguirse para un cambio gradual de vehículos convencionales a vehículos eléctricos, ya que, según estudios realizados, más del 40 % de las emisiones de CO₂ se debe a los vehículos particulares que utilizan combustibles fósiles. Esta es una de las razones por las que el Estado promueve el cambio hacia un vehículo que genere cero emisiones; dentro del mismo plan, se establece la meta de alcanzar para el año 2050 una flota de vehículos eléctricos de más del 60 % (MINAE, 2018).

Este cambio no debe ser tomado a la ligera, porque el sistema en general va a resentir esta nueva ola de demanda, debido a la recarga de los automóviles eléctricos, lo primero que se debe considerar es el cambio en la red eléctrica, debido a que la red tendrá una carga más grande a la cual suplir, tema que ya se encuentra contemplado en el plan de expansión de generación 2018-2034 del ICE que proyecta un aumento de capacidad instalada a partir de energías limpias como geotérmico, eólico y solar, por lo que la capacidad instalada alcanzaría 4 076 MW para el 2034 (Vega, 2020).

Ahora, no solo se puede hablar de generar más energía y ya, eso implica, a nivel de alta potencia, realizar un estudio de la capacidad de los transformadores, la capacidad de los conductores y muchos elementos dentro de la distribución de energía desde las casas matrices. En síntesis, es un tema muy amplio y, además, poco estudiado a nivel nacional, debido a que, actualmente, la cantidad de vehículos eléctricos no genera un impacto alto a la red eléctrica.

En este estudio, se realizará una analogía, pero delimitado solo a las instalaciones del Campus central del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con el fin de conocer si los transformadores dentro del campus tienen disponibilidad para la colocación de centros de recarga de los vehículos y también se incluirá un estudio financiero para su eventual implementación.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes teóricos

A nivel global, el aumento de vehículos eléctricos es innegable, y Costa Rica no es la excepción, como se puede mostrar en Figura 1, en los últimos 4 años, ha sido exponencial y se pronostica que en 3 años la cantidad de vehículos eléctricos aumentará en un 800 % en el país (MINAE, 2020).

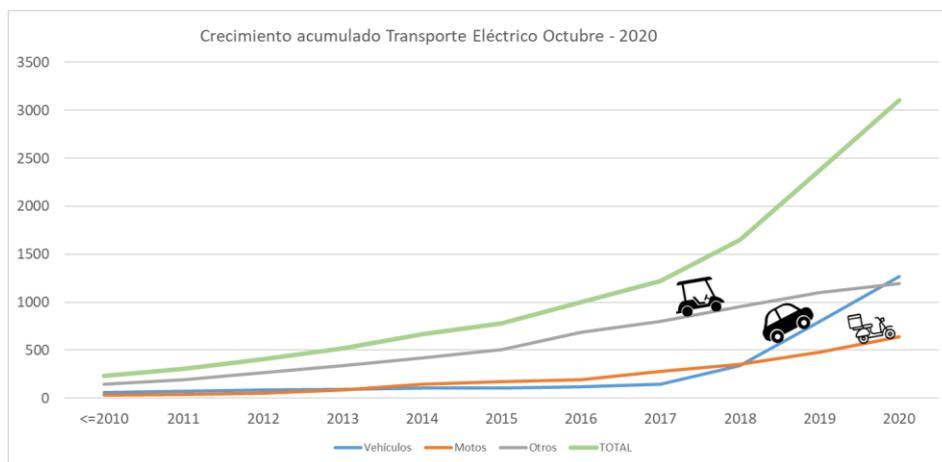


Figura 1. Crecimiento del transporte eléctrico en Costa Rica.

Fuente: MINAE (2020).

Un aumento en la cantidad de vehículos eléctricos incurre en un aumento de la estructura de recarga a nivel nacional y, actualmente, ya se encuentran 136 centros de carga alrededor de las principales rutas de Costa Rica.

Para poder realizar las instalaciones de los centros de recarga, es importante conocer el comportamiento de estos con respecto a la potencia que pueden llegar a exigir a la red de alimentación. En los últimos años, alrededor del mundo, se han realizado estudios sobre la capacidad de los transformadores y su conducta cuando se conectan vehículos eléctricos para ser cargados. En dichos estudios, se ha determinado la cantidad de vehículos eléctricos que se

pueden cargar de forma simultánea por medio de simulaciones. Este estudio en particular indica que, para un transformador de carga residencial, se pueden conectar hasta un máximo de 100 vehículos en carga lenta, sin superar los límites de caída de voltaje y pérdidas en el sistema. (Collaguazo y Mena, 2018).

En otro estudio realizado, se demuestra a partir de un pronóstico de demanda el incremento en la carga máxima del transformador, cuando se cargan los automóviles de forma rápida y lenta, y se concluyó que, para carga rápida, la demanda máxima aumenta en un 47 % y, para carga lenta, aumenta en un 18,11 % (Shao, Pipattanasomporn y Rahman, 2009).

Además, ya se han realizado estudios dentro de universidades sobre la viabilidad de implementar transportes eléctricos, tal es el caso de un estudio realizado en una universidad de Ecuador, que evalúa la factibilidad de implementar en sus recorridos internos un minibús urbano eléctrico y su respectiva estructura de carga (Córdoba Hurtado y Montejo Cornero, 2017). En México, se realizó un estudio técnico-económico de la instalación de estaciones de carga fundamentada en su normativa nacional y un análisis de viabilidad del proyecto en términos financieros (Ávila Castillo y Pérez López, 2016).

1.2 Reseña de la empresa

El Tecnológico de Costa Rica (TEC) es una institución nacional autónoma de educación superior universitaria, dedicada a la docencia, la investigación y la extensión de la tecnología y las ciencias conexas para el desarrollo de Costa Rica. En su estructura organizativa, se destacan las siguientes instancias: Asamblea Institucional, Consejo Institucional, Rector y cuatro Vicerrectorías (Tecnológico de Costa Rica, 2020).

1.2.1 Misión

Contribuir al desarrollo integral del país, mediante formación del recurso humano, la investigación y la extensión; manteniendo el liderazgo científico, tecnológico y técnico, la excelencia académica y el estricto apego a las normas éticas, humanísticas y ambientales, desde una perspectiva universitaria estatal de calidad y competitividad a nivel nacional e internacional (Tecnológico de Costa Rica, 2020).

1.2.2 Visión

El Instituto Tecnológico de Costa Rica seguirá contribuyendo mediante la sólida formación del talento humano, el desarrollo de la investigación, la extensión, la acción social y la innovación científico-tecnológica pertinente, la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación con los diferentes actores sociales a la edificación de una sociedad más solidaria e inclusiva; comprometida con la búsqueda de la justicia social, el respeto de los derechos humanos y del ambiente (Tecnológico de Costa Rica, 2020).

1.3 Planteamiento del problema

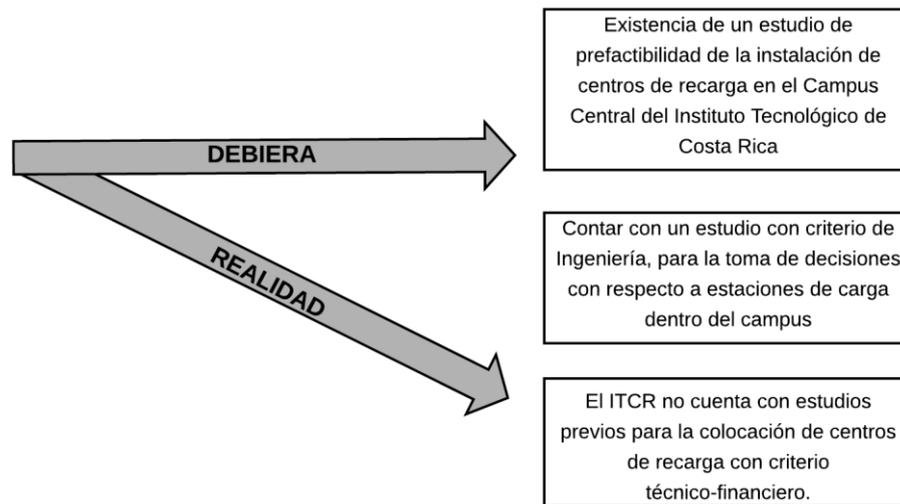


Figura 2. Planteamiento del problema.

Fuente: Propia.

El TEC necesita estos estudios para poder proveer a los estudiantes, profesores y demás empleados centros de recarga para vehículos eléctricos sin repercutir en los elementos de la red de distribución. Para eso, se plantea este proyecto, el cual tiene como objetivo trazar la línea que debe seguir el campus para implementar centros de recarga de vehículos eléctricos basados en el flujo vehicular que demande la flotilla de la institución, además, determinar si es suficiente la capacidad que se tiene disponible en los transformadores o, si es necesario, implementar más para cubrir la demanda pronosticada a mediano plazo.

1.4 Objetivo general

Determinar la viabilidad técnico-financiera sobre la integración de vehículos eléctricos dentro del Campus Central de Cartago del Tecnológico de Costa Rica que incentiven la movilidad eléctrica, según lo establecido en el Plan Nacional de Energía 2015-2030 del Gobierno de Costa Rica.

1.5 Objetivos específicos

- Determinar, con ayuda del diagrama unifilar del Campus Central, la carga máxima disponible para la instalación de centros de recarga, mediante un estudio eléctrico basado en el Código Eléctrico Nacional.
- Determinar los puntos estratégicos para la colocación de los centros de recarga basados en el criterio de demanda y la capacidad técnica, tanto para vehículos institucionales como particulares.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de un centro de recarga, que satisfaga la demanda, de acuerdo con la cantidad actual de vehículos de combustión interna con que cuenta la institución, a través de un análisis técnico- financiero.
- Determinar los requerimientos ante la eventual posibilidad de la implementación de un sistema de cobro, para el uso de los centros de recarga para los vehículos particulares de los funcionarios y estudiantes.

1.6 Justificación

Los elementos que más contribuyen a la emisión de gases en el país son los medios de transporte que funcionan con combustibles fósiles, para ser exactos, representan un 54 % de las emisiones de dióxido de carbono, de esto, el cual 41 % corresponde a vehículos particulares (Estado de la nación, 2016). Esta es una de las razones por las cuales se está promoviendo el uso de vehículos eléctricos.

La dirección de energía del MINAE maneja datos sobre el crecimiento que ha tenido la flota nacional de vehículos eléctricos; para el mes de mayo del 2020, se contabilizan un total de 2 707 de vehículos eléctricos, además, se cuenta con una proyección conservadora del crecimiento en Costa Rica que se apoya en el comportamiento del aumento de vehículos eléctricos en países líderes y, para el 2023, se proyectan 22 037 vehículos eléctricos en total, lo cual corresponde a un aumento exponencial en tan solo 3 años (MINAE, 2020).

Actualmente, muchos países se encuentran realizando estudios sobre el impacto de la conexión de vehículos eléctricos y la forma de minimizar sus efectos, donde se han encontrado que la recarga de los vehículos puede provocar problemas de sobrecargas en los conductores y transformadores, además de problemas de calidad de energía (Araya, 2018).

Debido a esas proyecciones y al conocimiento que se tiene de los vehículos eléctricos, es ahora el momento de iniciar con estudios y recolectar datos a nivel nacional del comportamiento que podría tener la red eléctrica nacional y conocer con anticipación si la red está preparada para este tipo de cargas con el crecimiento que se tiene previsto o, si no está preparada, dar pautas a seguir para actuar con antelación ante el aumento de vehículos y, de esta manera, no actuar de forma reactiva. También, es importante considerar la integración de un sistema de gestión de

demanda para los usuarios con vehículos eléctricos, ya que “una gestión acertada permite reducir las pérdidas en las redes, disminuir los niveles de carga de los transformadores y las caídas de tensión en los nodos de la red” (Torre, 2013).

1.7 Viabilidad

Esta investigación únicamente será realizada en las instalaciones del Campus central del TEC, que ya cuenta con estudios de movilidad dentro de la institución para poder conocer con datos reales el comportamiento, además del volumen de automóviles dentro de los parqueos, entonces la ventaja de que se esté realizando en una universidad es que, dentro de lo que cabe, existe un mayor control de estas variables en comparación con una ciudad. También, los principales parqueos cuentan con agujas que también almacenan información que nos puede ser de utilidad para el pronóstico que se planteó realizar.

Además, para la base teórica que se requiere para fundamentar el proyecto, se tiene a disponibilidad para los estudiantes más de cincuenta bases de datos especializadas en ingenierías con documentos de investigación, trabajos finales, revistas, entre otros recursos electrónicos, por lo que se tiene una alta disposición de información para llevarse a cabo este proyecto.

Al ser una investigación, no incluye ejecuciones de ningún tipo y no se verá limitado por un presupuesto planteado de parte de la empresa.

1.8 Alcance

La presente investigación está enfocada en el análisis de la capacidad de los transformadores necesarios para un mediano plazo, contemplando la demanda de los estudiantes y profesores del TEC.

En el proyecto de investigación, solo se tomará en cuenta el Campus de Cartago, debido a que tiene un flujo vehicular mayor en comparación con los demás recintos de la institución. Además, se cuenta con más información sobre los flujos de vehículos, ya que, con anterioridad, se han realizado estudios de movilidad que son una gran fuente de información para la presente investigación.

Como se dijo con anterioridad, el tema es muy amplio, por lo que el tema de facturación no se contemplará en este documento, solo se propondrán sistemas de cobro, para que, a un mediano plazo, se puedan tomar en cuenta e implementarlos.

Finalmente, el principal objetivo del proyecto es que los resultados de la investigación sean aprovechadas por otros estudiantes interesados en la rama, además de instituciones a las que les concierne el tema de distribución de energía eléctrica, debido a que es un tema de interés nacional que se encuentra por escrito en el plan nacional y el Estado de Costa Rica motiva a la población a la transición de autos de combustión interna a autos eléctricos

1.9 Limitaciones

- En este proyecto, se propondrán los espacios para la colocación de centros de recarga, pero el estudio no abarca las fases de implementación.
- Las proyecciones realizadas en este documento no podrán ser aplicadas en otras entidades similares o ciudades sin un previo análisis del flujo vehicular.
- El período de tiempo de investigación comprende catorce semanas de duración a partir de agosto de 2020.
- No se considerarán vehículos con tecnología híbrida dentro de las proyecciones de la investigación, debido a que el objetivo es promover el uso de vehículos cero emisiones.

1.10 Cronograma proyectado

A continuación, se muestra un diagrama de Gantt, donde, de forma gráfica, se realiza una distribución de las actividades que se plantean inicialmente en el transcurso de 14 semanas.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

Descripción de actividad	Duración (semanas)	Semanas II semestre 2020													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Recolección de diagramas unifilares del Campus central	2	■	■												
Estudio de la instalación eléctrica de un centro de carga según el Código Eléctrico Nacional	1		■												
Estudio eléctrico de un centro de carga	2			■	■										
Determinar los puntos estratégicos en el Campus para la colocación de centros de recarga	2					■	■								
Recolección de información de la unidad de transporte del TEC sede central	1							■							
Estudio técnico de prefactibilidad de centros de recarga	3								■	■	■				
Análisis financiero de la implementación de centros de recarga para la unidad de transporte	2											■	■		
Investigar sistemas de cobros en los centros de recarga	1													■	
Propuesta de modelo de cobro dentro del Campus	2														■

Fuente: Propia.

Capítulo 2. Marco teórico.

En el capítulo, se desarrollan los principales términos que serán necesarios para la ejecución del proyecto y la comprensión del análisis de prefactibilidad de la instalación de centros de recarga para vehículos eléctricos.

2.1 Estudio técnico-económico

En el análisis técnico, se determina si se dispone de la tecnología, los recursos y las condiciones para poder desarrollar el proyecto. Con este estudio, se “determinará los requerimientos de equipos para la operación y el monto de la inversión; que a su vez permitirá la dimensión de espacio físico para su operación” (Sapag Chain y Sapag Chain, 2008), lo que hará posible cuantificar los costos por mano de obra, de mantenimiento y de reparaciones. De una forma más precisa, se puede detallar un estudio técnico en cuatro componentes (Baca Urbina, 2010):

- Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto: macro localización (ubicación del mercado de consumo, fuentes primarias y mano de obra y la micro localización (cercanía con el mercado consumidor, infraestructura y servicios).
- Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto: capacidad instalada del proyecto.
- Identificación y descripción del proceso: resolución técnica de la instalación y funcionamiento.
- Determinación de la organización humana y jurídica que se requiere para la correcta operación del proyecto.

2.2 Estudio financiero

El análisis financiero es una herramienta importante para la toma de decisiones en todo proyecto que requiera una inversión inicial. Para ello, es necesario realizar estimaciones de los resultados económicos, a través de los flujos efectivos en un periodo de años determinados y, de esta manera, contabilizar el beneficio económico y la rentabilidad.

Flujos de efectivo

Según Blank y Tarquin (2006), el flujo de efectivo son cantidades de dinero estimadas en lapsos anuales o cualquier otro periodo de tiempo. Estos valores pueden ser positivos (entradas) o negativos (salidas), pero, como se dijo, son solo estimaciones del futuro, por lo que no se deben tomar literalmente, sin embargo, sí es una gran herramienta que facilita la toma de decisiones para el desarrollo de proyectos.

Para determinar la rentabilidad del proyecto, se puede hacer uso de los indicadores de rentabilidad, los más usados son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Valor Actual Neto (VAN)

Blank y Tarquin (2006) determinan que, una vez descontada la inversión inicial, si en los flujos de ingresos y egresos a través del tiempo queda una ganancia, se puede decir que el proyecto tiene viabilidad financiera.

Se utiliza la siguiente ecuación para poder calcularla:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} \quad (1)$$

Donde:

- B_t = ingresos del año t del proyecto.
- C_t = costos del año t del proyecto.
- t = años correspondientes a la vida del proyecto que varía entre 0 y n.
- r = TREMA.

En términos simples, se puede determinar si un proyecto es viable o no, siguiendo los siguientes criterios:

- $VAN > 0$: se acepta el proyecto, porque se recupera la inversión y genera ganancias futuras.
- $VAN = 0$: el proyecto recupera la inversión inicial, pero no produce ganancias. Financieramente no es viable, pero es elegible de forma estratégica.
- $VAN < 0$: el proyecto no es rentable.

Tasa interna de retorno (TIR).

“La tasa de interés con la que el valor actual neto o valor presente neto VAN se iguala a cero.

Valores que se calculan a partir del flujo de caja anual” (Blank y Tarquin, 2006).

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} \quad (2)$$

Donde:

- B_t = ingresos del año t del proyecto.
- C_t = costos del año t del proyecto.
- t = años correspondientes a la vida del proyecto que varía entre 0 y n .
- r = TIR.

En términos simples, se puede determinar si un proyecto es viable o no, siguiendo los siguientes criterios:

- $TIR > 0$ y $VAN > 0$: se acepta el proyecto, porque se recupera la inversión y genera ganancias futuras.
- $TIR = 0$ y $VAN = 0$: se rechaza el proyecto.
- $TIR < 0$ y $VAN < 0$: el proyecto se rechaza debido a que genera pérdidas.

Periodo de recuperación (PR)

De acuerdo con Blank y Tarquin (2006), “es el tiempo que se estima para determinar en cuantos años las ganancias del proyecto cubren la inversión inicial y empieza a generar ganancias”.

2.3 Vehículos eléctricos

Según García (2015), un vehículo eléctrico es aquel que es propulsado por uno o más motores eléctricos de corriente alterna. Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por unas baterías, o bien por una célula de combustible de

hidrógeno o tomada directamente de una red eléctrica a la que están conectados permanentemente

2.4 Motores eléctricos

Los motores más usados son motores síncronos de imanes permanentes, aunque, a veces, también se usan motores asíncronos. Los motores que trabajan con corriente alterna son más potentes que los de continua, más ligeros, y necesitan apenas mantenimiento, pero tienen el “inconveniente de que su velocidad está determinada por la frecuencia de la corriente alterna de alimentación” (Moreno, 2016). Los motores de corriente alterna (síncronos o asíncronos) funcionan a velocidad constante. El control de los motores de corriente alterna es más complejo y requiere de un inversor electrónico que genera, a partir de la corriente continua de la batería, una corriente alterna de frecuencia variable. Para aumentar la velocidad, hay que aumentar la frecuencia y, además, proporcionar el par necesario para acelerar el vehículo, lo que requiere métodos de control más complejos. García (2015) menciona que, mientras un vehículo eléctrico va frenando o bajando una cuesta, existe la posibilidad de invertir el funcionamiento del motor, que pasa a trabajar como generador, y cargar la batería con la energía cinética, en el caso de frenada, o con la energía potencial, en caso de bajada de una cuesta.

2.5 Baterías

Las baterías han evolucionado modo que lo que se busca es almacenar suficiente energía, para dar una potencia y autonomía suficiente para el vehículo eléctrico (Orbea, Toapaxi y Guano, 2017). Este tipo de baterías “tiene un generador eléctrico secundario que necesita un suministro eléctrico para el proceso de carga y cumplen ciclos repetitivos” (Puentestar y Rodríguez, 2011); es decir, se cargan y descargan hasta que terminan su ciclo de vida.

Las baterías más usadas en la actualidad en vehículos eléctricos son las de níquel metal hidruro (NiMH) y la de ion litio.

Tabla 2. Evolución de las baterías: energía y costo.

Tipo de batería recargable	Energía (Wh/kg)	Autonomía esperada	Eficiencia energética (%)
Zebra (NaNCl)	300	135 km	92,5
Polímero de litio	200	135 km	90,0
Iones de litio	125	100 km	90,0
Níquel- Hidruro Metálico	70	80 km	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	100 km	72,5
Plomo- ácido	40	80 km	82,5

Fuente: Orbea, Toapaxi, y Guano (2017).

2.6 Método de carga

Lo primero es hacer pasar una corriente eléctrica desde una fuente externa en corriente directa. Cuando ya se encuentre cargada en su totalidad, cada celda posee un voltaje de 2,2V para obtener un total de 13,2V para una batería de 6 celdas. Es necesario que las baterías siempre se carguen por completo para no disminuir el ciclo de vida útil de la batería. La variable que más afecta los componentes internos de la batería es la temperatura, por eso, en ningún momento se debe superar los 55°C (Puentestar y Rodríguez, 2011).

2.7 Modos de carga

Nivel I

Logroño (2017) indica que el modo de carga Nivel I es la más estandarizada y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Su principal ventaja es que no requiere de

infraestructura adicional, porque funciona con corriente alterna monofásica a una tensión de 240 V, por lo que está enfocada para el uso doméstico. El tiempo necesario para una recarga completa de la batería (tipo 24 kWh) ronda entre las 6 y 8 horas.

Nivel II

Asimismo, Logroño (2017) expresa que el modo más utilizado en lugares públicos es la carga nivel II, la cual se pueden considerar semi-rápida. También, utilizan una alimentación de 240 V. La duración del tiempo de carga varía entre 2 y 6 horas, dependiendo el rango de potencia.

Nivel III

Se utilizan para las recargas rápidas de menos de 1 hora y se pueden encontrar en locaciones de recarga. “Funcionan con voltajes trifásicos y se encargan de hacer la conversión de corriente alterna a corriente directa, por lo que el automóvil se carga directamente con voltaje continuo” (Logroño, 2017).

2.8 Tipos de conectores

De acuerdo con el modo de carga, el sistema tendrá un tipo de conector, tales como los que se encuentran en la Figura 3.

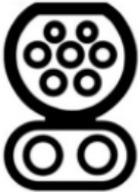


Figura 3. Tipos de conectores.

Fuente: EPM (2019)

De acuerdo con Logroño (2017), el conector Mennekes, también llamado conector tipo 2 con origen alemán, funciona tanto en corriente alterna trifásica como en monofásica. En su conexión monofásica, soporta 16 A y en su nivel trifásico hasta los 64 A. El CCS (*Combined Charging System*) es una versión norteamericana y alemana, que permite en un mismo conector dos tipos ya existentes que son los tipos 1 (Yazaki) y el tipo 2. Por último, se tiene el sistema CHAdeMo que admite hasta 200 A para recargas ultra rápidas y es el estándar de fabricantes japoneses como Nissan, Toyota y otras marcas de automóviles de este país.

Tabla 3. Conectores para recarga rápida.

	Conector	Características	País de origen
Chademo		Voltaje de 500 V Corriente de 200 A	Japón
Tesla		Voltaje de 110-250 V en CA y 480 V en DC Corriente de 12-80-100 A, conexión trifásica	EE. UU. exclusivo para Tesla
SAE J1772 CCS Combo		Voltaje de 200-600 V Corriente de 200 A	EE. UU.
EU DC CCS Combo 2		Voltaje de 200- 850 V Corriente de 65-200 A	Europa

Fuente: Barros y Ortega (2018).

Tabla 4. Conectores para recarga semi-rápida.

	Conector	Características	País de origen
SAE J1772		Voltaje de 120-240 V Corriente de 16-80 V	EE. UU.
IEC 62196 Tipo 2		Voltaje de 250-400 V Corriente de 63 A Conexión trifásica	Europa y China

Fuente: Barros y Ortega (2018).

2.9 Tipos de centros de recarga

Centros de recarga en la vía pública

Este tipo de electrolinerías consta de un poste que posee el conector para realizar la recarga, se pueden encontrar en las aceras y es principalmente usado para parqueos (Salmerón Ozores, 2012).

Centros de recarga tipo gasolinera

Este tipo de sistemas de recarga se pueden instalar en aparcamientos y gasolineras, estos centros se caracterizan por tener dos o más conectores para poder cargar varios vehículos (Salmerón Ozores, 2012).

- Mono punto: es decir, tenemos un solo punto de conexión en la pared.
- Multipunto: posee conexión hacia varios vehículos.

2.10 Transformador

Es el dispositivo o equipo de los centros de transformación, mediante inducción electromagnética, transforma un sistema de corriente alterna en otro de corriente alterna, pero a una magnitud de tensión diferente. Los datos más importantes que se encuentran en la placa del transformador es la “potencia nominal, la relación de transformación, la tensión de cortocircuito, la frecuencia y el grupo de conexión” (García, 2020).

Para determinar la potencia de un transformador, se calcula a partir de la potencia consumida P_{ins} y, por aparte, se le multiplican dos factores el K_u , que es el coeficiente de utilización y K_s , que es el coeficiente de simultaneidad y para la potencia aparente se considera un factor de potencia de 0,9 y un factor de ampliación de 1,3 veces más de la potencia instalada.

2.11 Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

Mediante el Decreto N° 41561-MP-MINAE, dado en la Presidencia de la República de Costa Rica, se da la Declaratoria de Interés Público y Nacional del Plan de Descarbonización compromiso del Gobierno del Bicentenario. En el área de Transporte y Movilidad Sostenible, específicamente en el eje 2, se hace referencia a la Transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones (MINAE, 2018).

2.12 Identificación por radiofrecuencia (RFID)

De acuerdo con Fernández, Morcillo y Muñoz (2006), la identificación por radiofrecuencia es un método electrónico, donde a un producto se le coloca una etiqueta y esta transmite la información por campos magnéticos a una base de datos. Esta tecnología funciona de la siguiente forma: primero, se debe tener un lector que tiene una antena que emite una señal electromagnética que activa la etiqueta y esta responde con una señal que envía la información codificada.

Las principales áreas en las que se utiliza la tecnología de RFID son “seguridad, cruces fronterizos, credenciales de identidad, control vehicular, paquetes, artículos de renta o préstamo, entre muchas otras áreas” (Alvarado, 2008).

2.13 Artículos del NEC 2014

215.2 Alimentadores a no más de 600 volts. (1) Generalidades.

Los conductores de los alimentadores deben tener una capacidad no menor que la requerida para alimentar la carga. Los conductores deben estar dimensionados para transportar no menos que el valor más alto especificado en 215.2 (A)(1) (a) o (b). (a) Donde un alimentador abastece cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el calibre mínimo del conductor del alimentador debe tener una ampacidad permitida no menor que la carga no continúa más el 125 % de la carga continua. (b) El calibre mínimo del conductor del alimentador debe tener una capacidad permitida no menor que la carga máxima que se va a alimentar después de la aplicación de cualquier factor de ajuste o corrección (NFPA, 2014).

2.15.3 Protección contra sobre corriente.

Los alimentadores deben estar protegidos contra sobre corriente, de acuerdo con lo establecido en la parte I del artículo 240. Cuando un alimentador suministra cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobre corrientes no debe ser inferior a la carga no continua, más del 125 % de la carga continua (NFPA, 2014).

240.6(A) Fusibles e interruptores de circuito de disparo fijo.

Los valores en amperes nominales normalizados de los fusibles e interruptores automáticos de disparo en inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes (NFPA, 2014).

250.122 Calibre de los conductores de puesta a tierra de equipos

Los conductores de puesta a tierra de equipos de cobre, aluminio, o aluminio recubierto de cobre, de tipo alambre, no deben ser de calibres inferiores a los presentados en la Tabla 250.122 (NFPA, 2014).

Artículo 310 Conductores para alambrado en general. (1) Generalidades.

Requisitos generales de los conductores y de sus denominaciones de tipos, aislamiento, marcado, resistencia mecánica, ampacidad de corriente y usos. La sección 310.15 trata sobre la ampacidad de los conductores con tensión nominal de 0-2000 voltios (NFPA, 2014).

Artículo 625 Sistema de carga de vehículos eléctricos. (1) Generalidades.

Las disposiciones de este artículo tratan de los conductores y equipos eléctricos externos a los vehículos eléctricos y que sirven para conectarlos a una fuente de alimentación por medios conductivos e inductivos y a la instalación de los equipos y dispositivos relacionados con la carga de vehículos eléctricos (NFPA, 2014).

Capítulo 3. Resultados y análisis.

3.1 Objetivo 1. Capacidad de instalación para centros de carga

Al principio, el objetivo era obtener la capacidad disponible de los transformadores mediante el diagrama unifilar y los planos; de esta manera, se estimaría la cantidad máxima de centros de recarga que se podrían conectar en cada transformador. Para la obtención de la información, se realizó la consulta al Departamento de Administración de Mantenimiento y a la Oficina de Ingeniería y, en ninguno de los dos departamentos, cuentan con la información completa. Además, para todos aquellos edificios de más de 10 años, los datos de demanda de equipos pueden encontrarse desactualizados.

Es por esta razón que, para el cumplimiento del objetivo, se hará un cambio en el procedimiento y no se basará en la capacidad disponible, en lugar de eso, se planteó un caso, en que dos estaciones de recarga se encuentran conectadas de forma simultánea, determinando la potencia consumida y también se aplicará los artículos del NEC, para realizar la instalación de estos y su respectivo costo.

3.1.1 Descripción de la instalación

Para el estudio eléctrico, se realizará una propuesta de un sistema de instalación de los dos centros de carga, el cual está compuesto por las protecciones, la línea de alimentación, el equipo de medida y los ramales (Mesa Yanes, 2019).

El diseño consiste en dos cargadores conectados de forma simultánea en modo 3, cada uno con una capacidad de 22 kW, la más utilizada en puntos de carga en estacionamientos y en

empresas, y son ideales por su costo y tiempo de recarga, ya que tardarían recargar entre 2 y 4 horas (Cano y Castelo, 2017).

Los principales elementos de un sistema eléctrico son:

- Cables.
- Canalización.
- Cámaras o cajas de registro.

3.1.2 Normativa nacional para puntos de recarga e instalaciones eléctricas

- Normativa AR-NT-SUCOM: Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión
- INTE/IEC 61851-1: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos-parte 1: Requisitos generales.
- INTE/IEC 61851-23 Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 23: Estación de carga en corriente continua para vehículos eléctricos.
- NFPA 70: NEC 2014: Guía de requisitos sobre cuestiones relacionadas con la instalación de equipos y cableado eléctrico, incluyendo las cláusulas mínimas para la utilización de conexiones, marcas de voltaje, conductores y cables.
- Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13.8; 24.9 y 34.5 KV.

3.1.3 Selección de centro de recarga

Para la elección del cargador, se tomaron en cuenta los siguientes criterios (Barros y Ortega, 2018):

- Facilidad de uso: qué tan amigable es el funcionamiento del equipo con el usuario.

- Inteligentes: permite programar el tiempo de carga, la identificación del usuario, comunicación con el vehículo, etc.
- Homologado: se encuentra aprobado por normas estandarizadas.
- Resistente: es decir, si tiene la protección suficiente para funcionar en la intemperie.

El centro de carga que se seleccionó cuenta con todos los anteriores criterios. El modelo EVF2S22P04R de Schneider cuenta con sistema RFID para identificar el usuario, se puede controlar el nivel de potencia del equipo hasta los 22 kW y tiene un grado de protección IP 54. Dicho de otra manera, tiene protección contra polvo y contra chorros de agua (Schneider Electric, 2020).



Figura 4. Modelo de centro de recarga

Fuente: Schneider Electric (2020)

Tabla 5. Características técnicas del centro de carga.

Característica	Descripción
Modelo	EVF2S22P04R
Estación	De pared o suelo con pedestal
Tipo	Semi-rápida trifásica
Potencia eléctrica	22 kW
Tensión de entrada	400 V

Corriente de salida	32 A
Tipo de conectores	SAE J1772
Grado de protección	IP 54
Sistema de lectura	RFID
Precio	₺2308528,688

Fuente: Schneider Electric (2020)

3.1.4 Potencia demandada e instalada

Tiene una potencia total de 44 kW para satisfacer la demanda de los dos cargadores y, en diseño, no existe ningún otro circuito, por lo que es necesario un transformador de potencia de 50 kVA, con un voltaje en el secundario de 400 V.

Tabla 6. Previsión de cargas para centros de recarga.

Elemento	Unidades	Potencia unitaria (W)	Potencia Total (W)	Factor de potencia	Corriente	Factor de demanda	Potencia (kVA)
Cargador	2	22000	44000	1	32	1	440000

Fuente: Propia.

3.1.5 Dimensionamiento de conductores

Se iniciará con el dimensionamiento de los conductores para cada equipo y para la acometida en baja tensión. Se debe recordar que la acometida comprende desde la red de distribución hasta la caja de protección de los equipos instalados, tal como se muestra en la Figura 5.

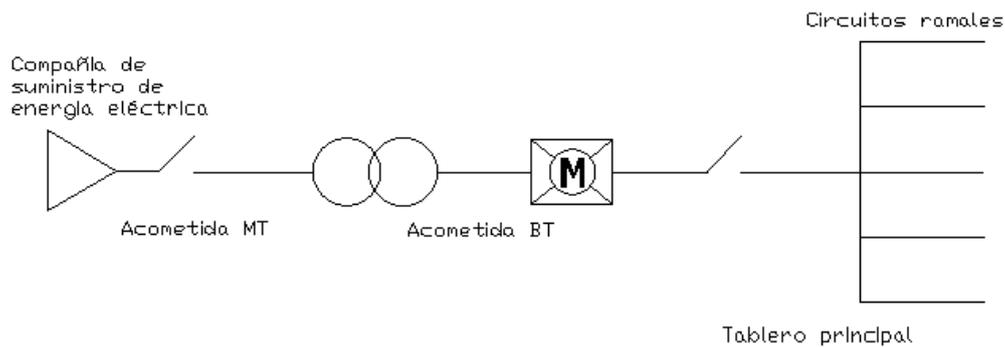


Figura 5. Diagrama unifilar básico.

Fuente: Propia.

Debido a las características del equipo a instalar, es necesario realizar una acometida aérea-subterránea, cuyos conductores van dentro de ductos y recubiertos de material aislante, por lo que el diseño se realiza de acuerdo con los artículos en el NEC, que correspondan a este tipo de acometida.

Para la selección del conductor, se toman en cuenta dos criterios, el primer criterio corresponde a la intensidad de corriente que debe pasar por el conductor, y el segundo el porcentaje de caída de tensión que no debe sobrepasar los límites que se indican en el artículo NEC 210-19(A)Nota N°4 y NEC 215-2(A)Nota N°. Además, según NEC 230.30, se indica que los cables de baja tensión deben tener un aislamiento termo fijo aislado en polietileno de cadena cruzada (XLPE).

Según NEC 210.20 (A), para las cargas continuas, los conductores deben dimensionarse a valor nominal no menor al 125 %; asimismo, se deben aplicar dos factores: el primero por temperatura y el segundo por agrupación de conductores. Para el factor de temperatura, se utiliza la Tabla 310-15(b) (2) (a) y se toma una temperatura máxima de 27°C (Weather Spark, 2020), en este caso, el factor de corrección por temperatura es de 1 y se aplica un 80 % de factor de agrupación para 4 conductores tal como se indica en la Tabla 310-15(b) (3) (a).

$$I_{conductor} = I_{Linea} * 1,25 * 1,25 \quad (3)$$

Con base en la Ecuación (3), se calculan las corrientes para los centros de carga, para la línea de alimentación y la acometida en BT. Se selecciona el calibre del cable del NEC Tabla B.310.15.(B) (2) (5); en este caso, para los cargadores, se elige un cable TW #6 con una ampacidad máxima de 55 A y, tanto para la acometida como para el alimentador, se elige un cable TW #3 con ampacidad de 85 A. Debido a que este calibre no se comercializa en el país, se selecciona la opción disponible superior, la cual es un cable TW #2 que soporta hasta 95 A. Lo anterior se encuentra resumido en la Tabla 7.

Tabla 7. Cálculo de calibre de conductores.

Circuito	Voltaje (V)	Corriente (A)	Corriente con factores de corrección (A)	Calibre
Acometida	400	64	80	THW #2
Alimentador	400	64	80	THW #2
Cargador 1	400	32	50	THW #6
Cargador 2	400	32	50	THW #6

Fuente: Propia.

Para el cálculo del calibre del alimentador, se utilizó el artículo 215.2, donde se menciona que los conductores deben tener una ampacidad no menor a la suma de la carga continua más el 125 % de las cargas continuas. Según NEC 230.31, los conductores no deben tener un calibre inferior al 8 AWG si son de cobre y el conductor puesto a tierra no debe tener un calibre inferior al exigido en la sección 250.24(C).

Para el cálculo de la caída de tensión, se hizo uso de la Tabla 9 del NEC para conocer la reactancia y resistencia del cable y, a partir de esos dos datos, se calculó la impedancia que no

podía tomarse directamente de la tabla, porque se está considerando un factor de potencia igual a 1. Con la impedancia calculada, se procede con la sustitución de los valores en la Ecuación (5) de caída de tensión, y conociendo los límites en los que debe estar, se despeja la distancia máxima a la que debe colocarse el equipo de la acometida.

$$Z = R \cos \theta + X \sin(\cos^{-1}(\theta)) \quad (4)$$

$$\%CV = \left(\frac{2 * Z \left(\frac{\Omega}{Km} \right) * L(m) * I(A)}{1000 * V_{LL}(v)} \right) * 100 \quad (5)$$

Tabla 8. Cálculo de caída de tensión.

Circuito	Voltaje (V)	Corriente (A)	% Caída de tensión	L (m)
Acometida	400	64	2,49 %	140
Alimentador	400	64	2,49 %	140
Cargador 1	400	32	2,49 %	110
Cargador 2	400	32	2,49 %	110

Fuente: Propia.

3.1.6 Dispositivos de protección

En la instalación, se encuentran dos tipos de protección: los protectores automáticos o magnetotérmicos y diferenciales. Para la selección de la protección contra sobrecorrientes del alimentador, se utilizó el criterio de la sección NEC 215-3, el cual señala que debe soportar un corriente no menor al 125 % de la carga continua y, para los ramales, se utiliza el artículo del NEC 210.20, donde se indica que la capacidad nominal del dispositivo de protección no puede ser menor al 125 % de la carga continua. Los valores nominales de los disyuntos contra sobrecorriente se encuentran en el artículo NEC 240.6.

Tabla 9. Selección de protección contra sobreintensidad.

Circuito	Corriente (A)	Protección seleccionada
Alimentador	80	Trifásica, 80 A
Cargador 1	40	Trifásico, 40 A
Cargador 2	40	Trifásico, 40 A

Fuente: Propia.

Los dos equipos irán protegidos con un disyuntor diferencial de 30 mA, el cual es el nivel de corriente de disparo, cuando se trata de protegerlo contra contactos indirectos a los humanos. De esta manera, en caso de que exista un fallo, solo se desconecta el circuito, donde se dio el fallo y no dejará de funcionar todo el sistema.

Para la puesta a tierra de un sistema de corriente alterna alimentado mediante acometida, se debe seguir los lineamientos NEC 250.24(C). Cuando el sistema en corriente alterna opera a menos de 1000 V, el electrodo de puesta a tierra no puede ser menor a los que se indica de la Tabla 250.66 para el alimentador. Basados en esta tabla, se debe usar un calibre del conductor del electrodo no menor a AWG #8 y, para los equipos, se utiliza la Tabla 250.122, que sugiere un calibre AWG #10.

3.1.7 Canalización

La canalización corresponde a la excavación para la colocación de los conductos no metálicos para instalar los conductores de media y baja tensión (SCIJ, 2020); en la Tabla 10, se pueden observar las dimensiones mínimas para la canalización; en este caso, se toma el caso de distribución pública BT, que indica un canal de 70 cm de profundidad y un ancho de 30 cm.

Tabla 10. Dimensiones mínimas para la canalización.

Tipo de canalización	Ancho	Profundidad (al centro del conducto superior)
Media tensión	60 cm	110 cm
Distribución pública BT	30 cm	70 cm
Acometidas de BT	30 cm	60 cm

Fuente: SCIJ (2020)

Con base al artículo NEC 352, se opta por un ducto conduit rígido de cloruro de polivinilo tipo PVC cédula 80, que protege contra daños físicos, pues, según el artículo 352.10 (G), se puede usar para instalaciones subterráneas. Para la selección del tamaño del ducto, se utilizaron los datos de la Tabla 5 del NEC, en las que se obtiene el área de cada conductor y, de la Tabla 4, se obtiene el tamaño comercial del ducto.

Tabla 11. Cálculo de dimensionamiento de ducto.

Calibre		Material conducto	Área de cada cable mm²	Área de cada cable tierra mm²	Cantidad de cables por ducto	Área (mm²)	Tamaño comercial (mm)
L Y N	T						
4 / TW #2	1/ TW#8	PVC	86	35,87	5	379,87	38
4/ TW #6	1/ TW #10	PVC	46,84	21,48	5	208,84	31

Fuente: Propia.

Las cajas de registro solo serán utilizadas para el paso de los conductores y deben ser fabricados de concreto armado o polimérico con resistencia a la compresión no menor a 210 Kg/cm², y deben ser colocadas, en caso de que exista un cambio de dirección o cada 100 metros en tramos de línea recta (SCIJ, 2020). La selección de la caja de registro se realizó fundamentada en las dimensiones de la Tabla 12.

Tabla 12. Dimensiones internas mínimas de la caja de registro.

Tipo de registro	Ancho	Largo	Espesor
Media tensión (mínimas)	120 cm	120 cm	120 mm
Baja tensión (mínimas)	60 cm	60 cm	120 mm

Fuente: SCIJ (2020)

En la Figura 6, se muestra el diagrama unifilar eléctrico de la propuesta de la instalación de centros de carga, el cual se podría aplicar en las locaciones que la administración del TEC considere pertinente, bajo el supuesto de que todos los transformadores tienen la capacidad de entregar la potencia solicitada por los dos cargadores de forma simultánea, en caso contrario, se tendría que realizar una instalación independiente.

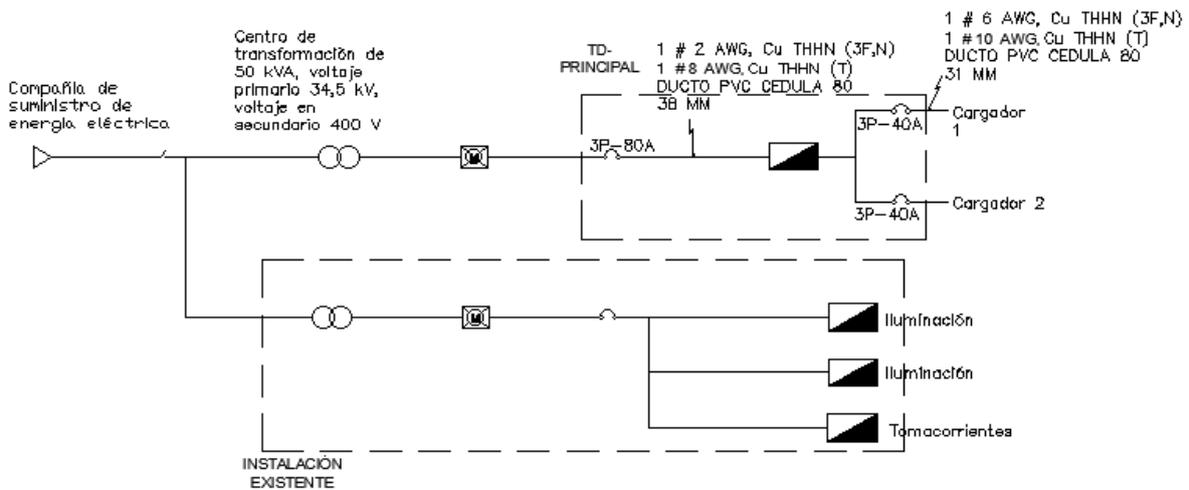


Figura 6. Diagrama unifilar de los centros de recarga.

Fuente: Propia.

3.1.8 Costo de implementación

Ahora, se presenta el costo de implementación del sistema eléctrico. Cabe resaltar que el costo y el diseño está basado en la idea de que la instalación se alimente de un suministro ya existente.

En él, se determina el monto necesario para ejecutar el proyecto como materiales y mano de

obra; para el costo de los materiales, se ingresó directamente a las páginas de las marcas proveedoras y se encuentra especificado en la Tabla 13.

Tabla 13. Costo de implementación.

Material	Cantidad	Marca	Precio unitario	Precio total
THW #2 (Líneas y neutro)	560	SOUTHWIRE	€2.373,00	€1.328.880,00
THW #6 2 (Líneas y neutro)	440	SOUTHWIRE	€859,93	€378.369,20
THW #8 Tierra	560	SOUTHWIRE	€579,00	€324.240,00
TW #10 Tierra	440	SOUTHWIRE	€358,20	€157.608,00
Otros materiales				
Registro de baja tensión	6	Multicreto	€58.291,84	€349.751,06
PVC cedula 80 1 1/4	110	Durman	€11.516,50	€1.266.814,87
PVC cedula 80 1 1/2	140	Durman	€12.549,10	€1.756.874,32
Accesorios PVC cedula 80 1 1/4	20	Durman	€1.068,45	€21.368,92
Accesorios PVC cedula 80 1 1/2	25	Durman	€1.157,94	€28.948,42
Equipo				
Centro de recarga	2	Schneider	€2.308.528,69	€4.617.057,38
Disyuntor 3P/80 A	1	Carling Technologies	€103.033,92	€103.033,92
Disyuntor 3P/40 A	2	Schneider	€179.557,00	€359.114,00
Diferencial 30 mA	2	Schneider	€316.613,73	€633.227,46
Centro de carga	1	Square D	€153.408,09	€153.408,09

Fuente: Propia.

La suma total de los costos por concepto de materiales es de €11 478 695,64 y solo bastaría sumarle los costos por concepto de mano de obra y del servicio del ingeniero. Para el costo de mano de obra, se utilizaron los valores indicados en la Tabla 22.

Tabla 14. Costos totales de la instalación eléctrica.

Descripción	Costo
Materiales de instalación	¢11.478.695,64
Mano de obra	¢1.334.322,00
Ingeniero	¢2.048.990,07
Total	¢14.862.007,71

Fuente: Propia.

Es decir, el proyecto de instalación de dos centros de carga tiene un valor de ¢14 862 007,71.

3.2 Objetivo 2. Mapeo de las estaciones en el campus

A partir del actual auge de los vehículos eléctricos, se han desarrollado métodos para combatir el mayor obstáculo que presentan estos vehículos, que es su autonomía; lo cual ha repercutido de forma positiva en la realización de muchos estudios y simulaciones para desarrollar métodos que contribuyan con la optimización de las ubicaciones de los centros de recarga.

Por ejemplo, Kameda y Mukai desarrollaron un modelo basado en la demanda de autobuses y otro autor llamado Chen creó un algoritmo basados en información sobre la ubicación de estacionamiento y varios factores estadísticos (Hovet et al., 2018). Otros recomiendan realizar la planificación basados en dos puntos de vista: la red de energía y el tránsito de vehículos en la zona, por lo que se evaluará en tres aspectos: ubicación, red eléctrica y demanda o posible demanda.

3.2.1 Ubicación

El TEC cuenta con más de 900 hectáreas de terreno a su disposición para la colocación de los centros de recarga, para esto, se deben determinar los sitios candidatos, según Csonka y Csiszár (2017), se debe utilizar infraestructura previamente construida y se consideran los lugares de

descanso, tales como estacionamientos, baños públicos, algunos comercios, restaurantes y hoteles. Por lo que se determinó que los centros de recarga se instalen en estacionamientos, asimismo, para limitar el uso únicamente a estudiantes, profesores y personal administrativo, se instalarán en estacionamientos con control de entrada, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 15.

Tabla 15. Estacionamientos con control de entrada.

Parqueo	Ubicación
P1	Costado al Laimi 1
P2	Costado de la Biblioteca José Figueres Ferrer
P3	Frente al edificio de Financiero
P4	Escuela de Ingeniería en Producción/ Materiales
P5	Escuela de Agronegocios
P6	Frente al gimnasio
P7	Frente al Laimi 2
P8	Escuela de Electrónica

Fuente: Propia.

A nivel macro, la propuesta de instalación de los centros de carga se localizaron en los estacionamientos que se encuentran en la Tabla 15 y se muestran a continuación en Figura 7 y Figura 8.

Existen lugares óptimos para la ubicación de los cargadores y, de acuerdo con Transport of London (2010), existen tres aspectos para la selección inicial de la localización de los centros de recarga, los cuales son visibilidad/accesibilidad, el espacio vial y el espacio de acera, ya que, de cualquier manera, al colocar un cargador, se disminuye el espacio de tránsito vial o de peatones, tal como se muestra en la Figura 9, donde se esquematiza el modelo de localización en un estacionamiento.

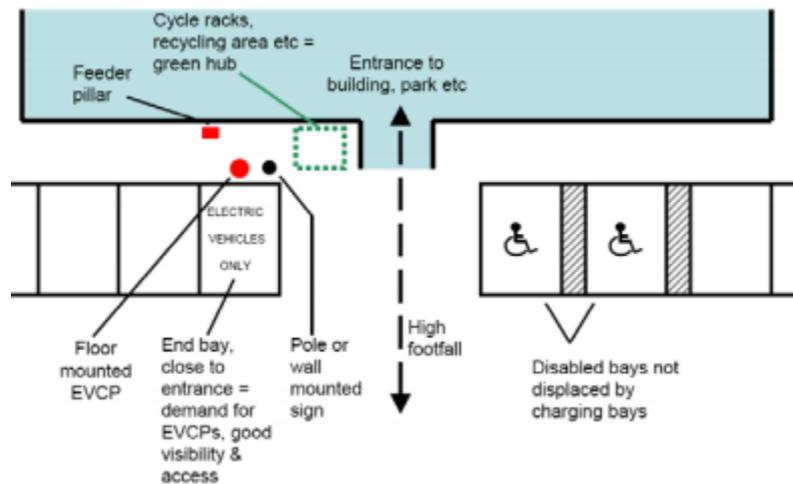


Figura 9. Modelo de localización en un estacionamiento.

Fuente: Transport of London (2010).

3.2.2 Demanda y energía

En la Figura 10, se muestran las capacidades de los transformadores de poste que pertenecen a la institución; con anterioridad, se realizó la suposición de que todos los transformadores tienen la capacidad de soportar la instalación de centros de recarga semi-rápidos, lo cual puede ser una suposición muy optimista y se puede dar el caso en que esas redes de alimentación no sean suficientes para la demanda institucional.

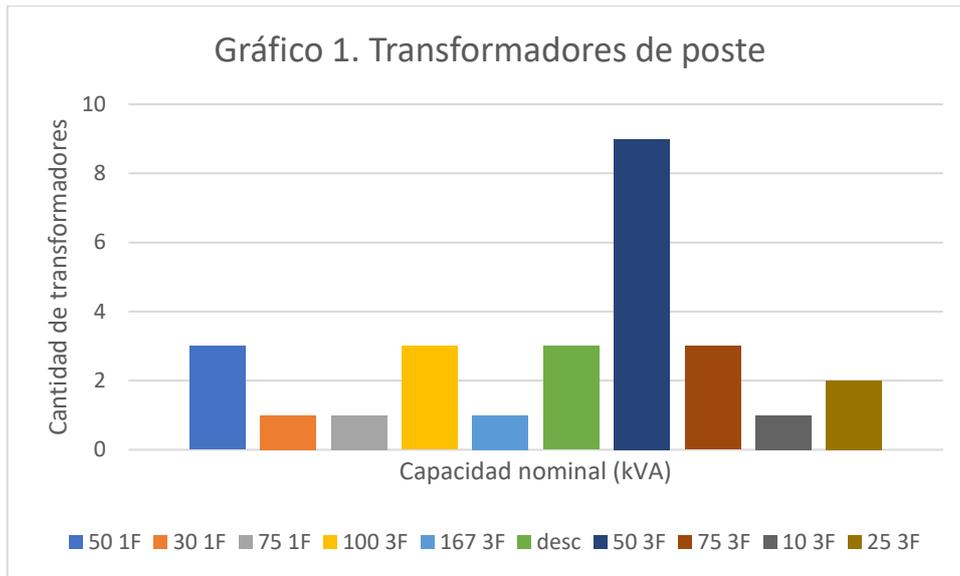


Figura 10. Capacidades nominales de los transformadores de poste

Fuente: Fernández (2020)

La predicción de la demanda futura es la clave en este problema, suponiendo que se tiene como mínimo un centro de recarga, el propio sistema de identificación de usuario con el que vienen los cargadores funciona como método de toma de decisiones (Hovet et al., 2018), porque el mismo sistema puede almacenar datos, como hora de inicio de la carga, ubicación del servicio de carga, corriente de carga, tiempos de estacionamiento, la frecuencia de uso de un usuario, etc., que funcionan para predecir futuros comportamientos.

Se tomarán en cuenta dos estudios que están realizados en campus universitarios, dentro de los documentos, se recomienda el uso de la información recolectada como guía para conocer el comportamiento de crecimiento que ha tenido la implementación de cargadores para vehículos eléctricos, dentro de instalaciones universitarias. En la Tabla 16, se encuentra resumida la información más relevante de cada caso.

Tabla 16. Casos de implementación de centros de recarga.

	CASO 1	CASO 2
Tipo de carga	L2	L2
Cantidad de cargadores	17	3
Tiempo de recarga	--	0 a 2 horas
Promedio de potencia demandada	menos de 16 kWh	menos de 18 kWh
Horario de uso	10:00 am a 12:00 pm	7:00 am -2:00 pm
Gráficas de crecimiento		

Fuente: Hovet et al. (2018) y Safak, Zamani y Kleissl (2016).

Lo primero que se puede deducir de ambos casos es que es necesario el uso de cargadores de nivel II para poder abastecer en tiempos cortos las demandas de las baterías de los vehículos eléctricos; en ambos casos, la demanda del cliente es muy cercana y la única forma de cubrirlo es con cargadores nivel II con conexión trifásica; la otra opción serían los cargadores rápidos.

Un dato que se proporciona en el caso 2, que resulta muy importante, es el tiempo promedio de recarga, el cual es de 0 a 2 horas, lo que está también relacionado con la potencia que pueden transmitir los cargadores y al comportamiento de recarga; es decir, basados en Tabla 19 y el valor promedio de la capacidad de una batería, que es de aproximadamente 48 kWh, para el máximo de las dos horas no es suficiente tiempo para cargar por completo la batería, en otras palabras, la utilización de estos centros recarga no sustituyen la recarga doméstica, solo funciona como complemento para los usuarios de los vehículos eléctricos, con el fin de poseer la seguridad de tener el suficiente porcentaje de carga para regresar a sus lugares de domicilio.

Al final de la Tabla 16 se pueden ver las gráficas del crecimiento del uso de los centros de recarga, en ambos casos la gráficas están realizadas a un plazo de 3 años, lo cual ayuda a que la comparación entre ellas sea más pareja; lo primero a destacar es la curva de crecimiento en comparación con los primeros meses, en el caso I, el crecimiento más abrupto se da aproximadamente en la semana 90, que sería un poco menos de 2 años, y sigue en aumento en el año siguiente; para el caso II, la gráfica demuestra un pico en el uso del quinceavo mes, pero después permanece casi constante durante el plazo de los tres meses. Se puede deducir que el primer año funciona para conocer la aceptación de los usuarios y la del segundo año es crítica para conocer la demanda de las estaciones de carga y determinar si es necesario o no, colocar más cantidad de cargadores en el campus.

En el caso II, mencionan lo que es la geolocalización y, básicamente, determinan el perfil del usuario que utiliza el vehículo eléctrico, en cuanto a la distancia que tienen que recorrer desde su lugar de residencia hasta la universidad y se concluye que, a menudo, son utilizados para viajes de 2 km hasta recorridos de 100 km (Hovet et al., 2018).

En este caso, sí se tiene información de los recorridos que deben tomar los estudiantes, profesores y personal administrativo desde sus residencias hasta el Campus Central del TEC. En el cual el día máximo de entradas se registran 2901 vehículos de los cuales el 63 % de los viajes se dan desde la provincia de Cartago y el 31 % de estos realizan viajes de 15 km o más. La otra gran parte, que corresponde al 31 %, proviene de la provincia de San José, la cual, como mínimo, recorre 20 km y el 6 % restante corresponde a viajes de Alajuela y Heredia, que, aproximadamente, realizan un recorrido de 35 km (Moya, 2017). Esto es importante para crear un perfil de los posibles usuarios de los centros de carga basados en el comportamiento real de la movilidad vehicular en el TEC.

Finalmente, en el caso de que la demanda de vehículos eléctricos conlleve a decisión de que es necesario colocar más centros de carga, se debe tener en cuenta cómo alimentar dichos centros de carga, por lo que, a continuación, se muestran algunas soluciones, excluyendo una instalación nueva convencional dedicada exclusiva para los centros de carga:

Instalación existente

Se podría decir que es la idea madre de la carga de vehículos eléctricos; a nivel doméstico, cargar un vehículo equivale a utilizar la mitad de la carga disponible de un hogar promedio, pero es funcional, porque se suelen cargar en horarios nocturnos, donde normalmente la mayoría de los electrodomésticos se encuentran en desuso. En un estudio, se analizaron dos redes ya existentes, con dos opciones de centros de carga, lentos y rápidos, en donde se concluyó que, para puntos de carga rápida, se requiere de transformadores dedicados para dicho fin y estaciones de carga rápida son factibles para recargas (Cresta, Gatta, Geri, Landolfi, Lauria, Maccioni, Paulucci y Pompili, 2012) y esas demandas instantáneas excesivas puede sobrecargar los circuitos, aumentar las pérdidas del transformador de distribución, provocar distorsión armónica, desviaciones de voltaje y carga térmica en la distribución (Safak, Zamani

y Kleissl, 2016). Por lo que un centro de carga puede ser colocado sobre una instalación preexistente si y solo si, el transformador se encuentra sobredimensionado o se proyectó para futuras expansiones.

Instalación con generaciones renovables

Se trata de una instalación con generación distribuida con energía eólica o solar, lo más común es utilizar energía solar, ya que la adquisición de esta tecnología ha disminuido con los años y sigue en disminución (Denholm et al., 2014) y, de esta manera, alimentar los centros de carga, aprovechando que los vehículos permanecen como mínimo 2 horas estacionados; siendo realmente compatible, puesto que, al cargar los vehículos eléctricos, ellos no reciben la fluctuación de la potencia que recibe, que podría tener debido a la naturaleza de la energía solar, la cual se ve afectada a lo largo del día por la posición del sol e intermitencias ocasionadas por nubes (Safak, Zamani y Kleissl, 2016).

También, está la posibilidad de la adquisición de una unidad de almacenamiento de energía, con lo cual se podría tener disponibilidad de energía sin depender de las condiciones climáticas de un solo día, ya que se puede almacenar la energía generada en horarios de poco uso, como los fines de semana, para abastecer las demandas en las horas más concurridas. La selección de las unidades de almacenamiento se eligen de acuerdo con la potencia nominal, que va a estar relacionado de nuevo con la demanda que pueden llegar a tener los centros de carga y es un punto muy importante, porque los costos de adquisición y mantenimiento de estos equipos son elevados, es por esta razón que existen estudios realizados que se enfocan en crear un modelo para la seleccionar, de forma óptima, las unidades de mantenimiento para estaciones de carga a partir de modelos estocásticos y con simulaciones de montecarlo, y, en ambos caso, todavía existe un margen de mejora del modelo (Safak, Zamani y Kleissl, 2016). Por último, es

importante saber que la generación distribuida puede funcionar como complemento a una instalación alimentada por una compañía que suministre energía eléctrica, entonces, esta proporciona una potencia base para todos los cargadores menor a la máxima exigida por los centros de recarga y la energía generada a través de los paneles sea utilizada en horas picas para aumentar la potencia, disminuyendo el tiempo de estadía de los vehículos eléctricos.

3.3 Objetivo 3. Centro de recarga de la unidad de transporte

3.3.1 Análisis técnico

3.3.1.1 Definición de localización del proyecto

El proyecto se realizará dentro de las instalaciones del Campus central del TEC en la provincia de Cartago. El área destinada para la colocación del centro de recarga para los vehículos eléctricos se encuentra dentro del edificio G 14, que corresponde al edificio de la unidad de transportes de la institución, el cual cuenta con una plataforma de parqueos para los vehículos institucionales, con un área de construcción de 1584 metros cuadrados (Tecnológico de Costa Rica, 2020).



Figura 11. Unidad de transportes.

Fuente: Google (s.f.-c)

3.3.1.2 Definición de tamaño del proyecto

La flota vehicular actual está compuesta por 30 vehículos de combustión interna y 4 vehículos híbridos no enchufables, para un total de 34 vehículos. En la Tabla 17, se detalla la composición de la flota institucional (Morales, 2018).

Tabla 17. Detalles de la flota vehicular institucional.

Cantidad	Descripción	Modelos
16	Vehículo doble tracción	Land Cruiser, Dyna, Prado
6	Automóviles	Corolla, Lancer, Tiida, Sentra
4	Vehículos híbridos no enchufables	Ioniq
2	Microbuses	Coaster
4	Busetas	Hiace
1	Furgoneta	H1
1	Pick-up	L200

Fuente: Morales (2018).

La definición del tamaño del proyecto se hace con base en la flota vehicular actual de la institución; de esta manera, funcionará como un estudio piloto, en caso de que la institución tome la decisión, en el futuro, de colocar estaciones alrededor del campus para los estudiantes, profesores y personal administrativo que cuente con un vehículo eléctrico. Basados en la información de la Tabla 17, se tomarán en cuenta 27 vehículos, los 7 vehículos restantes corresponden a microbuses, busetas y una furgoneta. Actualmente, la adquisición de estos vehículos es muy limitada, debido a que las concesionarias no importan este tipo de vehículo eléctrico (ASOMOVE, 2020).

3.3.1.3 Descripción del proceso

Para realizar el diseño, se debe iniciar definiendo un modelo de vehículo eléctrico, que se encuentre en el país y basados en las características del vehículo, se podrá proseguir suponiendo en el estudio que los 27 vehículos corresponden a ese mismo modelo.

Para la selección del modelo, se realizó una investigación acerca de las marcas de vehículos eléctricos que importan las concesionarias al país, aunque se debe hacer hincapié en que no es la única forma de adquirir un vehículo eléctrico, pues se puede realizar una importación personal basados en el Manual de procedimientos importación de vehículos eléctricos Régimen 01-Modalidad 50.

A continuación, se presentan los modelos de vehículos que las agencias exportan al país y sus principales características.

Tabla 18. Modelos de vehículos eléctricos en Costa Rica.

Marca	Modelo	Año	Baterías (kWh)	Precio base (\$)	Potencia (kW)	Torque (Nm)
Audi	e-tron	2020	71	\$74.950	233	540
BMW	i3	2019	42,2	\$49.900	125	250
BMW	i3	2019	42,2	\$55.900	135	270
BYD	e1	2020	32,2	\$25.900	45	110
BYD	e2	2020	47,3	\$33.500	70	180
BYD	e2	2020	35,2	\$33.500	70	180
BYD	e5	2018	42,4	\$35.000	75	310
BYD	e6	2018		\$45.000		
BYD	s1	2020	53,2	\$34.900	70	180
BYD	s2	2020	40,6	\$29.900	70	180
BYD	Song Pro	2020	59,1	\$48.900	120	280
BYD	Tang EV	2020	82,8	\$78.900	180	330
Great Wall	R1	2020	33	\$19.900	35	125
Great Wall	IQ	2020	45	\$29.990	120	280
Hyundai	Ioniq Electric	2020	38,3	\$38.900	100	295
Hyundai	Kona Electric	2020	64	\$42.900	150	395
Jaguar	i-Pace	2020	90	\$99.500	294	696
Maxus	EV30	2020	35	\$32.900	71	220
MG	ZS	2020	44,5	\$38.500	110	350
Nissan	Leaf	2020	40	\$42.500	110	320
Renault	Kangoo	2019	33	\$38.900	44	225
Renault	Twizy	2020	6,1	\$18.990	12,6	57
Renault	Zoe	2019	41	\$29.900	80	225
XPENG	G3	2019	47,1	\$32.000	145	300

XPENG	G3	2020	66,5	\$39.000	145	300
-------	----	------	------	----------	-----	-----

Fuente: ASOMOVE (2020)

Basados en la Tabla 18, se tomará un modelo con características promedio; en la Tabla 19, se calculó el promedio de la capacidad de la batería, la potencia y el torque; además, se tomará en cuenta el comportamiento de venta del modelo en el mercado costarricense.

Tabla 19. Características promedio de los vehículos eléctricos.

Característica	Valor promedio
Baterías (kWh)	47,15
Potencia (kW)	108,73
Torque (Nm)	274,92

Fuente: Propia.

Basados en esta información, el vehículo que se acerca a los valores promedio es el modelo IQ de Great Wall, pero, en la página de la concesionaria, no se muestra información sobre este modelo. Es por ello que se decide tomar el modelo Ioniq Electric de la marca Hyundai, ya que es uno de los modelos con desviación más baja, junto con siete modelos más, pero se elige debido a la aceptación que ha tenido en el mercado nacional, pues, actualmente, es el modelo de vehículo eléctrico más vendido en el país (ASOMOVE, 2020).

Tabla 20. Características del modelo Ioniq Electric de Hyundai.

Característica	Descripción
Batería	Batería de polímero de litio de 38,3 kWh
Tiempo de recarga	Cuando se utiliza un cargador de corriente continua tiene una duración de menos de una hora para poder cargar de 0 a 80 % y aproximadamente 6 horas en carga semi-rápida para una recarga completa de 0 a 100 %.
Autonomía	373 km
Tipo de conector	En una estación lenta con un cargador Tipo SAE J1772 y tipo ChaDeMo para un punto de carga rápida.

Fuente: Hyundai Motor Company (2020).



Figura 12. Hyundai Ioniq Electric.

Fuente: Hyundai Motor Company (2020).

Ya definido el modelo del vehículo, se debe plantear la cantidad de estaciones de carga que se deben colocar para la demanda de vehículos que se exige en la institución. Es importante conocer el tipo de traslados o rutas para las cuales se asignan los vehículos institucionales, aunque puede ser difícil de precisar esta información, debido a que, dependiendo del semestre, el uso de la flota vehicular institucional puede variar, pero se encuentran unas rutas que se dan de forma frecuente en los diferentes semestres, las cuales se describen en la Tabla 21.

Tabla 21. Características de las 10 rutas más frecuentes realizadas por la Unidad de Transporte.

Número de ruta	Ruta	Frecuencia semanal	Distancia ida y vuelta (km)
1	Centro Académico (CA) de Limón	10	300
2	Sede Regional San Carlos	4	278
3	Universidad de Costa Rica (UCR)	2-3	53
4	Aeropuerto	3	103
5	Consejo Nacional de Rectores (CONARE)	2	78
6	Centro Académico (CA) San José	2	83
7	Centro Académico (CA) de Alajuela	1	105
8	Proyecto de extensión en Talamanca	2	555
9	Gira a la Estrella del Guarco	1	91
10	Gira a Guanacaste	1	530

Fuente: Morales (2018).

Para empezar, se debe seleccionar el tipo de conector y el tipo de conexión, lo más usual para un centro de recarga de una flota es la combinación de estaciones nivel I y Nivel II; es decir, recarga lenta y semi-rápida en conexión monofásica (Smith y Castellano, 2015).

Según Energy Saving Trust (2017), la cantidad de centros de recarga están fuertemente ligada con la poca o mucha inactividad del vehículo, por lo que los vehículos que se cargan durante periodos largos requerirán una mayor cantidad de puntos de carga, no obstante, pueden ser

lentos o semi-rápidos y, por el contrario, flotas que requieran recargas más cortas requieren menos centros de recarga, pero del tipo rápido o ultra rápido.

Para determinar el tipo de actividad de la flota vehicular institucional, se aplicó estadística inferencial a la información de la Tabla 21, donde se muestran las 10 rutas principales más frecuentes y se generalizó el comportamiento para la población total de la flota vehicular a cargo de la unidad de transportes. Los resultados se muestran en el siguiente gráfico de barras, en el cual, el 45,45 % de los vehículos queda con un porcentaje de batería menor al 25 %; en la segunda clase, no se muestra ninguna frecuencia del comportamiento, y, en las últimas dos clases, hay un empate de 27,27 % de vehículos con cargas restantes de 51 % a 75 % y de 76 % a 100 % de batería disponible.

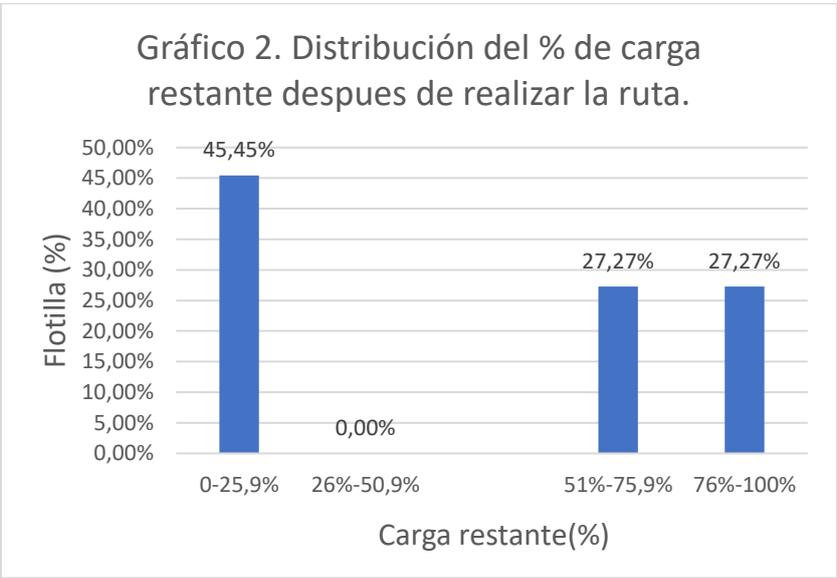


Figura 13. Distribución de porcentaje de carga disponible.

Fuente: Propia.

De acuerdo con lo anterior, un 45,45 % requiere tiempos de recarga largos, porque deben recargar su batería más del 75 % y el resto debe realizar una recarga de menos del 50 % y 25 % de la batería, por lo que, basados en lo que menciona Energy Saving Trust (2017), la flota

vehicular se encuentra en un punto medio, por ello, se seleccionarán estaciones semi-rápidas con conectores SAE J1772, lo cual es la conexión aceptada a nivel nacional para carga semi-rápida y, como se puede observar, es el mismo conector que admite el modelo Ioniq Electric de Hyundai.



Figura 14. Conector SAE J1772.

Fuente: Poweringcar (2020).

Además del criterio anterior con el que se determinó el tipo de conector y tipo de centro de recarga, existen otras razones por las que no se tomaron en cuenta los centros de recarga rápida para este proyecto en particular. Se debe hacer énfasis en que se trata de un proyecto de recarga de una flota vehicular institucional, este hecho hace que la cantidad de vehículos eléctricos sea constante, a diferencia de una estación pública, lo cual ofrece la posibilidad de la gestión de carga de los vehículos.

Como segundo punto, la carga demandada por las baterías, cuando se cargan en centros de recarga rápida, ronda los 50 kW por cada auto conectado, y esa potencia debe estar disponible en la red en el momento de la recarga para no saturar la red y, además, con los centros de recarga rápida, solo se puede cargar el vehículo hasta una capacidad del 80 % (Salmerón Ozores, 2012).

Es importante saber que este tipo de recarga, si se utiliza de forma continua, puede afectar la eficiencia de la batería y disminuir la vida útil de la batería Duque Sarmiento (2018).

El último punto es el costo de este tipo de centro de recarga, debido a que cada estación ronda los \$25 000 (Isla, Singla, Rodríguez yGránada, 2019) y, además, su instalación y mantenimiento es más costoso que el de una estación lenta o semi-rápida.

Tabla 22. Costos de mano de obra y estructuras de recarga.

	Costo promedio del cargador (\$)	Costo promedio de la mano de obra (\$)	Otros costos (\$)	Costo promedio total (\$)
Nivel 1 AC	500-1000	-	-	500-1000
Nivel 2 AC (Residencial)	2000-2500	1200-1500	100	3300-4100
Nivel 2 AC (Pública)	2500-3000	1800-2200	500	4800-5700
Carga DC (Pública) 50 kW	20000-25000	9000-11000	500	29500-36500
Carga DC (Pública) 150 kW	30000-35000	12000-14000	500	42500-49500
Carga inductiva	3500-4000	NA	NA	3500-4000

Fuente: Isla, Singla y Rodriguez (2019).

El problema por resolver es cómo satisfacer la demanda de energía de la flota vehicular sin tener que disponer de un dispositivo de recarga para cada vehículo. Para esto, se presentarán tres estrategias para la recarga de vehículos eléctricos (Frendo, Karnouskos y Gaertner, 2018):

- Estrategia 1: se trata de colocar la mínima cantidad de infraestructura de recarga para la flota actual e irse adaptando conforme aumente la flota de vehículos. Este no se complementa con carga inteligente y, por lo tanto, no es gestionado activamente.

- Estrategia 2: utiliza la carga inteligente para optimizar los procesos de carga. Los objetivos de interés incluyen costo de la energía y la utilización de los recursos energéticos disponibles en las instalaciones.
- Estrategia 3: carga inteligente en múltiples ubicaciones, es aplicable para flotas de vehículos eléctricos a gran escala, donde las estaciones y el recurso energético de la empresa no es suficiente

Tanto en el caso de la estrategia 2 como en la 3, se utiliza el algoritmo heurístico de recarga de vehículos, para determinar la cantidad de cargadores, se utilizará la estrategia 2 simplificada, la cual optimiza los procesos de carga con la mínima cantidad de cargadores. Lo primero que se debe hacer es conocer las variables con las cuales se pueden formular la ecuación objetivo.

Tabla 23. Variables del algoritmo heurístico.

	Variable
Cantidad de EV	J
Cantidad de centros de recarga	C
Energía demandada	E_{dem}
Franjas de tiempo	k
Eficiencia de carga	μ_c
Energía máxima	E_{max}

Fuente: Álvaro y Fraile (2020).

La función objetivo que se utilizará corresponde a la Ecuación (9), que es la suma de energía de todos los vehículos que necesitan ser cargados. Para optimizar la función, se utilizan las Ecuaciones (7) y (8), que lo único que hacen es determinar si el centro de carga está en uso y si

el vehículo se encuentra conectado, pero se pueden determinar más condiciones para perfeccionar el modelo (Álvaro y Fraile, 2020)

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J e_{resto}(j) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J v(c, j, k) \leq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^J v(c, j, k) \leq 1 \quad (8)$$

Se determina, a partir del algoritmo heurístico, la cantidad de centros de recarga; en este caso, se instalarán 8 centros de carga y se realizó una propuesta de programación de los cargadores, con base en el algoritmo de optimización.

Tabla 24. Programación de cargadores.

Cargador/Franja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	V14			V22		V25			V1
2	V15			V23		V26			V2
3	V16			V24		V27			V3
4	V17			V9					V4
5	V18			V10					V5
6	V19			V11					V6
7	V20			V12					V7
8	V21			V13					V8

Fuente: Propia.

Para el cálculo, se sustituyeron los valores que se conocían, como la cantidad de vehículos o la eficiencia de la carga. Las franjas se realizaron con base en el horario administrativo del TEC, las cuales se definieron de 1 hora; a excepción de la última franja, ya que se puede aprovechar para cargar los vehículos con bajo nivel de carga por la noche y, finalmente, la asignación de franjas se realizó, con base en la información de la Figura 13.

Para la selección del centro de recarga, se optó por las estaciones de una empresa 100 % costarricense llamada ELCO, que ofrece tres opciones para carga semi-rápida con conexión monofásica a 7,2 kW. Seguidamente, se muestra la opción seleccionada con base en sus características.



Figura 15. Estación tipo Wallbox ELCO.

Fuente: ELCO (2020).

Tabla 25. Características técnicas del centro de carga ELCO.

Estación	Tipo Wallbox
Tipo	L2 carga semi-rápida
Potencia eléctrica	7,2 k W
Tensión de entrada	240 V
Corriente de salida	30 A
Tipo de conector	SAE J1772
Estándares	IEC 61851-1, IEC 61851-22
Grado de protección	IP66
Sistema de lectura	Tarjeta RFID
Precio	\$850

Fuente: ELCO (2020).

Según las normas IEC 61851-22, las estaciones de carga deben cumplir los siguientes requisitos: nombre del fabricante, referencia del equipo, n° de serie, fecha de fabricación, tensión asignada (V), frecuencia asignada (Hz), corriente asignada (A), n° fases, grados IP e indicar si su utilización es para recintos cerrados exclusivamente o abiertos; además, se debe rotular las instrucciones de uso (Barros y Ortega, 2018).

Según el NEC 2014, se deben aplicar los artículos 625.15 (A)(B), que obliga a que todo equipo de alimentación para vehículo eléctrico debe estar marcado con:

- PARA USO CON VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.
- NO REQUIERE VENTILACIÓN.

De acuerdo con NEC 625.29, el medio de acoplamiento del centro de carga debe estar a una altura no menor a 450 mm y no mayor a 1,2 m.

3.3.1.4 Normativa nacional para puntos de recarga e instalaciones eléctricas

- INTE/IEC 61851-1: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos-parte 1: Requisitos generales.
- INTE/IEC 61851-22 22: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 22: Estación de carga en C.A. para vehículos eléctricos
- NFPA 70: NEC 2014: Guía de requisitos sobre cuestiones relacionadas con la instalación de equipos y cableado eléctrico, incluyendo las cláusulas mínimas para la utilización de conexiones, marcas de voltaje, conductores y cables.

Para determinar los costos, se realizará un diseño de la instalación de las estaciones de recarga, con el fin de precisar la cantidad de material necesario, el cual será realizado basándose en el Código Eléctrico Nacional.

Los centros de recarga de 7200 W trabajan con un voltaje de 240V y, con esos dos valores, se determina la corriente de línea. Los circuitos son calculados a partir de la corriente nominal del equipo, como lo indica el NEC 220.14 (A).

$$\begin{aligned} P\phi &= V_{Linea} \times I_{Linea} & (9) \\ 7200 &= 240 \times I_{Linea} \\ I_{Linea} &= 30 A \end{aligned}$$

Esta corriente debe ser multiplicada por tres factores; según NEC 210.20 (A), las cargas continuas al valor nominal no deben ser menores al 125 % de la carga continua y, de acuerdo con NEC 625.21, los cálculos deben realizarse para régimen continuo. Los otros dos factores son el de la temperatura, que es de 1m según NEC Tabla 310.15.B.2.am para una temperatura máxima en la zona de Cartago de 26°C (Weather Spark, 2020), en la columna de 60 °Cm porque se tiene una corriente menor a los 100 A; y el factor de corrección por agrupamiento, que sería de 1, pues se tienen menos de 4 cables que conducen electricidad, según el NEC Tabla 310.15.3.a. Una vez determinado ese valor de corriente, se utiliza la Tabla 310.15.B.16, para determinar el tamaño del conductor.

$$\begin{aligned} I_{conductor} &= I_{Linea} * F. consumo continuo * F. temperatura \\ &\quad * F. agrupamiento & (10) \\ I_{conductor} &= 30 * 1,25 * 1 * 1 = 37,5 A \end{aligned}$$

Entonces, de acuerdo con la ampacidad máxima de 40,5 A y con la tabla del NEC, se selecciona un cable TW #8 AWG, cuya máxima ampacidad permisible es de 40 A a 60°C, para un conductor de cobre.

La selección del conductor de tierra se realiza con base en NEC Tabla 250.122, donde solo se requiere conocer el valor de la corriente que se calculó en paso anterior y, de acuerdo con ese valor, se selecciona un cable TW #10 AWG, que funciona para conductores con corrientes menores a 60 A, pero mayores a 20 A. Para este diseño, se deciden utilizar disyuntores de 2 polos/40A, ya que se debe cumplir con la demanda 7200W.

Para la selección del tamaño del ducto, se decide utilizar el tipo de ducto PVC-Cédula-40, para todos los ductos. Los datos utilizados para la elaboración de la Tabla 26 son del NEC, capítulo 9, entonces, de la Tabla 5 de dicho capítulo, se obtiene el área de cada conductor y, de la Tabla 4, se obtiene el tamaño comercial del ducto, conociendo la cantidad de cables y su calibre.

Tabla 26. Cálculo de tamaño de ducto.

		Área de cada cable mm ²	Área de cada cable tierra mm ²	Cantidad de cables por ducto	Área (mm ²)	Tamaño comercial (mm)
L Y N	T					
3/ TW #8	1/ TW #10	28,19	15,68	4	100,25	18

Fuente: Propia.

Tabla 27. Especificación del diseño de circuitos ramales de los centros de recarga.

Circuito	Equipo	Potencia (VA)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Protección	Calibre L1 y L2	Calibre T	Ducto (mm)
A1/A3	Vehículo eléctrico	7200	240	30	2/40	2 TW #8	TW #10	18

Fuente: Propia.

En este caso, solo se realizó el cálculo de un centro de recarga, y con los demás es el mismo procedimiento con los mismos valores.

La caída de tensión es la cantidad de voltios perdidos en la resistencia del conductor y depende de varios factores como el material del conductor, la distancia, la carga instalada y la distancia, además, se debe calcular de formas distintas si el sistema es monofásico o trifásico, como para una residencia, el sistema es monofásico se utiliza la siguiente fórmula.

$$\%CV = \left(\frac{2 * \rho \left(\frac{\Omega}{Km} \right) * L(m) * I(A)}{1000 * V_{LL}(v)} \right) * 100 \quad (11)$$

Donde, ρ es la resistencia en corriente alterna para un cable de cobre y depende del calibre del cable que se va a utilizar, además del tipo de ducto donde se encuentra que, en este caso, es de un PVC-Cédula 40 y se obtiene de la Tabla 9 del NEC capítulo 9.

Tabla 28. Valores de ρ para diferentes calibres de cable.

Calibre AWG	ρ (Ω / Km)
14	10.20
12	6.60
10	3.90
8	2.56
6	1.61
4	1.02
2	0.62
1/0	0.39

Fuente: NEC (2014).

Tabla 29. Caída de tensión de los circuitos ramales de los centros de recarga.

Circuito	$\rho(\Omega/Km)$	Longitud (m)	Corriente (A)	V línea (V)	% Caída de tensión
A1/A3	2,56	39	30	240,00	2,5

Fuente: Propia.

Según NEC210-19(A)Nota No4, se debe cumplir que la caída de tensión no debe ser mayor al 3 % y, en total, desde la entrega principal hasta la carga final, se debe considerar $\%CV < 5\%$ (NEC210-19(A)Nota N°4 y NEC215-2(A)Nota N°2).

Se iteró el valor de la longitud hasta que el $\%CV$ fuera lo más cercano a 2,5 %, ya que, de esta manera, se tiene mayor seguridad de que la caída total sea menor a 5 %. Por lo que la distancia desde el tomacorriente puede ser de 25 m o menos y respetar los valores de $\%CV$ que indica el NEC.

Un paso principal para el diseño del alimentador es la aplicación de factores de demanda de esta forma la instalación no es sobre diseñada, de esa manera, se logran reducir los calibres de los conductores y, como consecuencia, reducir los costos del proyecto. En casos más cotidianos, el NEC cuenta con sus propias tablas de factores de demanda y también acepta el criterio ingenieril. Ahora, con base en que la selección de la cantidad de centros de carga se realizó con gestión de carga y, como se puede observar en la Tabla 24, los equipos son utilizados de forma simultánea, por lo tanto, se aplicará un factor de demanda de 1.

Seguidamente, se inicia con el dimensionamiento del alimentador, que se va a mostrar en la Tabla 30, donde se muestran las cargas con su respectivo factor de demanda, en este caso, únicamente se tiene 14 veces la misma carga de 7200 W.

Tabla 30. Cálculos de la demanda máxima y carga instalada.

Diseño alimentador		
	Cargas con factor de demanda (VA)	Cargas sin factor de demanda (VA)
Circuito de cargador (1 cargador)	7200	
Subtotal (8 cargadores)	57600	
Total	57600	57600

Fuente: Propia.

Posteriormente, se hizo un cálculo similar para el diseño del neutro del alimentador, en este caso, se debía hacer el análisis para identificar cuáles cargas afectan el neutro y si debían contemplar algún factor de demanda, como en el caso anterior. En este paso, se desea hallar la demanda máxima, pero esta vez para el cable del neutro. La propuesta para el diseño del neutro se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Cálculo de la demanda máxima para el neutro del alimentador.

Diseño del neutro del alimentador	
	(VA)
Circuito de cargador (1 cargador)	7200
Subtotal (8 cargadores)	57600
Total	57600

Fuente: Propia.

Con la información de las Tabla 31 y Tabla 32, se pueden realizar los cálculos necesarios para determinar el calibre de los conductores del alimentador.

Tabla 32. Dimensión del alimentador.

	Potencia (VA)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Corriente con F.C. (A)	Calibre L1, L2 y N
Alimentador	57600	240	240	240	THW# 250
Neutro	57600	240	240	240	THW# 250
Tierra	.	.	.	.	THW# 2

Fuente: Propia.

De la Tabla 32, se debe mencionar que, para los cables de L1 y L2, se obtuvo un conductor THW # 250 (Tabla del NEC 310.15(B)(16)). También, para la selección del cable de tierra, se utiliza la tabla del NEC 250.66; para la cual, se selecciona un calibre #2 AWG, que soporta hasta 115 A.

Una vez realizado lo anterior, se procede con el cálculo de la caída de tensión para el alimentador, el procedimiento se encuentra en la Tabla 33. En esta tabla, es importante mencionar que se deben calcular ambas caídas de tensión, tanto la de las líneas vivas como la del neutro y escoger la mayor, y verificar que no incumpla el artículo del NEC 210-19(A)Nota No4 y NEC 215-2(A)Nota No2). En este caso, que el diseño se realizó con la longitud máxima para el cálculo de la caída de tensión, se escoge la que tenga el valor más bajo en la longitud, en este caso, se diseña con la caída de tensión del neutro.

Tabla 33. Cálculo de caída de tensión para el alimentador.

	$\rho(\Omega/\text{Km})$	Longitud (m)	Corriente (A)	V línea (V)	%Caída de tensión
Alimentador	0,171	73	240	240	2,49
Neutro	0,171	36	240	120	2,46

Fuente: Propia.

Como no se encontró un disyuntor de más de 200 A, se utilizarán dos conductores por cada fase y, a continuación, se muestra el cálculo, el cual se realiza de la misma forma que el primero, solo que, en esta ocasión, la corriente se divide entre cada conductor y, además, como se tienen más de tres conductores portadores de electricidad, se debe multiplicar por un factor de corrección por agrupamiento de 125 %.

Tabla 34. Dimensión del alimentador-recálculo.

		Potencia (VA)	Voltaje (v)	Corriente (A)	Corriente con F.C. (A)	Calibre L1, L2 y N
Alimentador		57600	240	120	150	THW# 1/0
Neutro		57600	240	120	150	THW# 1/0
Tierra		-	-	-	-	THW# 6

Fuente: Propia.

Tabla 35. Cálculo de caída de tensión para el alimentador-recálculo.

$\rho(\Omega/\text{Km})$	Longitud (m)	Corriente (A)	V línea (V)	% Caída de tensión
0,39	71	120	240	2,490
0,39	35	120	120	2,455

Fuente: Propia.

En la Tabla 36, se tiene el cálculo para la selección de tamaño del ducto del alimentador.

Tabla 36. Cálculo de selección de ducto para el alimentador.

Calibre		Material conducto	Área cable mm²	Área cable tierra mm²	Cantidad de cables por ducto	Área (mm²)	Tamaño comercial (mm)
L Y N	T						
6/THW#1/0	1/TW #6	EMT	143,4	46,84	7	907,24	62

Fuente: Propia.

Finalmente, para el centro de carga, se deben disponer como mínimo 16 campos disponibles, por lo que se selecciona un centro de carga de 32 campos simples, como protección del tablero

y del transformador, se selecciona un disyuntor de dos polos que soporte 200 A, el cual debe cumplir NEC 625.21, que indica que la protección contra sobrecorriente debe tener una capacidad nominal no menor al 125 % de la carga máxima del equipo de alimentación.

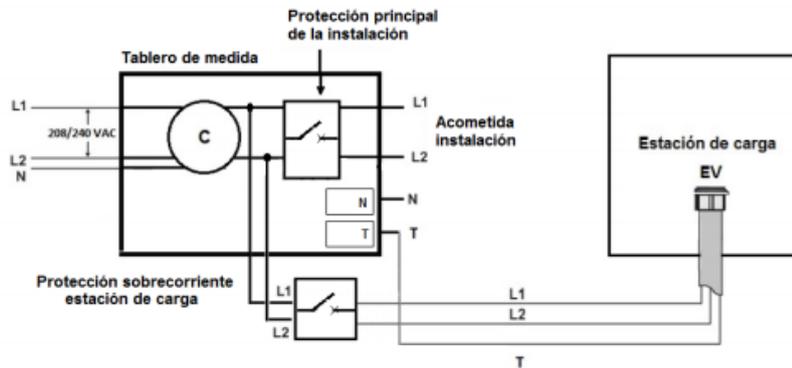


Figura 16. Tablero de medida y protección para estación de carga.

Fuente: EPM (2019).

Como último paso, se realiza un estimado del costo por la instalación eléctrica de las estaciones de los centros de recarga.

Tabla 37. Costos de materiales para los ramales.

Elemento	Cantidad	Marca	Precio	Total
Disyuntor de 40(doble) 240 V	14	CH	¢12870,00	¢180180
TW #8 L1 Azul	546	SOUTHWIRE	¢578,94	¢316101
TW #8 L2 Negro	546	SOUTHWIRE	¢579,00	¢316134
TW #8 N Blanco	546	SOUTHWIRE	¢579,00	¢316134
TW #10 T Verde	546	SOUTHWIRE	¢358,21	¢195582
PVC cédula 40 3/4 pulg	320	Amanco	¢721,32	¢230821
Codos 3/4 pulg	28	Amanco	¢155,94	¢4366,32
1/4 galón de pegamento de pvc	2	Amanco	¢6100,00	¢12200

Fuente: Propia.

En total, el valor de los materiales de la instalación eléctrica de los ramales es de ₡1 571 520.

Para dimensionar la cantidad de metros de PVC cédula 40, se tomó en cuenta el área de la plataforma de parqueo de la unidad de transporte y se tomó como si fuese un cuadro de 40m x 40m, que da como resultado un área de 1600 m², que se encuentra muy cercana al área real de construcción. También, se debe calcular el costo de los materiales para la alimentación y acometida que es de tipo aérea.

Tabla 38. Costos de materiales del alimentador y acometida.

Elemento	Cantidad	Marca	Precio unitario	Total
EMT 2 1/2 pulg	35	Rymco	₡17.000,00	₡198.333,33
Centro de carga (32 espacios)	1	Eaton	₡165.000,00	₡165.000,00
Disyuntor 150 A (doble)	1	Eaton	₡171.028,00	₡171.028,00
Conduleta botaguas	1	-	₡2.000,00	₡2.000,00
Base medidor	1	Schneider	₡131.396,00	₡131.396,00
THW 1/0 Línea 1	70	SOUTHWIRE	₡3.525,60	₡246.792,00
THW 1/0 Línea 2	70	SOUTHWIRE	₡3.525,60	₡246.792,00
THW 1/0 neutro	70	SOUTHWIRE	₡2.260,00	₡158.200,00
TW #6 Tierra	35	SOUTHWIRE	₡1.102,88	₡38.600,80

Fuente: Propia.

En total, el valor de los materiales de la instalación eléctrica del alimentador es de ₡1 358 142,13.

Tabla 39. Costos totales de la instalación eléctrica.

Descripción	Costo
Materiales de instalación de ramales	¢1.571.519,55
Materiales de instalación de alimentador y acometida	¢1.358.142,13
Subtotal	¢2.929.661,69
Mano de obra	¢1.464.830,84
Ingeniero	¢973.033,61
Total	¢5.367.526,14

Fuente: Propia.

El costo de mano de mano de obra se determinó según la Tabla 22. Lo único que falta por agregar es el costo de mantenimiento de los equipos, el cual se está basando en la Figura 17, por lo que se tomó el costo medio anual para una estación de nivel II, que tiene un costo de \$40 por cada cargador y el total de los costos de mantenimiento para los 8 cargadores es de ¢194 083,2.

	Low cost	Mid cost	High cost
<i>Vehicle capital</i>			
SAEV (per vehicle)	\$35,000	\$40,000	\$55,000
LR SAEV (per vehicle)	\$45,000	\$50,000	\$80,000
Replacement battery (per kWh)	\$240	\$405	\$570
<i>Vehicle operations</i>			
Maintenance (per mile)	\$0.055	\$0.061	\$0.066
Insurance & Registration (per vehicle-year)	\$1280	\$1600	\$1920
Electricity (per kWh)	\$0.11	\$0.13	\$0.26
<i>Charging infrastructure</i>			
Level II Charging (per charger)	\$8000	\$12,000	\$18,000
Level II Annual Maintenance (per charger)	\$25	\$40	\$50
Level III Charging (per charger)	\$10,000	\$45,000	\$100,000
Level III Annual Maintenance (per charger)	\$1000	\$1500	\$2000

Figura 17. Supuesto de costos de infraestructura de carga y vehículos.

Fuente: Chen, Kockelman y Hanna (2015).

3.3.2 Análisis financiero

Lo primero que se realizó es el cálculo de consumo de los dos tipos de vehículos, para el vehículo de combustible, se determinó la cantidad de litros que consume por cada kilómetro recorrido. Se decidió hacer el cálculo con el combustible diésel, ya que la mayoría de los

vehículos de la flota institucional funciona con este (Morales, 2018), y se tomó un promedio del rendimiento del combustible. El resultado es que por cada km se requieren 0,0944 litros de combustible.

Para el vehículo eléctrico, se tomó en cuenta la autonomía del vehículo que se encuentra en la ficha técnica que corresponde a 373 km, pero es importante saber que la autonomía de los vehículos eléctricos depende de diversos factores, como “por ejemplo el estilo de conducción, las condiciones del tráfico, el tipo de vía o el uso de dispositivos que requieren energía adicional (climatizador, etc.)” (Pérez Navarro, 2012). Después, se revisó la tarifa en la página de ARESEP (Autoridad Reguladora de Servicios Públicos) del servicio eléctrico para la compañía de JASEC y se determinó el precio de cada kWh de descarga de la batería del vehículo y el precio de la carga completa.

El Campus Central del TEC, al estar ubicado en la provincia de Cartago, tiene como proveedor del servicio eléctrico la compañía de JASEC, con un modelo tarifario preferencial, el cual tiene un cobro por energía consumida y por demanda, tal como se muestra en la Tabla 40 y su respectivo costo.

Tabla 40. Desglose de cobro de tarifa preferencial de JASEC.

	Descripción	Costo
Consumo de energía	Primeros 3000 kWh	₡72,54
	Más de 3000 kWh	₡125.431,64
Demanda	Primeros 8 kW	₡50.679,41
	Más de 8 kW	₡6.334,93

Fuente: ARESEP (2020).

Tabla 41. Características de consumo de vehículo de combustible y vehículo eléctrico.

Característica	Valor
Rendimiento promedio (l/100 km)	9,444285714
Rendimiento promedio (l/ km)	0,094442857
Precio Diésel (€)	441
Autonomía del vehículo eléctrico (km)	373
Capacidad de batería (kWh)	38,3
Precio por kWh (€)	72,54
Precio por carga completa (€)	2778,282

Fuente: Propia.

Para el análisis financiero, solo se tomarán en cuenta las 10 rutas principales que realiza la unidad de transportes, ya que, al ser rutas fijas, durante cada semestre se simplifica el cálculo. Entonces, lo que se hizo fue el cálculo de los kilómetros totales que hace cada ruta, dependiendo de la frecuencia anual.

Tabla 42. Sumatoria de kilómetros realizados por las 10 principales rutas.

Ruta	Frecuencia anual	km por viaje	km totales
1	320	300	96000
2	128	278	35584
3	96	53	5088
4	96	103	9888
5	64	78	4992
6	64	83	5312
7	32	105	3360
8	64	555	35520
9	32	91	2912
10	32	530	16960

Fuente: Propia.

Con la información de la Tabla 41 y Tabla 42, se realiza el costo de cada una de las rutas con las dos opciones de vehículos.

Tabla 43. Costo de combustible y electricidad.

	km totales	Cantidad de recargas	Costo (C) vehículo eléctrico	Litros consumidos	Costo (C) vehículo convencional
1	96000	257,37	715053,8123	9066,51	3998332,80
2	35584	95,39	265046,6131	3360,65	1482048,70
3	5088	13,64	37897,85205	480,52	211911,63
4	9888	26,50	73650,54267	933,85	411828,27
5	4992	13,38	37182,79824	471,45	207913,30
6	5312	14,24	39566,31095	501,68	221241,08
7	3360	9,00	25026,88343	317,32	139941,64
8	35520	95,22	264569,9106	3354,61	1479383,14
9	2912	7,80	21689,96564	275,01	121282,76
10	16960	45,46	126326,1735	1601,75	706372,12
		Costo total (C)	1606010,862		8980255,47

Fuente: Propia.

Por lo que se observa en la Tabla 43, la diferencia entre el consumo eléctrico y la compra de combustible es poco despreciativa, ya que anualmente es una diferencia de C\$ 7 374 244,606, aunque no se estén tomando la totalidad de los traslados y giras técnicas que se realizan en la institución.

Un punto importante antes de iniciar el flujo de caja es que no se tomará el costo del cambio de flota de vehicular institucional a vehículos eléctricos, ya que estos no están contemplados dentro de los objetivos del proyecto y se asume que la institución ya adquirió los vehículos eléctricos.

De este modo, se tiene una inversión inicial de ¢5 367 526,14, y a esto hay que agregarle el costo de los centros de carga tipo Wallbox.

Tabla 44. Costo de centros de recarga tipo Wallbox.

Cambio (¢)	Costo unidad (\$)	Cantidad	Total (¢)
606,51	850	8	4124268

Fuente: BCCR (2020)

Por lo que la inversión inicial total del proyecto es de ¢9 491 794,14.

El análisis económico se realizó de dos formas: la primera se supone que la institución cuenta con el monto de la inversión inicial, y la segunda, que representa el caso crítico donde el proyecto debe ser financiado completamente por un préstamo bancario. Para el análisis, lo que cubre los gastos de inversión es el ahorro que se da por la diferencia de precios entre recargar la batería de un vehículo eléctrico y llenar el tanque de combustible fósil de un vehículo convencional.

Para el caso sin amortización, el único gasto a través del año es el del mantenimiento del equipo, el cual es un valor mínimo, además, cabe resaltar que, para el costo del combustible diésel y del servicio eléctrico, se tomaron constantes para todo el horizonte de inversión, puesto que ninguna tiene un comportamiento lineal ascendente y su valor fluctúa de mes a mes.

Flujo de efectivo del inversionista

En colones

Detalle	Horizonte de inversión					
	0	1	2	3	4	5
Costo del combustible		8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47
Costo de demanda	-	684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08
Costo de recarga de batería	-	1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86
Utilidad bruta		6.690.072,53	6.690.072,53	6.690.072,53	6.690.072,53	6.690.072,53
Costos fijos						
Gastos de mantenimiento	-	194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20
Total, gastos de operación	-	194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20
Utilidad neta		6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33
Inversión inicial	-9500000					
Flujos netos de efectivo	- 9.500.000,00	6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33	6.495.989,33
Flujos de efectivo acumulados		6.495.989,33	12.991.978,65	19.487.967,98	25.983.957,31	32.479.946,63

Figura 18. Flujo de efectivo del inversionista sin amortización.

Fuente: Propia.

Tabla 45. Resumen de indicadores financieros sin amortización.

Indicador	Valor
Rendimiento exigido	12 %
Valor presente - flujos de efectivo	¢23.416.587,73
VAN 12 %	¢13.916.587,73
TIR	62 %
Periodo de recuperación	Menos de 2 años

Fuente: Propia.

Según los valores del VAN, el proyecto es capaz de pagar la deuda y, adicionalmente, genera una ganancia de ¢23 416 587,73. Con respecto al TIR, este proyecto genera una rentabilidad del 62 % sobre la inversión financiada con recursos propios, la cual es mayor al 12 % de rendimiento exigido por el MIDEPLAN para los proyectos de inversión pública y el periodo de recuperación es menor a los dos años.

También, se plantea el mismo flujo de efectivo, pero con amortización, el cálculo de amortización se encuentra en el Apéndice A; en este caso, la única diferencia es que, al ser financiado con un préstamo bancario, se debe agregar a los gastos el monto de los intereses que producen. Además del costo propio del préstamo, la solicitud de préstamo se realizó a través

del Banco Popular, ya que cuenta con un préstamo denominado Eco Prestado, dirigido a quienes desean financiar planes de inversión amigables con el ambiente.

En colones		Flujo de efectivo del inversionista					
		Horizonte de inversión					
Detalle	0	1	2	3	4	5	
Costo del combustible		8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47	8.980.255,47	
Costo de demanda		- 684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08	- 684.172,08	
Costo de recarga de batería		- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	- 1.606.010,86	
Utilidad bruta		7.374.244,61	7.374.244,61	7.374.244,61	7.374.244,61	7.374.244,61	
Costos fijos							
Gastos de mantenimiento		- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	
Total gastos de operación		- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	- 194.083,20	
Gasto por interés		- 1.099.457,96	- 1.003.912,30	- 896.249,06	- 774.931,42	- 638.227,67	
Utilidad neta		6.080.703,45	6.176.249,11	6.283.912,35	6.405.229,98	6.541.933,73	
Inversión inicial	- 9.500.000,00						
Préstamo	9.500.000,00						
Amortización de la deuda		- 753.365,96	- 848.911,62	- 956.574,87	- 1.077.892,50	- 5.863.255,05	
Flujos netos de efectivo		5.327.337,48	5.327.337,48	5.327.337,48	5.327.337,48	678.678,69	
Flujos de efectivo acumulados		5.327.337,48	10.654.674,97	15.982.012,45	21.309.349,94	21.988.028,62	

Figura 19. Flujo de efectivo del inversionista con amortización.

Fuente: Propia.

Tabla 46. Resumen de indicadores financieros con amortización.

Indicador	Valor
Rendimiento exigido	12 %
Valor presente - flujos de efectivo	¢16.566.085,54
VAN 12 %	¢7.066.085,54
TIR	43 %
Periodo de recuperación	2 años

Fuente: Propia.

Según los valores del VAN, el proyecto es capaz de pagar la deuda y, adicionalmente, genera una ganancia de ¢16 566085,54. Con respecto al TIR, este proyecto genera una rentabilidad del 43 % sobre la inversión financiada con recursos propios, la cual es mayor al 12 % de rendimiento exigido por el MIDEPLAN para los proyectos de inversión pública y el periodo de recuperación es de dos años. Ya que en ambos casos el VAN >0 y el TIR >0 y mayor al rendimiento exigido del 12 %, se puede afirmar que la propuesta presentada es desde la perspectiva financiera aceptada.

3.4 Objetivo 4. Sistema de cobro

En el inicio, se planteó este objetivo para poder realizar un sistema de cobro para todos aquellos usuarios de vehículos eléctricos que pertenezcan a la institución, ya sea estudiantes, profesor o personal administrativo.

3.4.1 Sistema de cobro en Costa Rica

A partir del primero de noviembre del 2019, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz inicia el cobro por el uso de las estaciones de carga rápida. La tarifa de uso es de $\text{¢}182,71 \text{ kWh} + \text{IVA} + \text{otros tributos}$ y fue establecida por la ARESEP, mientras que las estaciones de carga semi-rápida son gratuitas, como parte del incentivo del Estado, lo cual se integra en el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050.

Para poder utilizar las estaciones de carga rápida que ofrece la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, lo primero que se debe realizar es llenar un formulario en las instalaciones de dicha compañía y, seguidamente, se le entregará una tarjeta RFID. El formulario también puede ser llenado en línea, pero el retiro de la tarjeta sí debe ser presencial. Ya con la tarjeta en mano, se puede hacer uso de las estaciones y el cobro del servicio se realiza a través de la facturación del servicio eléctrico (CNFL, 2020).

3.4.2 Ley N° 9518

La Ley N° 9518 corresponde al reglamento de incentivos y promoción para transporte eléctrico, el capítulo de interés para el proyecto corresponde al capítulo séptimo, que trata sobre el tema del centro de recarga. El artículo 32 habla sobre la venta electricidad en los centros de carga, pues solo puede ser vendida por distribuidores que cuenten con su respectiva concesión

de servicio público y la tarifa por la recarga para centros de carga de tipo L3, es decir, de carga rápida, será gestionada por la ARESEP (SCIJ, 2020).

3.4.3 Ley N° 7593

Corresponde a la ley de la ARESEP, la cual es de interés, puesto que, en esta, se mencionan cuáles son las instituciones que tienen a nivel nacional la concesión para la venta del servicio electricidad. En el capítulo 5, en el artículo 22, se menciona que el ente encargado de suministrar energía eléctrica en las etapas de generación transmisión distribución y comercialización es el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (SCIJ, 2020).

3.4.4 Propuesta de sistema de cobro para el TEC

De acuerdo con los puntos anteriores, se puede concluir que la institución no puede incluir un sistema de cobro por el uso del centro de carga, debido a lo que se indica en la Ley N° 9518. Sin embargo, sí es necesario el uso de una tecnología de identificación para poder activar las estaciones de carga. A continuación, se presentan Tabla 47 con las opciones que se pueden aplicar.

Tabla 47. Tecnologías de identificación de usuario.

Tecnología	Precio	Almacenamiento de información	Contacto directo	Seguridad
Chip de contacto	Bajo	Alta	Sí	Bajo
Banda magnética	Bajo	Bajo	Sí	Bajo
Código de Barras	Bajo	Bajo	Sí	Bajo
RFID	Medio	Bajo	No	Alto

Fuente: Hernández, Valencia y Canto (s.f.).

La selección de la tecnología RFID se basa en tres puntos importantes:

- Las estaciones públicas de ELCO y Schneider traen incorporado un sistema de lectura RFID.
- La influencia del sistema que maneja la Compañía Nacional de Fuerza y Luz en sus estaciones de recarga en Costa Rica.
- Con base en la Tabla 47, un punto decisivo es la seguridad que tiene RFID, ya que el diseño tecnológico es difícil de duplicar a diferencia de las bandas magnéticas y el código de barras.

Como menciona Tapia et al. (2007), el sistema se compone de cuatro partes, entre ellas el lector que ya viene incluido en los cargadores y la antena que viene incluido en el lector. Por lo que los componentes restantes son las etiquetas y el hardware de procesamiento, que, como lo dice su nombre, se encarga de procesar los datos que se transmiten del usuario, por lo que es necesario tener una base de datos para almacenar la información.

Las etiquetas pueden ser pasivas o activas. Su principal diferencia es que la etiqueta activa posee su propio sistema de alimentación y, por eso, tiene la capacidad de transmitir una señal, provocando de forma positiva que el rango de lectura sea mayor, en comparación con las etiquetas pasivas que se alimentan de la energía que produce el campo electromagnético del lector.

Tabla 48. Características principales de las etiquetas RFID.

Características	Circuito pasivo	Circuito activo
Alcance	0,01- 10 metros	10-100 metros
Alimentación	Campo magnético (RF)	Batería
Tiempo de vida	Ilimitado	Limitado por la batería
Costo aproximado	\$9,75	\$40
Dimensiones	Pequeño y muy pequeño	Grande (depende de la batería)
Tipo de comunicación	Señalización pasiva	Señalización activa

Fuente: Ramirez y Melendez (2014).

Con base a la Tabla 48, se recomienda el uso de etiquetas pasivas, el primer punto es porque su precio es menos a la cuarta parte del precio de una etiqueta activa; además, según la aplicación, no es necesario que el alcance del campo magnético sea mayor a 10 metros y una gran ventaja es su tamaño pequeño, pues se podría incorporar a una tarjeta o un llavero, que son las opciones más usadas para la activación de los centros de recarga. Ambas etiquetas deben ser realizadas con base en la norma ISO 15693, la cual es un estándar para las tarjetas de vecindad y la ISO 14443, que es un estándar para las tarjetas y dispositivos de seguridad de identificación personal electrónicas.

Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.

4.1 Conclusiones

- Se determinaron las normas del NEC para la instalación de centros de recarga del lado de baja tensión, en conexiones monofásicas y trifásicas.
- El estudio del mapeo de las estaciones determinó que se deben buscar otras fuentes de alimentación para los centros de recarga para no sobrecargar las redes existentes, y una opción es la alimentación con energía distribuida, que puede ser solar o eólica.
- Se determinó una diferencia bruta de ₡7 374 244,606 al año, al cambiar a una flota vehicular eléctrico solo por concepto por combustible y se determinó la viabilidad financiera del proyecto propuesto para la Unidad de Transporte con solicitud de préstamo o sin préstamo y, en ambos casos, se logra recuperar el valor de la inversión inicial en menos de dos años y los indicadores VAN y TIR en los dos casos fueron valores positivos.
- Actualmente, no es posible proponer un sistema de cobro para la utilización de los centros de carga, debido a las leyes que legisla en Costa Rica, y, en la mayoría de los casos, no es necesario implementar un sistema de identificación de usuario, puesto que la mayoría ya viene con el sistema RFID incorporado.

4.2 Recomendaciones

- Determinar la capacidad demandada de los transformadores, por medio de equipos de medición, o de la suministradora del servicio.
- En ambos casos planteados, es recomendable colocar un filtro para atenuar las corrientes que provocan los armónicos y no superar los límites de distorsión armónica.
- Contemplar la posibilidad de adquirir un vehículo eléctrico para la Unidad de Transporte del TEC, ya que, actualmente, solo se cuentan con vehículos híbridos no enchufables y, de esta forma, empíricamente determinar qué tan factible es el uso de vehículos eléctricos, con base en las necesidades del TEC, que son básicamente el traslado de un recinto a otro y las giras técnicas.

Capítulo 5. Bibliografía.

- Alvarado, J. A. (2008). *Sistema de control de acceso con RFID*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Álvaro, R., y Fraile, J. (2020). *Charge Scheduling Strategies for Managing an electric vehicle fleet parking*.
- Araya, G. (2018). *Introducción de Vehículos Eléctricos de uso*. [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica] Repositorio Institucional <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/5812>
- Arce, D. M., y Arias, E. H. (2019). *Diseño de estaciones de carga para vehículos eléctricos alimentada por energía fotovoltaica enfocada bajo la línea de desarrollo sostenible para los parqueaderos del conjunto residencial parques de san Joaquín en Bogotá – Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia] Repositorio Institucional <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31576?show=full>
- ARESEP. (28 de octubre de 2020). *Consulta Tarifa*. <https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas>
- ASOMOVE. (21 de septiembre de 2019). *Boletín ASOMOVE N°6*. <https://sites.google.com/view/boletnasomoven62019/bolet%C3%ADn-asomove>
- ASOMOVE. (21 de septiembre de 2020). *¿Cuáles modelos eléctricos están disponibles en este momento en el país?* <https://asomove.com/faq>
- Ávila I., y Pérez, M. A. (2016). *Implementación de estaciones de carga para autos eléctricos en estacionamiento de ESIME Zacatenco*. [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional] Repositorio Dspace <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/17451>
- Baca, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6a ed.). McGraw-Hill.
- Barros, H. P. y Ortega, L. A. (2018). *Instalación eléctrica de una electrolinera en la Ciudad de Cuenca*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Repositorio institucional <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16376>
- BCCR. (16 de noviembre de 2020). *Tipo cambio de compra y venta del dólar de los Estados Unidos de América*. Obtenido de <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1yCodCuadro=%20400>
- Blank, L., y Tarquin, A. (2006). *Ingeniería económica* (7 ed.). McGraw-Hill.
- Cano, A., y Castelo, J. (2017). *Guía de infraestructuras de carga de Vehículos Eléctricos*.
- Carbo, J. L. y Mendoza, S. O. (2017). *Diseño de construcción y análisis de emplazamiento de electrolineras en Guayaquil y Samborondón*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior

<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/42532>

- Chen, T. D., Kockelman, K. M., y Hanna, J. P. (2015). *Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle y charging infrastructure decisions*.
- CNFL. (28 de octubre de 2020). *Información de los centros de recarga rápida*.
<https://www.cnfl.go.cr/servicios-movilidad-electrica/carga-rapida>
- Collaguazo, F. y Mena, B. (2018). *Integración de VE en las redes eléctricas modernas*.
- Cordoba Hurtado, S., Montejo Cornero, D. I. (2017). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en el recorrido interno de la Universidad Internacional del Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]
Repositorio institucional <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1809>
- Cresta, M., Gatta, F.M., Geri, A., Landolfi, L., Lauria, S., Maccioni, M., Paulucci, M. y Pompili, M. (2012). *Prospective installation of EV charging points in a real LV network: Two case studies*.
- Csonka, B., y Csiszár, C. (2017). *Determination of charging infrastructure location for electric*.
- Denholm, P., Margolis, R., Palmintier B., Barrows, C, Ibanez, E., Bird, L. y Zuboy, J. (2014)
- Duque, D. A y Rocano, J.A. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]
Repositorio institucional <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15067>
- ELCO. (25 de octubre de 2020). *Estaciones de carga*. <https://www.elcocrc.com/productos>
- Energy Saving Trust. (2017). *Guide to chargepoint infrastructure for business users*.
- EPM. (2019). *Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos*.
- Estado de la nación. (21 de septiembre de 2016). *Capítulo 4. Armonía con la naturaleza*.
<https://estadonacion.or.cr/informes/#>
- Fernández, J.G. (Comunicación personal, noviembre, 11, 2020).
- Fernández, S. A., Morcillo, C., y Muñoz, J. D. (2006). RFID: La tecnología de identificación por radiofrecuencia. *Anales de mecánica y electricidad*. 83(1),47-52
- Frendo, O., Karnouskos, S., Gaertner, N., Kipouridis, O., y Rehman, K. (2018). *Charging Strategies and Implications for Corporate Electric Vehicle Fleets*.
- Funke, S. Á., Sprei, F., Gnann, T., y Plötz, P. (2019). *How much charging infrastructure do electric vehicles need? A review of the evidence and international comparison*.
- García, J. (2020). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión* (8a ed.). Paraninfo.

- García, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira] Repositorio Institucional <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5856>
- Google (s.f.-a). [Mapa del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Google maps]. Recuperado el 4 de noviembre de 2020 de <https://www.google.co.cr/maps/@9.8558495,-83.9122155,424m/data=!3m1!1e3>
- Google (s.f.-b). [Mapa del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Google maps]. Recuperado el 4 de noviembre de 2020 de <https://www.google.co.cr/maps/@9.8540816,-83.9080869,257m/data=!3m1!1e3>
- Google (s.f.-c). [Fotos de la Unidad de Transportes del TEC]. Recuperado de <https://www.google.co.cr/maps/place/Unidad+De+Transportes+TEC/@9.8538287,-83.9122786,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8fa0df8cb853ffff:0xe6986e5c71ed9945!8m2!3d9.8538234!4d-83.9100899>
- Guerrero, V. (2012). *Estudio sobre los gestores de cargas para vehículos eléctricos*. [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio uc3m <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/16588>
- Hernández, R., Valencia, J., y Canto, J. (s.f.). *Análisis comparativo entre el RFID y otras tecnologías de información inalámbricas aplicables al control de gestión logística*.
- Hovet, S., Farley, B., Perry, J., Kirsche, K., Jerue, M. y Tse, Z. (2018). Introduction of Electric Vehicle Charging Stations to University Campuses: A Case Study for the University of Georgia from 2014 to 2017. *Batteries*, 4(2), 12-20
- Hyundai Motor Company. (28 de octubre de 2020). *Especificaciones Ioniq eléctrico*. <https://www.hyundaicr.com/ioniquelectrico-comparar.php>
- ICE. (28 de octubre de 2020). *Tarifas actuales*. <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/215ae8b3-5792-4c7e-9b58-801b09bf6e36/TARIFAS+DEL+ICE+GACETA+187+30+setiembre+2015.pdf?MOD=AJPERES>
- Isla, L., Singla, M., Rodríguez, M., y Granada, I. (2019). *Análisis de tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos América Latina y El Caribe*.
- JASEC. (30 de octubre de 2020). *Normativa técnica*. Obtenido de <https://consulta.jasec.go.cr/index.php/normativa-tecnica>
- Logroño, J. (2017). *Cargador de batería para vehículos*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cataluña] Repositorio Institucional <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/112391?locale-attribute=es>

- Marra, F., Traeholt, C. y Larsen, E. (2012). *Planning Future Electric Vehicle Central Charging Stations Connected to Low-Voltage Distribution Networks*
- Mesa, C. J. (2019). *Instalación de estación de recarga rápida con parking solar*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Laguna] Repositorio Institucional <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/16585>
- Methods for Analyzing the Benefits and Costs of Distributed Photovoltaic Generation to the US Electric Utility System*. National Renewable Energy Laboratory.
- MIDEPLAN. (s.f.). *Guía metodológica General para la identificación, formulación y evaluación de proyectos de inversión pública*.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2018). *Plan de descarbonización 2018-2050*.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (24 de noviembre de 2020). *Vehículos eléctricos en Costa Rica*. <https://web.energia.go.cr/2020/06/09/movilidad-electrica-costa-rica/>
- Ministerio de Hacienda. (6 de noviembre de 2020). *Manual de procedimientos importación de vehículos eléctricos Régimen 01-Modalidad 50*. [https://www.hacienda.go.cr/docs/5b6495cde6495_Procedimiento %20especial %20de %20importacion %20definitiva %20de %20vehiculos %20electricos.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/5b6495cde6495_Procedimiento%20especial%20de%20importacion%20definitiva%20de%20vehiculos%20electricos.pdf)
- Morales, M. S. (2018). *Herramientas para la toma de decisiones en la gestión de la flota vehicular de la Unidad de Transportes de la Sede Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica*. [Tesis de pregrado, Tecnológico de Costa Rica] Repositorio TEC <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10297>
- Moreno, F. (2016). Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros. *European Scientific Journal*, 12(10), 12-20
- Moya, A. L. (2017). *Análisis de la movilidad de estudiantes y funcionarios hacia y en el campus central del Instituto Tecnológico de Costa Rica*. [Tesis de pregrado, Tecnológico de Costa Rica] Repositorio TEC <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9360>
- NFPA. (2014). *Código Eléctrico Nacional*.
- Orbea, L., Toapaxi, J., y Guano, C. (2017). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100 % eléctrico en el Ecuador. *INNOVA*, 2(4), 112-124.
- Pérez Navarro, J. (2012). *Análisis Técnico-Económico del vehículo eléctrico y las estaciones de recarga*.
- Pinto, B., Barata, F., Soares, C. y Viveiros, C. (2020). Fleet Transition from Combustion to Electric Vehicles: A Case Study in a Portuguese Business Campus. *Energies*, 13(5), 12-20

- Puentestar, J. y Rodriguez, L. (2011). *Diseño y construcción del cargador de un banco de baterías de 96 VDC e inductancia del conversor DC-DC elevador de 96 VDC a 311 VDC a ser utilizados en un vehículo eléctrico*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] Repositorio EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2748>
- Ramírez, E. D y Meléndez, F.A. (2014). Sistemas RFID aplicados al control de grandes inventarios. *Inge@UAN* 4(8), 55-68.
- RECOPE. (20 de octubre de 2020). *Precios históricos*. <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/historicos/>
- Safak, I., Zamani, V., Hanna, R., y Kleissl, J. (2016). *On the Evaluation of Plug-in Electric Vehicle Data of a Campus Charging Network*.
- Salmerón, J. M. (2012). *Diseño de la instalación eléctrica de una electrolinera* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio uc3m. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15860>
- Sapag, N. y Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos* (5 ed.). McGraw-Hill.
- Schneider Electric. (1 de diciembre de 2020). *EVF2S22P04R*. <https://www.se.com/ww/en/product/EVF2S22P04R/evlink-parking-floor-standing-22kw-1xt2-with-shutter-rfid-ev-charging-station/>
- SCIJ. (15 de noviembre de 2020). *Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13.8; 24.9 y 34.5 KV*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRAynValor1=1ynValor2=81112ynValor3=103293ynValor5=4#:~:text=Cada%20100%20metros%20en%20tramos,jalado%20especificada%20para%20el%20conductor.
- SCIJ. (28 de octubre de 2020). *Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTCynValor1=1ynValor2=26314ynValor3=0ystrTipM=TC
- SCIJ. (28 de octubre de 2020). *Reglamento de incentivos para el transporte eléctrico*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1ynValor2=86581
- Shao, S., Pipattanasomporn, M., y Rahman, S. (2009). *Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network*.

- Smith, M., y Castellano, J. (2015). *Cost Associated with non-residential electric vehicle supply equipment.*
- Tapia, D.I., Cueli, J.R., García, O., Corchado, J.M. Bajo J. y Saavedra, A. (2007). *Identificación por Radiofrecuencia: Fundamentos y Aplicaciones.*
- Tecnológico de Costa Rica. (24 de noviembre de 2020). *Que es el TEC.*
<https://www.tec.ac.cr/que-es-tec>
- Tecnológico de Costa Rica. (24 de noviembre de 2020). *Unidad de Transportes.*
<https://www.tec.ac.cr/unidades/unidad-transportes>
- Torre, S. J. (2013). *Estudio del impacto de la incorporación del vehículo eléctrico a una Smartgrid* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio uc3m.
<https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/18044>
- Transport of London. (2010). *Guidance for implementation of electric vehicle charging infrastructure.*
- Vega, J. (2020). El futuro del transporte en Costa Rica: transición al vehículo eléctrico y otras tecnologías. *Yulök Revista de Innovación Académica*, 4(1), 12-16.
- Weather spark. (1 de diciembre de 2020). *El clima promedio en Cartago.*
<https://es.weatherspark.com/y/16154/Clima-promedio-en-Cartago-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>
- Yagcitek, B., Uzunoglu, M., Ocal, B., Turan, E., y T, A. (2013). *Development of Smart Charging Strategies for Electric Vehicles in a Campus Area.*

Apéndice

Apéndice A. Amortización de la deuda.

Prestamo Ecocredito BANCO POPULAR						
Préstamo (C)	9.500.000,00					
Tasa anual	12%					
Plazo (años)	96					
Reserva	154.402					
Periodo	Cuota	Amortización	Interés	Saldo		
0				9.500.000,00		
1	154.402	59.401,99	95.000,00	9.440.598,01	753.365,96	1.099.457,96
2	154.402	59.996,01	94.405,98	9.380.601,99		
3	154.402	60.595,97	93.806,02	9.320.006,02		
4	154.402	61.201,93	93.200,06	9.258.804,09		
5	154.402	61.813,95	92.588,04	9.196.990,13		
6	154.402	62.432,09	91.969,90	9.134.558,04		
7	154.402	63.056,41	91.345,58	9.071.501,63		
8	154.402	63.686,98	90.715,02	9.007.814,65		
9	154.402	64.323,85	90.078,15	8.943.490,80		
10	154.402	64.967,09	89.434,91	8.878.523,72		
11	154.402	65.616,76	88.785,24	8.812.906,96		
12	154.402	66.272,92	88.129,07	8.746.634,04		
13	154.402	66.935,65	87.466,34	8.679.698,38	848.911,62	1.003.912,30
14	154.402	67.605,01	86.796,98	8.612.093,38		
15	154.402	68.281,06	86.120,93	8.543.812,32		
16	154.402	68.963,87	85.438,12	8.474.848,44		
17	154.402	69.653,51	84.748,48	8.405.194,94		
18	154.402	70.350,04	84.051,95	8.334.844,89		
19	154.402	71.053,54	83.348,45	8.263.791,35		
20	154.402	71.764,08	82.637,91	8.192.027,27		
21	154.402	72.481,72	81.920,27	8.119.545,55		
22	154.402	73.206,54	81.195,46	8.046.339,01		
23	154.402	73.938,60	80.463,39	7.972.400,40		
24	154.402	74.677,99	79.724,00	7.897.722,41		
25	154.402	75.424,77	78.977,22	7.822.297,65	956.574,87	896.249,06
26	154.402	76.179,02	78.222,98	7.746.118,63		
27	154.402	76.940,81	77.461,19	7.669.177,82		
28	154.402	77.710,22	76.691,78	7.591.467,61		
29	154.402	78.487,32	75.914,68	7.512.980,29		
30	154.402	79.272,19	75.129,80	7.433.708,10		
31	154.402	80.064,91	74.337,08	7.353.643,19		
32	154.402	80.865,56	73.536,43	7.272.777,62		
33	154.402	81.674,22	72.727,78	7.191.103,41		
34	154.402	82.490,96	71.911,03	7.108.612,45		
35	154.402	83.315,87	71.086,12	7.025.296,58		
36	154.402	84.149,03	70.252,97	6.941.147,55		
37	154.402	84.990,52	69.411,48	6.856.157,03	1.077.892,50	774.931,42
38	154.402	85.840,42	68.561,57	6.770.316,61		
39	154.402	86.698,83	67.703,17	6.683.617,78		
40	154.402	87.565,82	66.836,18	6.596.051,97		
41	154.402	88.441,47	65.960,52	6.507.610,49		
42	154.402	89.325,89	65.076,10	6.418.284,60		
43	154.402	90.219,15	64.182,85	6.328.065,46		
44	154.402	91.121,34	63.280,65	6.236.944,12		
45	154.402	92.032,55	62.369,44	6.144.911,56		
46	154.402	92.952,88	61.449,12	6.051.958,69		
47	154.402	93.882,41	60.519,59	5.958.076,28		
48	154.402	94.821,23	59.580,76	5.863.255,05		
49	154.402	95.769,44	58.632,55	5.767.485,61	1.214.596,25	638.227,67
50	154.402	96.727,14	57.674,86	5.670.758,47		
51	154.402	97.694,41	56.707,58	5.573.064,06		
52	154.402	98.671,35	55.730,64	5.474.392,71		
53	154.402	99.658,07	54.743,93	5.374.734,64		
54	154.402	100.654,65	53.747,35	5.274.079,99		
55	154.402	101.661,19	52.740,80	5.172.418,80		
56	154.402	102.677,81	51.724,19	5.069.740,99		
57	154.402	103.704,58	50.697,41	4.966.036,41		
58	154.402	104.741,63	49.660,36	4.861.294,78		
59	154.402	105.789,05	48.612,95	4.755.505,73		
60	154.402	106.846,94	47.555,06	4.648.658,80		
61	154.402	107.915,41	46.486,59	4.540.743,39		
62	154.402	108.994,56	45.407,43	4.431.748,83		
63	154.402	110.084,51	44.317,49	4.321.664,33		
64	154.402	111.185,35	43.216,64	4.210.478,98		
65	154.402	112.297,20	42.104,79	4.098.181,77		
66	154.402	113.420,18	40.981,82	3.984.761,60		
67	154.402	114.554,38	39.847,62	3.870.207,22		
68	154.402	115.699,92	38.702,07	3.754.507,30		
69	154.402	116.856,92	37.545,07	3.637.650,38		
70	154.402	118.025,49	36.376,50	3.519.624,89		
71	154.402	119.205,74	35.196,25	3.400.419,14		
72	154.402	120.397,80	34.004,19	3.280.021,34		
73	154.402	121.601,78	32.800,21	3.158.419,56		
74	154.402	122.817,80	31.584,20	3.035.601,76		
75	154.402	124.045,98	30.356,02	2.911.555,79		
76	154.402	125.286,44	29.115,56	2.786.269,35		
77	154.402	126.539,30	27.862,69	2.659.730,05		
78	154.402	127.804,69	26.597,30	2.531.925,36		
79	154.402	129.082,74	25.319,25	2.402.842,62		
80	154.402	130.373,57	24.028,43	2.272.469,05		
81	154.402	131.677,30	22.724,69	2.140.791,75		
82	154.402	132.994,08	21.407,92	2.007.797,67		
83	154.402	134.324,02	20.077,98	1.873.473,66		
84	154.402	135.667,26	18.734,74	1.737.806,40		
85	154.402	137.023,93	17.378,06	1.600.782,47		
86	154.402	138.394,17	16.007,82	1.462.388,30		
87	154.402	139.778,11	14.623,88	1.322.610,19		
88	154.402	141.175,89	13.226,10	1.181.434,30		
89	154.402	142.587,65	11.814,34	1.038.846,65		
90	154.402	144.013,53	10.388,47	894.832,12		
91	154.402	145.453,66	8.948,33	749.379,46		
92	154.402	146.908,20	7.493,79	602.471,26		
93	154.402	148.377,28	6.024,71	454.093,98		
94	154.402	149.861,05	4.540,94	304.232,93		
95	154.402	151.359,66	3.042,33	152.873,26		
96	154.402	152.873,26	1.528,73	0,00		

Anexos

Anexo A. Ficha técnica de Hyundai Ioniq Electric 2020.

Ficha Técnica

Motor eléctrico:

- Magneto Síncrono Permanente
- 100 kW (136 hp) 295 Nm (30.1 kgf.m)

Batería:

- Tipo: Polímero de Ión de Litio
- Voltaje: 379 V
- Capacidad: 38.3 kWh / 120 Ah
- Cargador a bordo: 7.2 kW
- Puerto de carga Lenta/Normal: SAE J1772
- Puerto de carga rápida DC: ChaDeMo

Tracción:

- Delantera - 2WD

Transmisión:

- Caja reductora simple con Sistema de cambios de marchas mediante selectores (Shift-by-Wire)

Dirección:

- Electro asistida (MDPS)

Frenos:

- Paletas para Control del Freno Regenerativo
- Frenos de regeneración
- Delanteros: Discos ventilados 15"
- Traseros: Discos sólidos 15"

Suspensión:

- Delantera: Tipo McPherson con amortiguadores a gas

- Trasera: Barra de torsión (CTBA) con amortiguadores a gas

Neumáticos:

- 205/60 R16
- Kit de reparación de neumáticos (Tire Mobility Kit)

Aros:

- 16" Eco-spoke de aleación de aluminio

Rendimiento:

- Autonomía eléctrica: >350 km
- Emisiones de CO₂: 0 g/km
- Coeficiente Aerodinámico (Cd): 0.24
- Aceleración de 0 - 100 km/h: 9.9 s (SPORT) / 10.2 s (NORMAL)
- Distancia de frenada de 100 a 0 km/h: 42.6
- Velocidad máxima: 165 km/h

Dimensiones:

- Largo: 4,470 mm
- Ancho: 1,820 mm
- Altura: 1,475 mm
- Distancia entre ejes: 2,700 mm
- Peso Neto / Bruto: 1,527 kg / 1,970 kg
- Capacidad de carga: 462 L / 1,417 L (VDA)

Seguridad:

- Chasis Monocasco Reforzado (AHSS). Tipo fastback de 5 pasajeros
- Barras para protección lateral contra impactos

- Marcos de seguridad en las puertas
- Cinturones de 3 puntos con pretensores
- Bolsas de aire delanteras
- Bolsas de aire laterales y de cortina
- Bolsa de aire de rodilla para el conductor
- Cabeceras ajustables en todas las plazas
- Seguro para niños en puertas traseras
- Sistema de anclajes ISOFIX para silla de niños
- Bumpers de seguridad
- Luces direccionales en los retrovisores
- Luces de conducción diurna (DRL)
- Luces traseras de LED
- Luces reflectivas traseras
- Luces delanteras. Tipo proyector múltiple en LED
- Luces de posición. LED (tipo indirecto)
- Frenos con ABS, EBD y BA
- Control Electrónico de Estabilidad (ESC)
- Sistema de Control de Tracción (TCS)
- Freno de Emergencia Eléctrico (EPB) + AUTO HOLD
- Asistencia para Salida en Pendientes (HAC)
- Alerta de Colisión en Punto Ciego (BCW)
- Alerta de Tráfico Trasero Cruzando (RCTA)
- Asistente para Cambio de Carril (LAC)
- Indicador de cambio de carril de un solo toque
- Sistema de Monitoreo de la Presión de las Ruedas (TPMS)
- Cámara de Visión Trasera con líneas guías dinámicas (RVM)
- Sensores de asistencia para parqueo (PDW)
- Alarma original con Inmovilizador

Equipamiento exterior:

- Parrilla delantera aerodinámica color gris
- Espejos retrovisores del color del vehículo
- Manillas del color de la carrocería con detalles cromados mate
- Banda protectora solar en el parabrisas
- Desempañador del parabrisas trasero
- Spoiler trasero con 3ra luz de freno LED integrada (HMSL)
- Antena deportiva
- Aros de lujo

Equipamiento interior:

- Sistema Multimedia Hyundai con Android Auto y Car Play
- Pantalla táctil LCD, 8 pulgadas
- Controles de audio y de Bluetooth® en el volante
- Transmisión de audio por Bluetooth®. Reconocimiento de voz
- Entrada AUX y USB
- 4 Parlantes y 2 tweeters
- Toma auxiliar de 12 V
- Cargador USB en la guantera central
- Cargador inalámbrico para teléfono móvil (Estandar Qi)
- Supervisión cluster LCD 7" TFT
- Computadora de viaje programable multi funcional
- Programación de los mantenimientos preventivos
- Sensor de lluvia para encendido automático de escobillas
- Sistema de encendido automático de luces

- Ajuste de iluminación del panel
- Control Crucero Automático
- Modos de Conducción (Normal/ECO/Sport) y modo ECO+
- Botón de encendido y Llave inteligente
- Cierre central con Acceso sin llave (Keyless Entry)
- Vidrios eléctricos (Delanteros automáticos Up/Down con protección)
- Bloqueo de ventanas traseras
- Espejos retrovisores eléctricos
- Espejos retrovisores retráctiles eléctricos
- Sistema de bienvenida: Apertura de los retrovisores con luces de cortesía
- Volante forrado en cuero
- Volante ajustable y telescópico con diseño deportivo en D invertida
- Cinturones delanteros ajustables en altura
- Asiento del conductor con ajuste eléctrico y soporte lumbar
- Asiento del pasajero con ajuste de altura
- Asientos traseros abatibles 60/40 con acceso desde el porta equipaje
- Asientos delanteros con calefacción (3 niveles)
- Tapicería de los asientos: Tela
- Indicador de temperatura exterior
- Aire acondicionado digital automático. Con selección Solo para el Conductor
- Salidas de aire acondicionado para la fila trasera
- Desempañador interior automático
- Porta vasos delanteros en la consola central
- Descansa brazos delantero
- Descansa brazos trasero con porta vasos
- Porta botellas en las puertas
- Bolsillo detrás del asiento delantero
- Parasol con luz y espejos en ambas plazas
- Luces de mapa e Iluminación interior, LED
- Porta anteojos
- Luz en el porta equipaje
- Cobertor del compartimiento de equipaje
- Red para sujeción de carga
- Control remoto con apertura de independiente del porta equipaje
- Apertura interior de las tapas de los puertos de carga
- Puertos de carga con luz de asistencia
- Indicadores de carga en el dash
- Bloqueo automático del conector de carga delantero
- Cargador portátil inteligente para carga lenta (110V / 12A / 1,44kW)
- Aviso de bajo nivel de agua en los limpiadores del parabrisas

Contrato de respaldo del fabricante:

- 3 años o 100.000 km, lo que ocurra primero

Tiempos de carga:

Estandar:	120 V.	Aprox 35 h 30 min
	240 V.	Aprox 6 h 5 min
Rápida (hasta 80%):	50 kW	Aprox 57 min
	100 kW	Aprox 54 min

Esta ficha técnica brinda información de los vehículos. Pueden darse variaciones con respecto al producto final adquirido. Las características finales del producto seleccionado deben ser confirmadas en nuestras fichas técnicas en hyundaicr.com Fotos con carácter ilustrativo.

COLORES EXTERNOS



www.hyundaicr.com

• Visítanos en: La Uruca, Curridabat, Lindora, Liberia, San Carlos, Pérez Zeledón y Guápiles.
• Call Center: 2522-7474
• Hyundai Costa Rica



Anexo B. Ficha técnica de estación de carga modelo EVF2S22P04R.

Product data sheet Characteristics

EVF2S22P02 EVlink PARKING Floor Standing 22KW 1xT2 EV CHARGING STATION



Main

Range	EVlink
Product name	EVlink parking
Product or component type	Charging station
Device short name	EVF2
Poles description	3P + N for power circuit 1P + N for control circuit
Mounting mode	Floor-standing
Offer type	Standard
Rated supply voltage	230 V AC 50/60 Hz control circuit 380...415 V AC 50/60 Hz power circuit
Earthing system	TN IT TT
Socket-outlet number	1
Socket-outlet type	Right: T2 / silver plated contacts
Maximum supply current	32 A for T2
Max power	22 kW for T2

Complementary

Control type	1 red push-button, function: stop 1 green illuminated push-button, function: start/unlock flap
Local signalling	On charge: 1 LED (green) (flashing) on side Available: 1 LED (green) on front Reserved: 1 LED (orange) on front Not operational: 1 LED (red) on front
Communication port protocol	OCPP 1.6
Configuration /Architecture	Clustured architecture Standalone
Operation and maintenance	User privilege configuration

Dec 14, 2020

Life is On | Schneider
Electric

1

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for, and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

	Postponed charge Load management Diagnosis capabilities Charge detail records Circuit breaker status
Web server	Embedded
Ethernet service	Configuration via web server
Standards	IEC 61851-1 IEC 61851-22
Product certifications	ZE Ready CE EV Ready CB
Height	1146 mm
Width	413 mm
Depth	220 mm
Net weight	50 kg
Colour	Front: white (RAL 9003) Side: grey (RAL 7016)

Environment

IP degree of protection	IP54 off load conforming to IEC 61851-1 IP54 on load conforming to IEC 61851-1
IK degree of protection	IK10 charging station conforming to IEC 61851-22 IK10 socket-outlet conforming to IEC 61851-22
Ambient air temperature for operation	-30...50 °C conforming to IEC 61851-22
Ambient air temperature for storage	-40...80 °C
Operating altitude	0...2000 m conforming to IEC 61851-22
Relative humidity	0...95 %

Packing Units

Package 1 Weight	40.500 kg
Package 1 Height	38.000 cm
Package 1 width	45.000 cm
Package 1 Length	128.000 cm

Offer Sustainability

Sustainable offer status	Green Premium product
REACH Regulation	REACH Declaration
REACH free of SVHC	Yes
EU RoHS Directive	Compliant EU RoHS Declaration
Mercury free	Yes
RoHS exemption information	Yes
China RoHS Regulation	China RoHS declaration Product out of China RoHS scope. Substance declaration for your information
Environmental Disclosure	Product Environmental Profile
Circularity Profile	End of Life Information

Anexo C. Tablas utilizadas para el diseño de centros de recarga NEC.

Tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo ^a (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1 100	Más de 900 hasta 1 750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1 750	3/0	250

Table 250.122 Minimum Size Equipment Grounding Conductors for Grounding Raceway and Equipment

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Note: Where necessary to comply with 250.4(A)(5) or (B)(4), the equipment grounding conductor shall be sized larger than given in this table.

Tabla 310.15(B)(2)(a) Factores de corrección de temperatura ambiente basado en 30° C

Para temperaturas ambientes distintas a 30 °C, 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

Table 310.15(B)(3)(a) Adjustment Factors for More Than Three Current-Carrying Conductors

Number of Conductors ¹	Percent of Values in Table 310.15(B)(16) through Table 310.15(B)(19) as Adjusted for Ambient Temperature if Necessary
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 and above	35

¹Number of conductors is the total number of conductors in the raceway or cable, including spare conductors. The count shall be adjusted in accordance with 310.15(B)(5) and (6). The count shall not include conductors that are connected to electrical components but that cannot be simultaneously energized.

Tabla 310-15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominal incluyendo 2000 volt y 60 °C a 90 °C (140°F a 194°F). No más de tres conductores portadores de corriente en una cable o tierra (directamente enterrados), basados en una temperatura ambiente de 30° C (86° F).

CALIBRE	TEMPERATURA NOMINAL DEL CONDUCTOR (VER TABLA 310-13)					
	60° C	75° C	90° C	60° C	75° C	90° C
AWG/ Kcmil	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	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 TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	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 REC DE COBRE		
18	....	....	14	....	....	....
16	....	....	18	....	....	....
14	15	20	25	....	....	....
12	20	25	30	20*	20	25
10	30	35	40	25	30	35
8	40	50	55	30	40	45
6	55	65	75	40	50	60
4	70	85	95	55	65	75
3	85	100	110	65	75	85
2	95	115	130	75	90	100
1	110	130	150	85	100	115
1/0	125	150	170	100	120	135
2/0	145	175	195	115	135	150
3/0	165	200	225	130	155	175
4/0	195	230	260	150	180	205
250	215	255	290	170	205	230
300	240	285	320	190	230	255
350	260	310	350	210	250	280
400	280	335	380	225	270	305
500	320	380	430	260	310	350
600	355	420	475	285	340	385
700	385	460	520	310	375	420
750	400	475	535	320	385	435
800	410	490	555	330	395	450
900	435	520	585	355	425	480
1000	455	545	615	375	445	500
1250	495	590	665	405	485	545
1500	520	625	705	435	520	585
1750	545	650	735	455	545	615
2000	560	665	750	470	560	630

Tabla 4. Dimensiones y área porcentual de conduit y tubería
(Áreas de conduit o tubería para las combinaciones de alambres permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículos 352 y 353 - Conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 40 y Conduit HDPE (HDPE)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Diámetro interno nominal		Área total 100%		60%		1 alambre 53%		2 alambres 31%		Más de 2 alambres 40%	
		mm	pulgada	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm^{2}	pulgada^{2}	mm^{2}	pulgada^{2}	mm^{2}	pulgada^{2}
12	3/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	1/2	15.3	0.602	184	0.285	110	0.171	97	0.151	57	0.088	74	0.114
21	3/4	20.4	0.804	327	0.508	196	0.305	173	0.269	101	0.157	131	0.203
27	1	26.1	1.029	535	0.832	321	0.499	284	0.441	166	0.258	214	0.333
35	1 1/4	34.5	1.360	935	1.453	561	0.872	495	0.770	290	0.450	374	0.581
41	1 1/2	40.4	1.590	1282	1.986	769	1.191	679	1.052	397	0.616	513	0.794
53	2	52.0	2.047	2124	3.291	1274	1.975	1126	1.744	658	1.020	849	1.316
63	2 1/2	62.1	2.445	3029	4.695	1817	2.817	1605	2.488	939	1.455	1212	1.878
78	3	77.3	3.042	4693	7.268	2816	4.361	2487	3.852	1455	2.253	1877	2.907
91	3 1/2	89.4	3.521	6277	9.737	3766	5.842	3327	5.161	1946	3.018	2511	3.895
103	4	101.5	3.998	8091	12.554	4855	7.532	4288	6.654	2508	3.892	3237	5.022
129	5	127.4	5.016	12748	19.761	7649	11.856	6756	10.473	3952	6.126	5099	7.904
155	6	153.2	6.031	18433	28.567	11060	17.140	9770	15.141	5714	8.856	7373	11.427

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

Calibre	OHM A NEUTRO (POR KM)													
	X _L (Reactancia Inductiva para todos los conductores)		Resistencia CA para Conductores de cobre sin revestimiento			Resistencia CA para conductores de aluminio			Impedancia efectiva (Z) a FP=0,85 para conductores de cobre sin revestimiento			Impedancia efectiva (Z) a FP=0,85 para Conductores de Aluminio.		
	AWG Kcmil	Tubo PVC, AI	Tubo Acero	Tubo PVC	Tubo AI	Tubo Acero	Tubo PVC	Tubo AI	Tubo Acero	Tubo PVC	Tubo AI	Tubo Acero	Tubo PVC	Tubo AI	Tubo Acero
14	0.190	0.24	10.2	10.2	10.2	-	-	-	8.86	8.86	8.86	-	-	-
12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	10.50	10.50	10.50	5.58	5.58	5.58	9.18	9.18	9.18
10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	6.56	6.56	6.56	3.61	3.61	3.61	5.90	5.90	5.90
8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	4.26	4.26	4.26	2.26	2.26	2.30	3.61	3.61	3.61
6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	1.44	1.48	1.48	2.33	2.36	2.36
4	0.16	0.20	1.02	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	0.95	0.95	0.98	1.51	1.51	1.51
3	0.15	0.19	0.82	0.82	0.82	1.31	1.34	1.31	0.75	0.79	0.79	1.21	1.21	1.21
2	0.15	0.19	0.62	0.66	0.66	1.05	1.05	1.05	0.62	0.62	0.66	0.98	0.98	0.98
1	0.15	0.19	0.49	0.52	0.52	0.82	0.85	0.82	0.52	0.52	0.52	0.79	0.79	0.82
1/0	0.14	0.18	0.39	0.43	0.39	0.66	0.69	0.66	0.43	0.43	0.43	0.62	0.66	0.66
2/0	0.14	0.18	0.33	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52	0.36	0.36	0.36	0.52	0.52	0.52
3/0	0.14	0.17	0.25	0.27	0.26	0.43	0.43	0.43	0.29	0.30	0.31	0.43	0.43	0.46
4/0	0.13	0.17	0.20	0.22	0.21	0.33	0.36	0.33	0.24	0.26	0.26	0.36	0.36	0.36
250	0.13	0.17	0.17	0.19	0.18	0.28	0.30	0.28	0.22	0.23	0.24	0.31	0.32	0.33
300	0.13	0.17	0.14	0.16	0.15	0.23	0.25	0.24	0.19	0.21	0.21	0.27	0.28	0.29
350	0.13	0.16	0.12	0.14	0.13	0.20	0.22	0.21	0.17	0.19	0.20	0.24	0.25	0.26
400	0.13	0.16	0.11	0.12	0.11	0.18	0.19	0.18	0.16	0.17	0.18	0.22	0.23	0.24
500	0.13	0.16	0.09	0.10	0.10	0.14	0.16	0.15	0.14	0.16	0.16	0.19	0.20	0.21
600	0.13	0.16	0.08	0.09	0.08	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19
750	0.12	0.16	0.06	0.08	0.07	0.10	0.11	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
1000	0.12	0.15	0.05	0.06	0.06	0.08	0.09	0.08	0.10	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15

Notas:

- Estos valores se basan en las siguientes constantes: UL, Cables tipo RHH con trenzado de Clase B en forma de horquilla. La conductividad eléctrica de los cables es del 100% IACS para cables de cobre y del 61% IACCS para cables de aluminio. La de los tubos de aluminio es del 45% IACS. No se tiene en cuenta la reactancia capacitiva, que es despreciable para estas tensiones. Estas resistencias sólo son válidas a 75° C y para los parámetros dados, pero son representativas de cables para 600 V que funcionen a 60 Hz.
- La impedancia efectiva (Z efectiva) se define como $(R \cos(\theta) + X \sin(\theta))$, siendo theta el ángulo del factor de potencia del circuito. Multiplicando la corriente por la impedancia efectiva se obtiene un valor bastante aproximado de la caída de tensión entre fase y neutro. Los valores a partir de los valores R y X_L dados en esta Tabla.
 $Z = R.FP + X_L . SEN[ARCOS(FP)]$

Anexo D. Diagrama unifilar de transformadores de poste.

