



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS PARA LA ADECUADA UBICACIÓN DE ELECTROLINERAS DE
CARGA RÁPIDA EN LA CIUDAD DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: FREDDY ADRIÁN CAÑAR YUPANGUI

TUTOR: ING. ARTURO GEOVANNY PERALTA SEVILLA, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Adrián Cañar Yupangui con documento de identificación N° 0105892871, manifiesto que:

Soy el autor y responsables del presente trabajo; y, autorizo que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de abril del 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Freddy Adrián Cañar Yupangui', written over a faint circular stamp or watermark.

Freddy Adrián Cañar Yupangui

0105892871

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Freddy Adrián Cañar Yupangui con documento de identificación N° 0105892871, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Análisis para la adecuada ubicación de electrolineras de carga rápida en la ciudad de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de abril del 2022

Atentamente,



Freddy Adrián Cañar Yupangui

0105892871

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Arturo Geovanny Peralta Sevilla con documento de identificación N° 0102199072, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS PARA LA ADECUADA UBICACIÓN DE ELECTROLINERAS DE CARGA RÁPIDA EN LA CIUDAD DE CUENCA, realizado por Freddy Adrián Cañar Yupangui con documento de identificación N° 0105892871, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de abril del 2022

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**ARTURO GEOVANNY
PERALTA SEVILLA**

Ing, Arturo Geovanny Peralta Sevilla, Ph.D.

0102199072

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Isabel Yupangui y Bolívar Cañar quienes, con su esfuerzo y perseverancia, permitieron que cumpliera con esta meta, ustedes son mi mayor orgullo y mi mejor ejemplo de fortaleza para seguir adelante día a día. A mi esposa Karen Ordoñez que ha sido el pilar fundamental y la fuerza para alcanzar esta meta tan añorada y gran apoyo en los momentos difíciles, de igual manera a mi hermana Cristina Cañar, quien supo apoyarme y comprenderme durante todo el proceso.

Freddy Adrián Cañar Yupangui.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haberme dado la vida, la salud y la perseverancia necesaria para finalizar esta meta. A mis padres por su incentivo y su ejemplo a ser mejor persona a diario, ya que sin su esfuerzo no hubiese sido posible llegar a esta meta. Un agradecimiento especial al Ing. Arturo Peralta mi director de tesis, quien durante este tiempo me ha sabido guiar con su conocimiento en el desarrollo del proyecto. De Igual manera el agradecimiento al Ing. Freddy Campoverde, por su apoyo y dedicación a supervisar y revisar el presente proyecto. Y por último a la Universidad Politécnica Salesiana y todas las personas que la conforman, ya que ha sido mi segunda casa durante estos años de estudio y formación profesional, personal y humano.

Freddy Adrián Cañar Yupangui

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO 1	1
1 ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE BATERÍAS A SER UTILIZADAS EN LA CARGA RÁPIDA DE UNA ELECTROLINERA	1
1.1 ELECTROLINERA	1
1.2 BATERÍAS	2
1.2.1 Características	2
1.2.2 Capacidad de carga	3
1.2.3 Tipos.....	4
1.2.4 Redes globales de producción de las baterías	9
1.2.5 Fabricantes y proveedores de las baterías globales y locales.....	11
CAPÍTULO 2	12
2 INFRAESTRUCTURAS Y MODOS DE RECARGA EMPLEADOS EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	12
2.1 INFRAESTRUCTURA DE RECARGA	12
2.1.1 América latina	12
2.1.2 Ecuador	16
2.2 MODOS Y TIPOS DE CARGA	18
2.3 POTENCIA REQUERIDA PARA TRANSFORMADORES DE ELECTROLINERAS	20
2.4 SISTEMAS DE CONTROL REQUERIDOS PARA CADA ELECTROLINERA	20

2.5	INSTALACIONES FÍSICAS DE LA ELECTROLINERA	21
2.5.1	Convertidor AC/DC	22
2.5.2	Inversor DC/AC	23
CAPÍTULO 3		24
3	NORMATIVAS Y MÉTODOS.....	24
3.1	NORMATIVAS PARA PUNTOS DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	24
3.1.1	Instrucción técnica complementaria ITC-BT-52	24
3.1.2	Norma técnica EPM RA8-031	27
3.1.3	Norma RIC N15	31
3.1.4	Resumen comparativo de normativas mencionadas	35
3.2	MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN.....	36
3.2.1	Modelo de tráfico	36
3.2.2	Optimización por colonia de hormigas	37
3.2.3	Optimización por enjambre de partículas PSO	38
3.2.4	Algoritmo genético.....	39
3.2.5	Optimización binivel.....	39
3.2.6	Método espacial	40
CAPÍTULO 4		41
4	PLANIFICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ELECTROLINERAS DE CARGA RÁPIDA EN LA CIUDAD DE CUENCA	41
4.1	OPTIMIZACIÓN PSO APLICADO EN ELECTROLINERAS	41
4.1.1	Librerías para Python®	41
4.1.2	Datos de entrada	42
4.1.3	Desarrollo del algoritmo PSO	44
4.1.4	Pruebas y resultados	45
4.2	BENEFICIO COSTO	47

CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
GLOSARIO	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Características técnicas de las baterías	3
Figura 1.2. Baterías de plomo ácido.....	5
Figura 1.3. Baterías de níquel cadmio.....	6
Figura 1.4. Baterías de níquel hidruro metálico	7
Figura 1.5. Batería Li-Ion.....	7
Figura 1.6. Batería Li-Po.....	8
Figura 1.7. Batería ZEBRA.....	8
Figura 1.8. Batería de aluminio aire.....	9
Figura 1.9. Batería zinc aire	9
Figura 2.1. Modos de carga.....	18
Figura 2.2. Tipos de recarga en Ecuador.....	19
Figura 2.3. Protección del sistema de control para el centro de transformación	21
Figura 2.4. Estación de carga rápida	22
Figura 2.5. Convertidor AC/DC.....	23
Figura 2.6. Convertidor DC/AC.....	23
Figura 3.1. Modo 1 - Instalación grupal de recargas EV e interiores a viviendas	25
Figura 3.2. Modo 2 - Instalación individual de recargas EV y otros circuitos	25
Figura 3.3. Modo 3 - Instalación individual de recargas EV compartida con la vivienda	26
Figura 3.4. Estación de carga lenta a) vivienda unifamiliar, b) protección contra sobre corriente, c) protección diferencial y d) con conector Schuko.....	28
Figura 3.5. Estación de carga lenta en el a) parqueadero del edificio y b) con un cuarto técnico centralizado.....	29
Figura 3.6. Modos de conexión de la estación de carga lenta en el edificio	30
Figura 3.7. Conexión de la estación de carga con derivación desde el tablero.....	30
Figura 3.8. Instalaciones de carga pública a) semi rápida y b) rápida	31
Figura 3.9. Instalaciones individuales con modo de carga 2.....	32
Figura 3.10. Instalaciones individuales con modos de carga 3 y 4	33
Figura 3.11. Edificio con empalmes a) distribuidos y b) concentrados	34
Figura 3.12. Puntos de conexión SAVE a) instalados en pared y b) en estación.....	35
Figura 3.13. Hormigas artificiales.....	37
Figura 3.14. Algoritmo PSO	38

Figura 4.1. OpenStreetMap [®]	41
Figura 4.2. Implementación de gasolineras en el mapa (OpenStreetMap [®])	43
Figura 4.3. Rutas de destino vehicular (OpenStreetMap [®])	44
Figura 4.4. Desarrollo de algoritmo PSO	44
Figura 4.5. Distribución de los puntos de recarga rápida en la ciudad de Cuenca.....	46
Figura 4.6. Flujo efectivo neto para 84 EV	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación entre la regulación de corriente según el tipo de recarga (lenta y rápida)	4
Tabla 1.2. Características técnicas de las baterías.....	4
Tabla 1.3. Principales fabricantes y proveedores de baterías para autos eléctricos en el mundo.....	11
Tabla 2.1. Avances en materia de infraestructura de carga en América Latina.....	13
Tabla 2.2. Modos de carga	18
Tabla 2.3. Tipos de carga	19
Tabla 3.1. Potencias instaladas normalizadas en circuitos de recarga para viviendas unifamiliar.....	26
Tabla 3.2. Puntos de conexión en función de la ubicación	27
Tabla 3.3. Ubicación de estaciones de recarga	36
Tabla 3.4. Situaciones ante la problemática de estaciones de recarga.....	40
Tabla 4.1. Distribución de destinos en la ciudad de Cuenca en el año 2021	42
Tabla 4.2. Gasolineras en la ciudad de Cuenca.....	43
Tabla 4.3. Posibles unidades de puntos de recarga rápida	45
Tabla 4.4. Puntos de recarga rápida optimizada y costo mínimo.....	46
Tabla 4.5. Ingresos anuales	47
Tabla 4.6. Egresos anuales	48
Tabla 4.7. Flujo efectivo neto	48
Tabla 4.8. Análisis de viabilidad de las electrolineras	49

RESUMEN

El presente trabajo abarca el análisis para la adecuada ubicación de electrolinerías de carga rápida en la ciudad de Cuenca, por lo que es fundamental definir conceptos, tipos y características de las baterías, infraestructuras y recarga empleados en los vehículos eléctricos. Actualmente en Ecuador, se conoce que no existen normativas aplicadas a los puntos de recarga de vehículos EV; por tanto, se realiza un estudio de tres normativas internacionales como la ITC-BT-52, EPM RA8-031 y RIC N15, las cuales factores importantes de los lugares adecuados de las estaciones de recarga tales como residencias, gasolineras, parqueaderos, vías públicas, entre otros; además, mencionan otros requisitos de instalación, seguridad y capacidad. Por consiguiente, se definen seis métodos como el modelo de tráfico, colonia de hormigas, enjambre de partículas, algoritmo genético, binivel y el método espacial que pueden optimizar los puntos de recarga en las estaciones de servicio. En segunda instancia, se selecciona la optimización por enjambre de partículas con el propósito de minimizar la función de costo de las distancias entre sectores y rutas hacia las 15 gasolineras ubicadas en la ciudad de Cuenca.

Palabras clave: baterías, electrolinerías, puntos de recarga, red de baja tensión, vehículos eléctricos.

ABSTRACT

This work covers the analysis for the proper location of fast charging electric stations in the city of Cuenca, so it is essential to define concepts, types and characteristics of batteries, infrastructures and recharging used in electric vehicles. Currently in Ecuador, it is known that there are no regulations applied to EV vehicle charging points; therefore, a study of three international regulations such as ITC-BT-52, EPM RA8-031 and RIC N15 is carried out, which are important factors of the appropriate places of the recharging stations such as residences, gas stations, parking lots, public roads, among others; in addition, they mention other installation, security and capacity requirements. Therefore, six methods are defined such as the traffic model, ant colony, particle swarm, genetic algorithm, binlevel and the spatial method that can optimize the recharging points at service stations. In the second instance, the optimization by swarm of particles is selected in order to minimize the cost function of the distances between sectors and routes to the 15 gas stations located in the city of Cuenca.

Keywords: batteries, electric stations, charging points, low voltage network, electric vehicles.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos EV, representan actualmente una de las estrategias alternativas automotrices más eficaces y sostenible, para mitigar los efectos ambientales producidos por las emisiones de gases contaminantes que generan los autos tradicionales que utilizan combustibles fósiles. No obstante, de su uso se desprenden una serie de necesidades que deben atenderse en virtud de garantizar el correcto funcionamiento de esta modalidad vehicular, como es el tema de infraestructura y capacidad técnica que permita la operatividad de los mismo, como es el caso de las electrolinerías que deben estar en puntos estratégicos de la ciudad en virtud de que los usuarios puedan recargar sus vehículos sin mayores limitantes.

A nivel mundial, las electrolinerías forman parte fundamental para abordar el campo automotriz denominado transición verde, cuya finalidad de instalar electrolinerías que puedan atender el mercado de los autos eléctricos que actualmente hace frente al parque automotor tradicional que suma cerca de 23 millones de vehículos en el mundo [1].

En América Latina, el tema de la movilidad eléctrica es progresivo y, aunque existen diversas estrategias para impulsar y promover el uso de vehículos EV, aún persisten e incluso se incrementan las formas de movilidad tradicional que continúan afectando significativamente el ambiente con la emisión de gases contaminantes. Además, se estima que este tipo de vehículos podrían tener un incremento de hasta 3 veces en los próximos 25 años [2].

Por tanto, se tiene un avance lento en la electromovilidad comparado con otras regiones del mundo, esto se debe a los elevados costos de inversión en la materia de infraestructura, pues existe la necesidad de acondicionar las ciudades de los países latinoamericanos a fin de satisfacer y atender las necesidades de recarga de los vehículos EV. Asimismo, es preciso sustituir los autobuses que poseen motores de combustión diésel con tecnologías más limpias y emplear un reajuste de las tarifas eléctricas para el transporte [3]. Además, esta transformación implica una reconfiguración de los sistemas e infraestructura de la impulsión eléctrica cuyas repercusiones inciden sobre diversos actores sociales, económicos, culturales y

ambientales porque implica desde la explotación de materias primas hasta la modificación de la matriz energética [4].

Por tanto, la creación de electrolineras es indispensable para atender las necesidades del parque vehicular eléctrico; no obstante, en el caso de Ecuador, son escasas las electrolineras que se encuentran en el país para brindar este servicio lo que representa una de las principales barreras que limitan el impulso de la venta de autos eléctricos del país, pues no existen suficientes incentivos que inviten a invertir en esta área a pesar de los esfuerzos que realizan diversas instituciones del sector público y privado para promover la movilidad sostenible como es el caso de la Empresa Eléctrica de Quito que apoyada por el PNUD ha invertido cerca de 450 mil dólares en la red de electrolineras para vehículos eléctricos en la ciudad capital [5, 6].

Además, la implementación de electrolineras no representa un riesgo para el sistema eléctrico debido a que las estimaciones y proyecciones realizadas confirman que no provocarían un déficit energético en la oferta lo cual contribuye con su factibilidad, ya que, incluso, la migración hacia la electromovilidad genera ahorro en términos energéticos y eficiencia en la matriz energética [7].

Sin embargo, estos esfuerzos aún resultan insuficientes para mejorar las cifras en relación a la adquisición y uso de autos eléctricos en el país, pues en el caso de Cuenca, existe sólo una electrolinera pública de carga lenta que funciona desde el año 2019 que permita recargar este tipo de vehículos, lo que representa un desafío importante para la venta de estos autos con tecnología verde, pues representa un punto en contra que no favorece su comercialización [8] evidenciado en las cifras, pues para el año 2021 de 188 mil vehículos que conforman el parque automotor de Cuenca, alrededor de 28 unidades son eléctricas [9].

En este sentido, el presente estudio parte del interés del investigador por conocer los sistemas eléctricos de una electrolinera en virtud de planificar cuál sería la ubicación más idónea para la instalación de electrolineras de carga rápida en la ciudad de Cuenca, entendiendo las limitantes actuales y los desafíos que esto comprende. De manera que, se presenta el estudio en cinco capítulos; el primero, se orienta a analizar los tipos de baterías a ser utilizadas en la carga rápida de una electrolinera.

En el segundo capítulo, se aborda la situación actual de las infraestructuras modos de recarga para los vehículos EV tanto en el continente como en Ecuador. Por su parte, el tercer capítulo se centra en el reconocimiento de las normativas existentes para puntos de recarga de vehículos EV y las posibles restricciones derivadas en estos casos. Al mismo tiempo se plantea la metodología para establecer la ubicación de la gasolinera.

Con relación al cuarto capítulo, éste da cuenta de los criterios de planificación para la implementación de cargas especiales en relación con los aspectos técnicos, presupuestos de la relación costo-beneficio que permita implementar una electrolinera en la ciudad de Cuenca. Finalmente se configura el quinto capítulo con las conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio.

Justificación

Como el presente proyecto está orientado al sector automotriz va a surgir inquietudes sobre los tipos y modos de recarga eléctrica vehicular. Por consiguiente, se pretende cubrir estos requerimientos de cargabilidad enfocado a diversos fabricantes vehiculares y electrolineras (carga de batería en los vehículos EV). Para ello, se recurre a diversas definiciones y usos de las baterías, infraestructuras de la movilidad eléctrica, normativas existentes referente a los puntos de recarga a fin de establecer un buen criterio de planificación de todos los puntos de localización donde se podrán instalar electrolineras en la ciudad de Cuenca.

En Ecuador, ya se cuenta con electrolineras ubicadas en diversas ciudades, los cuales han realizado algunos convenios para la adquisición de vehículos EV [10]. Ante ello, surge la interrogante del dónde y cómo se podrán realizar la recarga de este tipo de vehículos.

El estudio estará enfocado en las electrolineras de carga rápida porque se ha visto la necesidad de la población que posee este tipo de transporte eléctrico el cual desea reducir el tiempo de cargar de su vehículo.

Objetivos de Investigación

Objetivo General

Conocer los sistemas eléctricos de una electrolinera y planificar cual sería la ubicación óptima para la instalación de electrolineras de carga rápida en la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis de los tipos de baterías a ser utilizadas en la carga rápida de una electrolinera, sus características eléctricas y capacidad de carga que poseen cada una de las mismas.
- Realizar un análisis de las infraestructuras y modos de recarga que se emplean en la actualidad para los vehículos eléctricos.
- Estudiar las normativas existentes para puntos de recarga de vehículos eléctricos y restricciones que se pueden tener en cada caso.
- Establecer criterios de planificación para la implementación de cargas especiales, como electrolineras de carga rápida en la red de baja tensión en puntos estratégicos de alto impacto vehicular.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE BATERÍAS A SER UTILIZADAS EN LA CARGA RÁPIDA DE UNA ELECTROLINERA

El presente capítulo se orienta al detalle en cuanto se refiere a las definiciones de la electrolinera y baterías, este último describe las características, capacidades de carga, producción, fabricantes y tipos de baterías a ser utilizadas en la carga rápida de una electrolinera.

1.1 ELECTROLINERA

Las electrolineras son entendidas como puntos de cargas eléctricas para vehículos eléctricos las cuales se encuentran en la vía pública y representan una alternativa de solución no sólo desde el punto de vista operativo de la movilidad eléctrica, sino que también es una apuesta que contribuye con el aprovechamiento del excedente de electricidad nocturna que no se puede acumular [11].

Este tipo de estaciones de carga forman parte de la cadena logística urbana contemporánea que se desarrollan en las ciudades, pues con la incorporación de los vehículos eléctricos al sistema de movilidad, se genera la necesidad de crear este tipo de centros de carga que compense las necesidades de los interesados que optan por la movilidad sostenible, pues la creciente demanda de infraestructura de carga para este tipo de vehículos demanda métodos eficaces que permitan conectar estas estaciones a la red de media tensión, debido a que la red de baja tensión resulta insuficiente para atender la capacidad de carga rápida de varios vehículos [12].

Las electrolineras constituyen un factor fundamental en la infraestructura de recarga del vehículo eléctrico, pues es parte de los dispositivos lógicos que cumplen con los requerimientos de seguridad que se prevén para el servicio integral de recargo [13], pues se nutre de la energía de las redes eléctricas; no obstante, las alternativas que se plantean a nivel mundial, incluye la utilización de energía renovable como la de los paneles solares que no sólo contribuye con el ambiente sino que reduce costos y optimiza los recursos [14].

Sin embargo, la lenta implementación de infraestructuras de recargas se presenta como una limitante del proceso de transición hacia la electromovilidad y un freno para el aumento de las ventas de vehículos eléctricos [15].

1.2 BATERÍAS

En la movilidad eléctrica, las baterías constituyen uno de los componentes más importantes no sólo para el funcionamiento de los autos eléctricos sino también para la configuración de las estaciones de carga, pues toda esta infraestructura debe estar en consonancia con las características de cada una de las baterías existentes en el mercado.

En este contexto, las baterías como responsables del almacenamiento y distribución de la energía hacia todos los elementos eléctricos del vehículo tienen particularidades que las distinguen en los componentes utilizados al momento de fabricarlas, los cuales permiten que tengan mayor capacidad de almacenaje que condiciona, entre otras cosas, “la velocidad máxima del vehículo, la autonomía entre recargas, el tiempo de recarga y el ciclo de vida de la misma” [16].

1.2.1 Características

Entre las características eléctricas de la batería se destaca: la tensión nominal, la capacidad nominal e intensidad máxima, las cuales están indicadas por el fabricante lo cual es preciso respetar para evitar problemas de arranque. En el caso de la tensión nominal, se trata de una celda por el número de vasos que contengan; por ejemplo, si la tensión de cada celda es de 2 [V], eso quiere decir que si se desea una batería de 12 [V], se deben colocar 6 celdas conectadas en serie [17]. Cabe mencionar que la tensión de salida no es constante, ya que está condicionada por el estado de carga y la temperatura [18]. Por su parte, la capacidad nominal se trata de la intensidad de descarga que puede suministrar una batería durante una cantidad de horas a una temperatura de 25°C, se mide en amperios hora y se obtiene como el producto de la intensidad de descarga por el tiempo de descarga [17]; finalmente, la intensidad máxima es aquella que puede suministrar la batería durante más de 200 segundos [16].

Para el caso de los vehículos livianos, las baterías se centran en el uso del litio como cátodo y el grafito en el ánodo. En este particular, las baterías representan una de las

áreas en las que mayor inversión se realiza en el sector de los vehículos eléctricos porque la mejora de sus características incide significativamente en el rendimiento del vehículo, pues el nivel de almacenamiento de electricidad representa uno de los mayores retos de esta industria que enmarcan una serie de características técnicas que “forman parte del proceso de conversión de energía química en energía eléctrica que efectúan esos dispositivos” [18] que van desde la fuerza automotriz hasta el rendimiento (ver Figura 1).

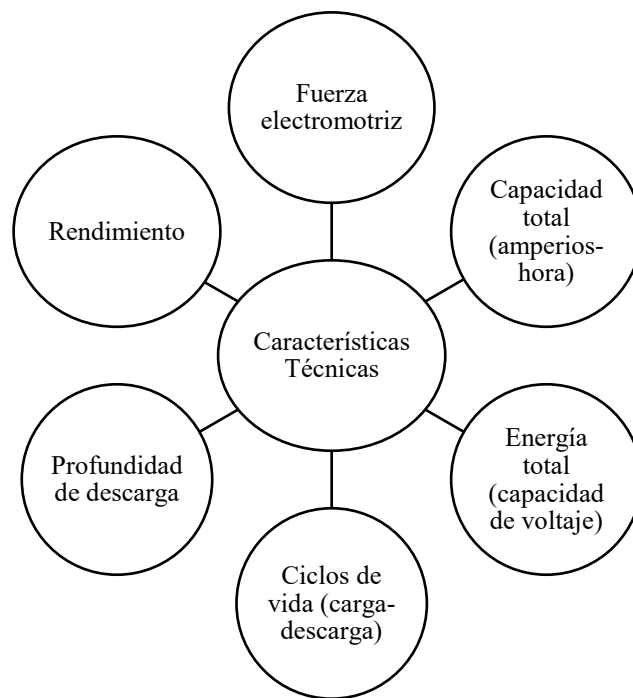


Figura 1.1. Características técnicas de las baterías

Fuente: [19]

1.2.2 Capacidad de carga

Esta capacidad es producto de la corriente y el tiempo, es decir, el resultado del producto máximo de la corriente de salida en un tiempo determinado, lo que se reconoce como regulación de la corriente que depende de la tecnología, la construcción y los componentes utilizados; asimismo, la medición de la capacidad de carga se realiza de acuerdo con cada tipo de batería y los procesos químicos de la misma. Su valor clave es el rango de tensión de funcionamiento (mínima y máxima) que no son constantes, pues influyen en ello factores como la temperatura, los ciclos de carga y descarga realizado, descargas por debajo de los estándares permitidos, sobrecarga, entre otros [19]. La carga de las baterías se realiza mediante fuentes de alimentación de corriente continua, el cual hace circular una corriente eléctrica a través de la batería

bajo cualquiera de los tiempos de carga, rápida y lenta, tal como se muestra en la Tabla 1.1. En el primer caso, se tiene un carácter excepcional ya que se genera cargas en períodos cortos de tiempo y, si bien representa una característica atractiva desde el punto de vista comercial, la realidad es que no es una acción recomendada porque expone la batería a intensidades de carga muy elevadas que resultan contraproducentes para su vida útil [16].

Tabla 1.1. *Comparación entre la regulación de corriente según el tipo de recarga (lenta y rápida)*

Características	Carga lenta	Carga rápida
Alimentación monofásica AC	230 [V], 16 [A], 3.7 [kW]	-
Alimentación trifásica AC	400 [V], 16 [A], 11 [kW]	500 [V], 250 [A], 220 [kW]
Alimentación continua DC	-	600 [V], 400 [A], 240 [kW]
Tiempo estimado de recarga completa	5.5 [h] – AC monofásico 2 [h] – AC trifásico	5 – 8 [min]
Localización óptima	Viviendas, estacionamientos, terminales y aeropuertos	Electrolineras

Fuente: [10]

1.2.3 Tipos

Existe una gran variedad de baterías empleadas en los vehículos livianos del sector automotriz. Por lo que a través de la Tabla 1.2 se indica el tipo y otras características como energía específica, rendimiento, ciclo de vida y potencia específica.

Tabla 1.2. *Características técnicas de las baterías*

Baterías		Energía		Potencia		Rendimiento	Ciclo de vida	
		[Wh-kg]		[W-kg]		[%]	Mín. Máx.	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
Plomo ácido	Pb-ácido	35	50	150	400	80	300	500
Níquel cadmio	Ni-Cd	30	50	100	150	75	1000	2000
Níquel hidruro metálico	Ni-MH	60	80	200	300	70	1000	2000
Aluminio aire	Al-aire	200	300	100	100	< 50	-	-
Zinc aire	Zn-aire	100	220	30	80	60	-	-
Níquel cloruro de sodio	ZEBRA	150	240	230		85	1000	
Polímero de litio	LiPo	150	200	350		-	500	
Ion de litio	Li-Ion	80	130	200	300	> 95	1000	

Fuente: [10]

1.2.3.1 Batería Pb-ácido

Este tipo de baterías se configuran por la asociación seriada de varios vasos o celdas que conforman dos electrodos de plomo la cual posee una tecnología de acumulación electroquímica antigua que fue desarrollada en el año 1890 que continúa empleándose en el sector eléctrico automotor porque son de bajo costo, tolerantes a la sobrecarga y tienen una amplia gama de tamaños y capacidades [20].

Es preciso entender que este tipo de baterías se clasifican de acuerdo con [18] en: las de arranque (suministran intensidad elevada en tiempos cortos), de tracción (diseñadas para ciclos profundos, utilizadas en vehículos eléctricos) y las estacionarias (diseñadas para trabajar en regímenes lentos de carga y descarga).



Figura 1.2. Baterías de plomo ácido

Fuente: [21]

1.2.3.2 Batería Ni-Cd

Las baterías de Níquel-Cadmio presentan larga vida útil de hasta 2000 ciclos y poseen un bajo mantenimiento. Sin embargo, el precio es elevado comparado con las baterías de plomo ácido. Además, los polos positivo y negativo de la placa están fabricados con hidróxido de níquel y cadmio; respectivamente. Por último, el electrolito es una solución de hidróxido potásico [22].

A diferencia de las de plomo ácido, la resistencia en este tipo de baterías es menor, lo cual permite disponer de una carga interna baja que produce en la tensión de los bornes una constante que las hace perdurar hasta que la batería esté prácticamente descargada. Sin embargo, este tipo de baterías demandan una atención y cuidado especial con relación al mantenimiento de la temperatura dentro de márgenes específicos debido a

que, ante consumos elevados se produce una gran demanda de intensidad que eleva su temperatura a niveles por encima de lo normal [23].

Tanto la materia prima como los procesos de producción de las baterías Ni-Cd elevan significativamente sus costos, se compensa con la vida útil que tienen que es mucho mayor al de los otros tipos de baterías; entre sus ventajas, en [24] destaca que estas baterías sólo requieren calefacción si las temperaturas están por debajo de los -20°C y su capacidad extraíble es independiente del tiempo de descarga.



Figura 1.3. Baterías de níquel cadmio

Fuente: [25]

1.2.3.3 Batería Ni-MH

Este tipo de baterías representan una alternativa importante con relación a la transición verde porque produce energía eléctrica con elementos químicos que resultan menos agresivos para el ambiente, no obstante, se descargan rápidamente [26]. Entre sus características, destacan: “emplear un gel como electrolito, trabajar a una tensión elevada, requerir un sistema de refrigeración forzada de aire para evitar excesos de temperatura, no requerir mantenimientos específicos y disponer de una centralita de gestión de carga y descarga” [27].

Para algunos autores, se presentan como las sucesoras de las baterías Ni-Cd ya que cambiaron el agente contaminante (cadmio) por la aleación metálica ya que es capaz de formar hidruros sin generar contaminación [28].



Figura 1.4. Baterías de níquel hidruro metálico

Fuente: [29]

1.2.3.4 Batería Li-Ion

Las características de este tipo de baterías con relación al peso permiten montarlas en los vehículos que son totalmente eléctricos y en algunos deportivos cuya densidad energética puede ser superior a 250 [Wh/kg]. Además, este tipo de baterías, admiten las recargas continuas en tiempos reducidos con intervalos cortos las cuales se pueden realizar con tomas directas a la red eléctrica [30].

Desde el punto de vista técnico, están formadas por materiales seguros como el grafito cuyas propiedades permiten aceptar los iones de litio de manera menos reactivas que el litio metálico lo cual mantiene su densidad energética [30]. Entre las características que destacan en este tipo de baterías se encuentran: la densidad (que llega a ser el doble de las Ni-Cd), no requiere mantenimiento, el cociente de autodescarga (menor a la de otras baterías) [20].

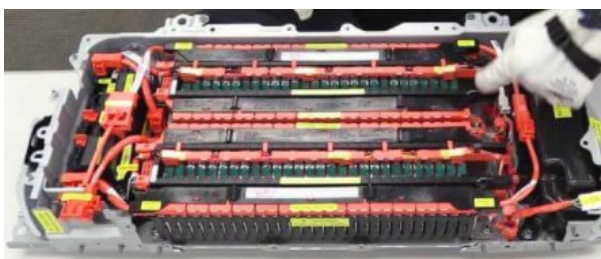


Figura 1.5. Batería Li-Ion

Fuente: [29]

1.2.3.5 Batería Li-Po

Además de tener un peso ligero, este tipo de baterías utiliza polímeros capaces de ser fabricados en diferentes tamaños y formas que las baterías Li-Ion. Por ende, son costosas debido a las características de flexibilidad que tienen para adoptar formas finas y son resistentes a las sobrecargas [31]. Además, son una variación de las anteriores que permiten mayor densidad de energía con una mayor tasa de descarga [32].



Figura 1.6. Batería Li-Po

Fuente: [10]

1.2.3.6 Batería ZEBRA

Las baterías ZEBRA contienen en los electrodos positivo y negativo, cloruro de níquel y sodio metálico; respectivamente. Sin embargo, presenta como desventaja su funcionamiento puesto que exige temperaturas elevadas mayores a los 250 [°C] para ser operativas, por tanto, requieren de un recipiente que permita controlar su temperatura lo cual incide significativamente en su tamaño. Por consiguiente, son una alternativa factible para los autos eléctricos porque resultan 100% reciclables y seguras [28]; en este orden de ideas, también resultan complejas y su contenido químico es mayor al de otras baterías, así como su ciclo de vida (ver Figura 7).



Figura 1.7. Batería ZEBRA

Fuente: [33]

1.2.3.7 Batería de Aluminio aire

Estas baterías se desarrollan en virtud de reducir los tiempos de carga, ser más livianas y eficientes, lo cual disminuye el riesgo de explosión. De acuerdo con diversos estudios que se realizan para mejorar el rendimiento de los autos eléctricos, se determina que el aluminio tiene una densidad energética superior a la gasolina lo cual permite una autonomía de 700 km; en este contexto, estas baterías resultan atractivas para el comportamiento de estos vehículos, así como para el mercado debido a que el aluminio es un material liviano, económico y abundante [34].

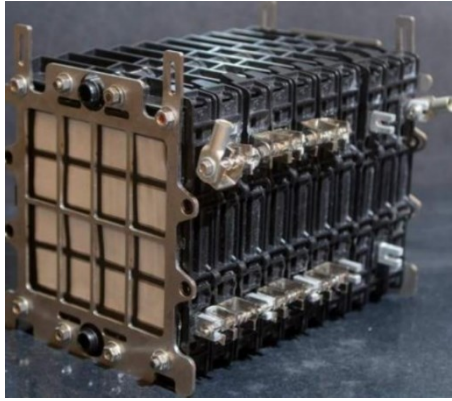


Figura 1.8. Batería de aluminio aire

Fuente: [35]

1.2.3.8 Batería Zn-aire

El bajo peso en estas baterías hace que tengan una elevada energía específica lo cual constituye una de sus ventajas más atractivas, además, están compuestas por una serie de materiales activos que aportan a su inocuidad y bajo precio, así como una descarga plana que permite que tengan una elevada polarización de oxígeno [36].



Figura 1.9. Batería zinc aire

Fuente: [37]

1.2.4 Redes globales de producción de las baterías

A nivel mundial, existen redes globales de producción de baterías de acuerdo a los materiales con que son elaboradas cuyo funcionamiento tiene implicaciones importantes en diferentes aspectos no sólo ambientales sino también comerciales, pues su estructura impacta sobre las dinámicas que se desenvuelven en determinadas regiones; una muestra de ello es la producción de baterías de ion de litio cuya red tiene una importante participación en la creación y control de los modelos y mercados de vehículos en la región sudamericana, pues el triángulo del litio (Argentina, Chile y

Bolivia) concentra el 58% de los recursos de litio y se constituyen como socios estratégicos para la transición verde de este continente [10].

La incidencia que tiene esta red sobre la dinámica económica y comercial de América Latina parte del recurso como materia prima para la fabricación de ciertos productos como electrodos, celdas y vehículos que se encuentran a cargo de empresas multinacionales que tienen la capacidad de coordinar procesos productivos en diferentes áreas geográficas siendo esta región uno de los más importantes [10].

Actualmente, el 90% de las baterías utilizadas por los automóviles eléctricos son de ion de litio, lo cual incide en el impacto que tiene en la economía latinoamericana ya que más de la mitad de los depósitos de litio del mundo se encuentra en el referido Triángulo del Litio de América del Sur lo que se traduce en oportunidades de crecimiento en la industria de producción de baterías de valor añadido local para estos países [38].

En este orden de ideas, un estudio de la CEPAL indica que existe un valor agregado en relación con el desarrollo de la industria de las baterías de litio en la región, pues la barrera principal de la industria es: “Alcanzar un mercado crítico que permita generar la demanda necesaria que justifique comercialmente el desarrollo de la cadena productiva de baterías para vehículos eléctricos y otras aplicaciones” [39]. Es importante, reconocer la experiencia de otros países que aplican una serie de iniciativas privadas y públicas tales como incentivos financieros e inversiones en infraestructura de carga con el propósito de favorecer el desarrollo de la industria.

En este contexto, la industria y desarrollo de las baterías de litio está presente en gran parte de los países productores de baterías. En el caso de América Latina, existen una serie de circunstancias que se circunscriben como, barreras para el desarrollo de la región que se entiende como, proveedora dentro de este mercado, pues si bien, es líder mundial en la producción de litio y otros materiales, tales como: cobalto, manganeso y níquel. Sin embargo, no cuenta con la capacidad de refinación de dichos minerales, lo que condiciona de forma severa la fabricación de cátodos y precursores a la importación de la refinería asociada a estas materias primas [39].

1.2.5 Fabricantes y proveedores de las baterías globales y locales

Actualmente, existen una serie de proveedores globales y locales que se encargan de fabricar y distribuir las baterías utilizadas por los autos eléctricos entre los que destacan China, Corea del Sur y Japón quienes son los encargados de abastecer la demanda de la industria automovilística europea y estadounidense entre las que destacan: Envision AESC, SK Battery, Samsung SDI, entre otras, visto en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. *Principales fabricantes y proveedores de baterías para autos eléctricos en el mundo*

Nombre	País de Origen	Característica
Envision AESC	Japón	Octavo mayor productor de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos.
SK Battery	Corea del Sur	Sexto productor de baterías de iones de litio con una participación del 5,1% en el mercado global.
Samsung SDI	Corea del Sur	Quinto mayor productor mundial de baterías de iones de litio con una participación del 5,4% en el mercado.
BYD	China	En proceso de expansión de celdas con una participación del 6,9%
Panasonic	Japón	Mantiene relación directa con Tesla y se ubica como el tercer gran proveedor de baterías en el mundo con el que construyó la primera Gigafábrica del mundo.
Energy Solution LG	Corea	Participación del 21,5% en el mercado no sólo compite en el sector automotriz sino en el de almacenamiento de energía estacionaria en red.
CATL	China	Proveedor de las principales marcas automotrices del mundo y es el principal productor de baterías del mundo con una participación en el mercado de 32,5%
StoreDot	Estados Unidos	Nueva empresa dedicada a la fabricación de baterías para autos eléctricos con una propuesta cuya celda cilíndrica 4680 reduce el tiempo de carga a sólo 10 minutos. Se encuentra en una fase inicial.

Fuente: [40]

CAPÍTULO 2

INFRAESTRUCTURAS Y MODOS DE RECARGA EMPLEADOS EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

El segundo capítulo abarca una descripción de las infraestructuras de recarga en América Latina, los modos y tipos de carga, la potencia, sistemas de control e instalaciones físicas de la electrolinera.

2.1 INFRAESTRUCTURA DE RECARGA

2.1.1 América latina

La movilidad eléctrica representa una de las alternativas estratégicas propuestas desde escenarios internacionales para mitigar los efectos de la contaminación generada por las emisiones de gases producidas, en gran medida, por los vehículos tradicionales que utilizan y tienen una importante dependencia de los combustibles fósiles. En este contexto, la movilidad eléctrica representa una oportunidad para la región para instaurar la movilidad sostenible debido a que exige la incorporación de tecnologías de transportes eficientes y menos contaminantes [41].

En este contexto, es preciso entender que América Latina tuvo un incremento acelerado en la urbanización de sus ciudades con una tasa de crecimiento urbano del 93% lo cual incide significativamente en el crecimiento del transporte público y particulares cuyas consecuencias son evidentes debido a la cantidad de emisiones de gases contaminantes que estos producen, afectando la salud de las personas y el medio ambiente. De acuerdo con diferentes estudios realizados por ONU Medio Ambiente, se determina que los vehículos pesados y livianos son el segmento más viable para contribuir con la emisión del dióxido de carbono, pues si bien el transporte público representa uno de los principales agentes contaminantes; se requieren reformas estructurales, modernización y programas de inversión muy elevados y complejos que pueden implementarse a largo plazo [41].

En este orden de ideas, la pandemia que tuvo lugar desde el 2019 demuestra la necesidad de atender el tema ambiental con propuestas sostenibles y medidas inmediatas, pues se evidenció que la reducción de gases provoca una mitigación significativa de los daños ambientales. En el caso de América Latina y el Caribe tienen

la oportunidad de disminuir la emisión de gases contaminantes y mejorar la calidad del aire con una movilidad eléctrica basada en una matriz energética limpia, pues además de contribuir con el ambiente, estas acciones mejoran la industria a favor de una economía inclusiva y sostenible [41].

En consecuencia, este tipo de movilidad sostenible exige una infraestructura que atienda a las necesidades de carga que se generan en los usuarios que tienen este tipo de vehículos, en este sentido, las electrolinerías o estaciones de carga representan uno de los principales retos logísticos para los países, pues exige la participación pública y privada que busque invertir en este aspecto para favorecer la transición verde; de ahí, que los países de la región invierten en sistemas de carga de vehículos eléctricos en espacios públicos para incentivar el uso de esta tecnología [39].

En cuanto a las electrolinerías, representan uno de los principales lineamientos para el despliegue de autos eléctricos en la región, ya que se requiere de la provisión del equipamiento suficiente para suministrar la carga de los vehículos como parte de los entornos promotores de la electromovilidad. No obstante, a pesar de que la infraestructura de carga es uno de los aspectos que más se consideran en la planificación logística de la movilidad en la región, aún existen profundas debilidades que representan una barrera para el crecimiento de la movilidad sostenible en estos territorios (ver Tabla 2.1) [39].

Tabla 2.1. *Avances en materia de infraestructura de carga en América Latina*

Países	Acciones para Infraestructura de carga	Nivel de avance
Chile	Regulación SEC y proyectos	Medio
México	Apoyo CFE y proyecto de 100 electrolinerías	Alto
Panamá	Pocas electrolinerías	Sin Avance
República Dominicana	Pocas Electrolinerías	Sin Avance
Costa Rica	Electrolinerías ICE y descuento en equipamiento	Alto
Colombia	Proyecto EPM	Medio
Uruguay	Corredor interurbano y descuentos	Alto
Brasil	Regulación y algunos proyectos	Medio
Argentina	Pocas electrolinerías y proyecto YPF	Poco
Ecuador	Cobro diferenciado y proyectos	Medio

Fuente: [39]

Con relación a las estaciones de carga, existen experiencias en diferentes países de la región que desarrollaron lineamientos estandarizados y posibilitan el intercambio

informativo entre diferentes redes de carga. En consecuencia, países como Chile, Colombia, Costa Rica, Paraguay y Uruguay tienen iniciativas y sistemas de información a favor del monitoreo del funcionamiento de centros de carga pública [39].

Entre las experiencias de estos países destacan dos modalidades para la recarga de vehículos eléctricos, la primera, es la inclusión o reconversión de centros de carga dentro de estaciones tradicionales de combustible; la segunda, se orienta a los estudios de comportamiento que se están realizando para entender la conducta de los usuarios de vehículos eléctricos en virtud de identificar las mejores zonas de carga. En este sentido, la ubicación de los centros de carga es fundamental para la logística de la movilidad sostenible porque precisa del reconocimiento de factores como: los elementos temporales (días laborales, no laborales o festivos) y el área de tránsito del vehículo (zonas residenciales, comerciales o industriales) [42].

La infraestructura de carga en las principales ciudades de Latinoamérica representa uno de los puntos principales que marcaron un cambio significativo de tendencia a la movilidad eléctrica en la región; entre las acciones de los diferentes países para atender a las necesidades en este particular destacan. En primer lugar, Chile quien optó por normar la interoperabilidad de vehículos eléctricos, en virtud de establecer reglas claras que favorezcan los servicios de carga vehicular de calidad que promuevan la participación del sector privado. Este país apuesta por esta modalidad de transporte, a través de la Estrategia Nacional de Electromovilidad y, por otro lado, la Ruta Energética 2018-2022, las cuales convergen en la necesidad de estructurar adecuadamente las regulaciones que faciliten el despliegue de la movilidad eléctrica a nivel nacional [42].

En este contexto, es preciso indicar que, en el año 2018 la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (SEC) autorizó la instalación de centros de recarga pública para vehículos EV en cualquier establecimiento de actividad comercial, lo cual generó la posibilidad de crear nuevas empresas relacionadas con la distribución de electricidad como una acción estratégica para promover el crecimiento en el país y contribuir con la infraestructura necesaria para avanzar en esta materia [42].

En esta misma línea, Brasil generó un área estratégica de acción para promover la movilización eléctrica en el país, entendiendo que una de las consideraciones más importantes en este aspecto es la adecuación logística que permita instaurar estaciones de carga que mantengan y garanticen la operatividad de los autos eléctricos que son adquiridos en el mercado. ANEEL establece bajo la Resolución Normativa No. 819/2018 los permisos del servicio público de distribución de electricidad y procesos de recarga de vehículos eléctricos por concesionarios [43].

Por su parte, la comunidad de Monteverde en Costa Rica creó una ruta eléctrica como parte de las acciones de mitigación del daño ambiental considerando la movilidad eléctrica como una alternativa sostenible. Para ello, las autoridades centraron sus esfuerzos en la adecuación logística que este tipo de alternativas exige, instalando más de 80 puntos de carga en una iniciativa que se trabajó en conjunto con la Comisión CORCLIMA y la organización local, Costa Rica Limpia [42].

Con relación a la Ruta Eléctrica está conformada por una red de tomacorrientes de 240 [V] en distintos establecimientos comerciales que permiten a los usuarios cargar sus vehículos mientras utilizan los diferentes servicios ofrecidos por dichos establecimientos que van desde restaurantes hasta comercios; esta es una forma multidimensional de atender a esta necesidad logística y que contribuye con la dinamización de otros sectores como el turismo y el comercio [39].

No obstante, a pesar de los esfuerzos individuales que cada país de América Latina realizó para incentivar, promover e implementar la movilidad eléctrica en el marco de una sostenibilidad necesaria, prevalecen barreras que limitan los avances en esta materia tales como la falta de una estructura coordinada capaz de conjugar los esfuerzos individuales. Pues no basta con que cada uno de ellos genere nuevos elementos regulatorios, sino que es preciso que exista una regulación regional y de mercado a partir de un liderazgo formal [39].

Es importante entender que para implementar estrategias sostenibles que atiendan a la operatividad de la movilidad eléctrica, es preciso conjugar la energía, transporte y el medio ambiente en las políticas regionales. Sin embargo, el caso del Caribe y América Latina resulta complejo debido a la heterogeneidad de los sistemas políticos, de la administración pública y de gestión de los diferentes países de la región cuyos modelos

y estructuras de coordinación y gobernanza de la movilidad eléctrica responden a dinámicas locales y particulares [39].

Una de las cuestiones más difíciles que se desprenden de esa heterogeneidad regional, es que, si bien muchos países de la región cuentan con instancias de coordinación para la gestión en materia de movilidad eléctrica, existe otro tanto que no lo tiene; por ello, se dificulta actualmente la estandarización regional en relación a la infraestructura de carga, los servicios de venta de energía de las grandes empresas energéticas en la región, pues, además cada país tiene diferentes niveles de acceso a este recurso [39].

2.1.2 Ecuador

En el caso ecuatoriano, la cobertura de electricidad se encuentra entre las mejores de la región, a tal punto que para el año 2018 fue de un 97.05%. Esto permite crear una serie de disposiciones normativas y de políticas públicas orientadas a impulsar y promover la transición hacia una movilidad eléctrica. Actualmente, no existe un plan oficial de implementación de autobuses eléctricos o suficientes electrolíneas. Además, se realizan cambios progresivos como es el caso de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, donde todos los vehículos que se incorporen en el servicio de transporte público a partir del año 2025 deberán ser bajo la modalidad del medio automotriz eléctrico [42].

El Ecuador se encuentra inmerso en procesos de cambios de la matriz energética, implementando energía renovable por los combustibles fósiles. Asimismo, se entiende la importancia que tiene la infraestructura en instalaciones de energía como aspecto clave y diferenciador que garantice la efectividad de las estrategias y acciones planificadas en materia de promoción de la movilidad eléctrica. Esto se evidencia en proyectos como la EEQ que abarca la implementación de puntos de recarga, estimando una inversión de 3000 dólares para una carga rápida de 40 minutos [3].

La operación es ejecutada por la Corporación Financiera Nacional (el banco de desarrollo nacional), que fomenta las actividades privadas de producción en el Ecuador. Con el financiamiento de 20 millones de dólares y tasas de interés de 7.5% a 15 años se espera sustituir los automotores de combustión interna por los de tipo eléctricos, haciendo énfasis en el transporte urbano y rural de pasajeros. También

incluye estaciones de carga de baterías con energía renovable, ofreciendo apoyo multisectorial y atendiendo la oferta y demanda de energía limpia [42].

Otra acción que tuvo lugar en territorio ecuatoriano para favorecer la creación de electrolinerías como parte de la promoción de la movilidad eléctrica, es a nivel normativo, pues para el año 2018 se aprobó la Ley de Promoción de la Producción, concediendo un 0% de impuesto al valor agregado (IVA) a los vehículos EV e híbridos [44].

Asimismo, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética publicada en el Registro Oficial Suplemento 449 del 19 de marzo de 2019, incorpora a continuación del artículo 43 de la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica lo siguiente: el servicio de carga de vehículos eléctricos podrá ser ofrecido por personas naturales o jurídicas habilitadas mediante la firma de un Contrato de Comercialización de Energía Eléctrica para Carga de Vehículos suscrito con las Empresas Eléctricas de Distribución, que estará sujeto a las condiciones jurídicas y técnicas establecidas por la ARCONEL mediante Regulación pertinente. El costo de carga es fijado por el proveedor del servicio y limitado a un valor máximo establecido por la ARCONEL en los estudios tarifarios [44].

No obstante, actualmente existen problemas que limitan la implementación de electrolinerías en el país que se derivan de las regulaciones de la Ley para favorecer el uso de vehículos eléctricos. Por consiguiente, se establece que cada empresa distribuidora debe proveer energía eléctrica a todas las personas naturales o jurídicas habilitadas para la comercialización de energía en la recarga de vehículos EV, por lo que es necesario suscribir un contrato de comercialización. Por consiguiente, no existe alguna regulación para este tipo de condiciones y del proveedor de servicio de carga; por tanto, se necesita una norma que establezca lo siguiente [44]:

- Modelo de contrato entre los prestadores de carga y empresa distribuidora para el uso de los vehículos EV, junto con los requerimientos técnicos y jurídicos. Por ende, designar las responsabilidades de las dos entidades.
- Calificación de estación de carga.
- Tarifa y tipo de carga.
- Precio máximo de comercialización en el punto de carga [39].

2.2 MODOS Y TIPOS DE CARGA

Los vehículos eléctricos deben recargar constantemente sus baterías, para ello es preciso reconocer cuáles son los tipos de carga y los modos de carga que existen para cada tipo o modelo del vehículo, lo cual varía considerando las características de cada auto en relación con la batería o conectores que utilizan. En cuanto a los modos de carga para los vehículos eléctricos, se reconocen cuatro (ver Tabla 2.2 y Figura 2.1), los cuales se diferencian de acuerdo con el tipo de conector que utilizan, el tiempo de recarga, el nivel de comunicación entre la infraestructura de recarga y el vehículo eléctrico [12].

Tabla 2.2. *Modos de carga*

Características	Modos de carga			
	1	2	3	4
Opera con voltaje alterno AC o continuo DC	AC	AC	AC	DC
Conectores domésticos o tipo Schuko	SÍ	SÍ	NO	NO
Conectores tipo Mennekes, SAE, Wallbox o scame	NO	NO	SÍ	NO
Conectores tipo CCS o CHAdeMO	NO	NO	NO	SÍ
Comunicación entre la infraestructura de carga y vehículo	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Carga lenta	SÍ	SÍ	NO	NO
Carga semi rápida	NO	NO	SÍ	NO
Carga rápida	NO	NO	NO	SÍ

Fuente: [12]

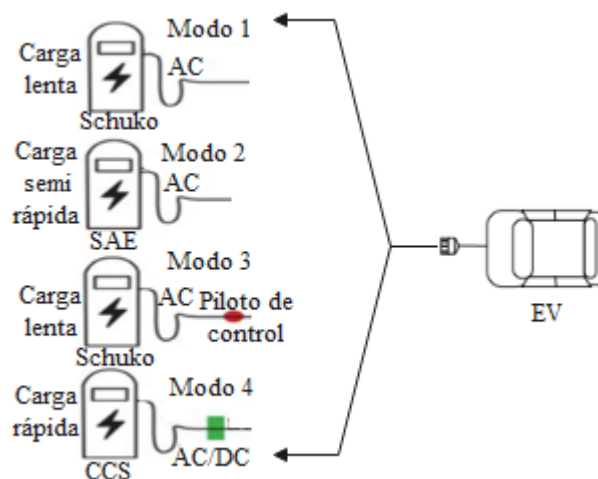


Figura 2.1. Modos de carga

Fuente: [45]

Con relación a los tipos de carga, estas pueden ser vinculada o lenta, la cual es de las más utilizadas por la sencillez y comodidad, pues consiste en conectar el auto a cualquier enchufe doméstico (Conector Schuko) en el cual se genera una carga con

corriente alterna monofásica (Tabla 2.3). Por su parte, la recarga media o semi rápida se realiza mediante corriente monofásica o alterna trifásica; no obstante, es poco utilizada por los particulares, ya que representa una alternativa que es usada generalmente en los puntos de recarga públicos [46]. Finalmente, las cargas rápidas son las utilizadas en las electrolineras, pues exigen de una instalación más compleja debido a la corriente continua de hasta 600 V.

Tabla 2.3. *Tipos de carga*

Carga	Tiempo	Suministro	Potencia	Voltaje	Corriente
Lento	14 horas	1 fase AC	2.2 [kW]	220 [V]	10 [A]
Lento	9 horas	1 fase AC	3.5 [kW]	220 [V]	16 [A]
Medio	4 horas	1 fase AC	7.0 [kW]	220 [V]	32 [A]
Medio	1.5 horas	3 fase AC	21 [kW]	380 [V]	32 [A]
Rápido	45 minutos	3 fase AC	42 [kW]	380 [V]	63 [A]
Rápido	40 minutos	DC	50 [kW]	400 - 500 [V]	125 [A]

Fuente [46]

En este orden de ideas, actualmente en Ecuador se reconocen algunos tipos de carga que están disponibles a lo largo del territorio nacional, tal como se observa en la Figura 2.2.

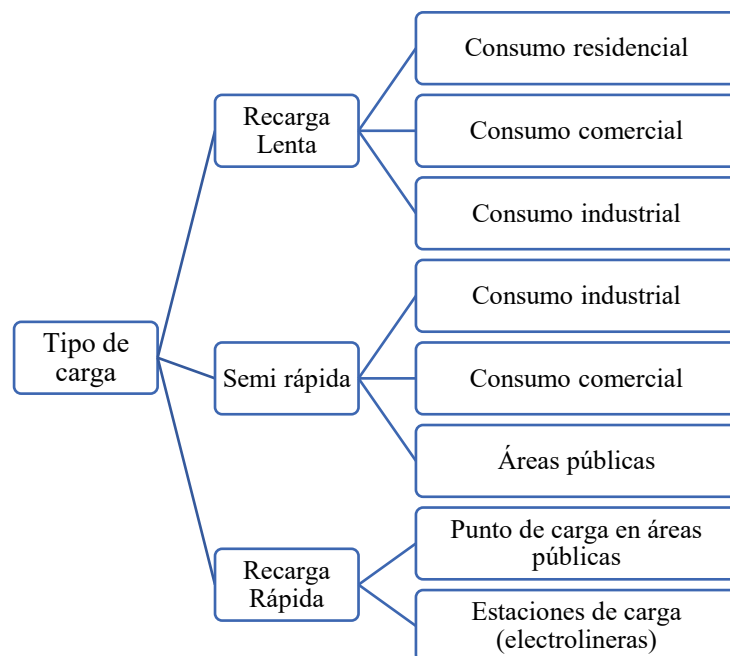


Figura 2.2. Tipos de recarga en Ecuador

Fuente: [43]

2.3 POTENCIA REQUERIDA PARA TRANSFORMADORES DE ELECTROLINERAS

Las electrolineras (estaciones de carga) manejan diferentes niveles de potencias de acuerdo con las características del cargador que, generalmente distingue tres niveles: menor a 1.92 [kW], mayor a 20 [kW] y un rango intermedio entre los dos valores de potencia mencionados anteriormente. Adicional, existen dos tipos de estructuras de cargadores externos utilizados, los de aislamiento en baja y alta frecuencia [47].

En este orden de ideas, para las estaciones de carga rápida se sugiere el manejo de niveles de potencia elevados de 50 a 400 [kW] con tensiones entre 200 y 600 [V]. De manera que, “los altos niveles de potencia que estas estaciones son capaces de manejar y en consecuencia la cantidad de energía que se concentra en los mismos, aspectos como la eficiencia, densidad de potencia y costos, son los principales factores que impulsan el desarrollo de esta tecnología” [47].

2.4 SISTEMAS DE CONTROL REQUERIDOS PARA CADA ELECTROLINERA

De acuerdo con las características de las electrolineras se establecen un conjunto de parámetros en virtud de atender a los controles que exige en centro de carga. Este tipo de sistemas se implementan para evitar problemas que se pueden derivar del incremento de corriente y caídas de voltaje con el fin de asegurar la carga y garantizar el buen estado no sólo del vehículo sino de la electrolinera [43].

Actualmente, existen una serie de parámetros internacionales para las estaciones de carga, entre ellos una serie de funciones de seguridad obligatoria que forman parte del sistema de control como la protección contra sobrecorrientes en el circuito de alimentación [43]. Además, el sistema de puesta a tierra se debe diseñar acorde al estándar IEEE80-2013 cuya resistencia no debe superar los 5 [Ω] en los equipos electrónicos de alta sensibilidad [48].

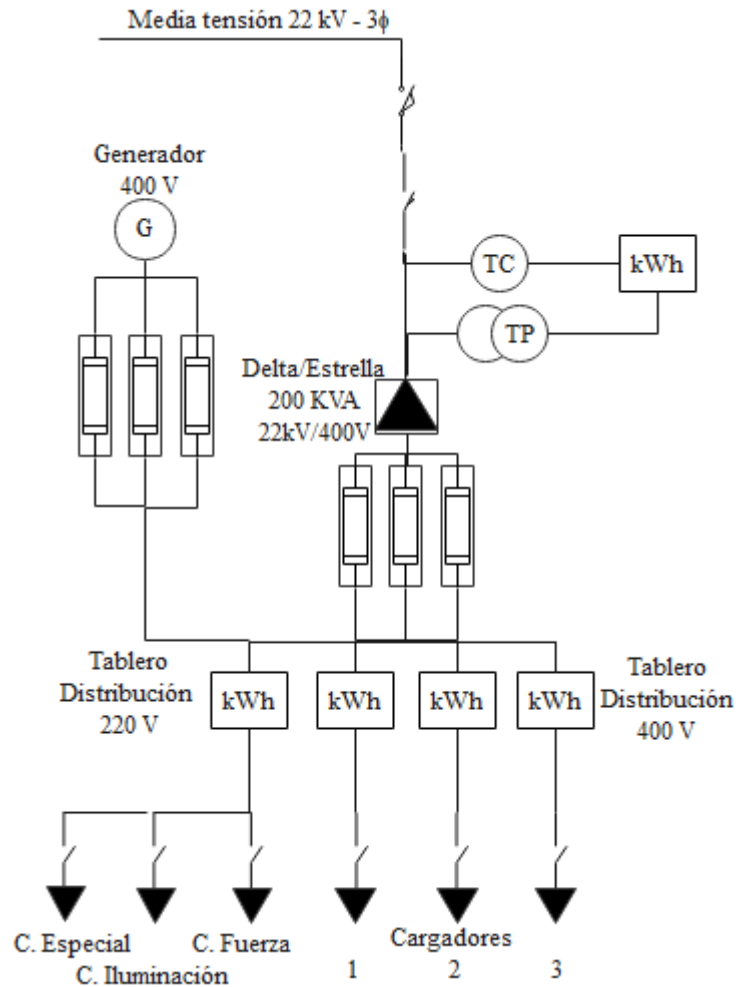


Figura 2.3. Protección del sistema de control para el centro de transformación

Fuente: Autor

2.5 INSTALACIONES FÍSICAS DE LA ELECTROLINERA

La norma IEEE Std 2030.1.1-2015 establece una configuración para una estación de carga rápida que incluye algunos rectificadores AC/DC, inversores DC/AC, transformadores de aislamiento, equipos de medición y control, protecciones contra sobre corrientes, diodo para evitar el retorno de la corriente, fuentes aisladas de corriente continua DC, entre otros parámetros vistos en la Figura 2.4 [49].

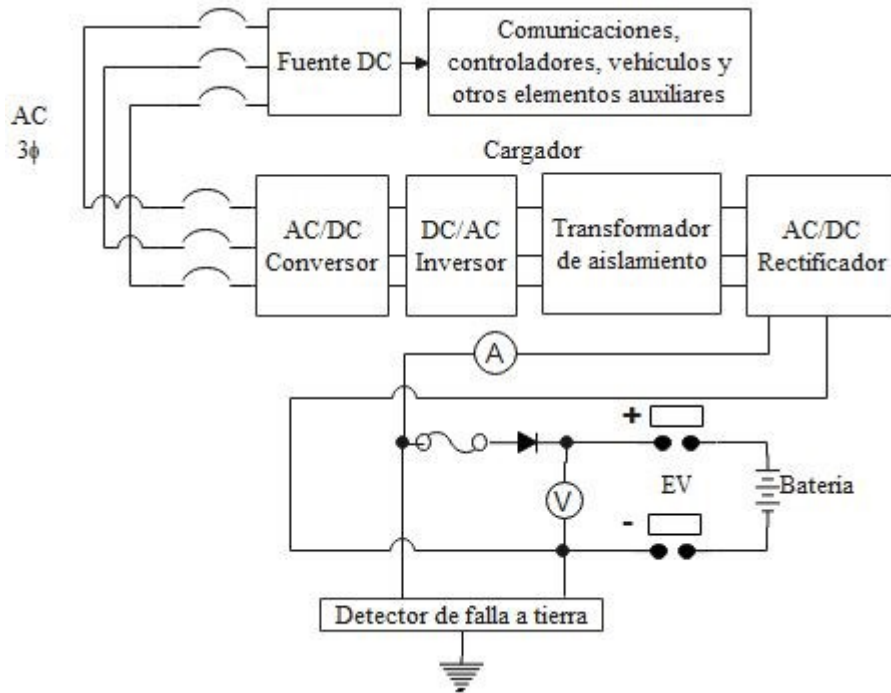


Figura 2.4. Estación de carga rápida

Fuente: [49]

En este sentido es preciso entender que en la generación de energía eléctrica los alternadores AC cumplen un papel fundamental debido a que en este proceso se transfiere a cargas que requieren suministro alterno (AC) o continuo (DC) [49].

2.5.1 Convertidor AC/DC

Disponiendo de sistemas en AC es posible alimentar cargas DC gracias al uso de los convertidores o rectificadores AC/DC [50]. En la Figura 2.5 se observa dos conversores AC/DC, uno de voltaje constante y otros variable. El sistema consiste en hacer pasar una corriente alterna a través de un puente rectificador de diodos a fin de obtener un voltaje variable de señal positiva. Luego, se colocan capacitores C1, C4 y C5 para disminuir el rizado de voltaje haciendo que tenga una salida de voltaje DC. Por último, utiliza dos reguladores de voltaje ya sea uno fijo o variable con el uso de resistencias, similar a la de un divisor de voltaje.

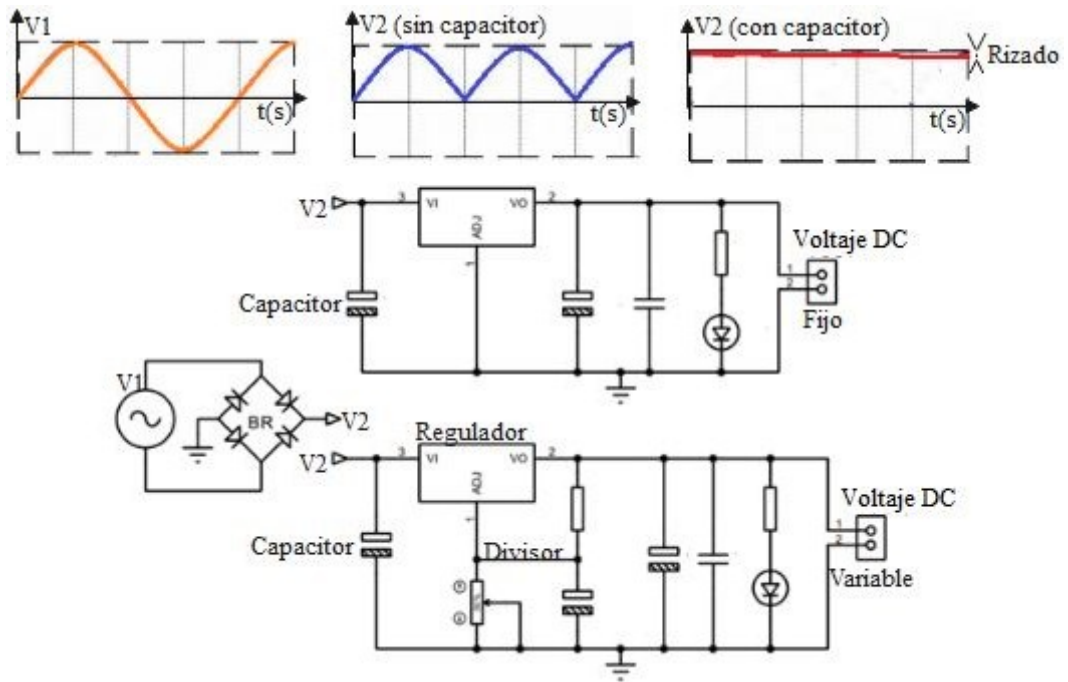


Figura 2.5. Convertidor AC/DC

Fuente: Autor

2.5.2 Inversor DC/AC

En estos casos el inversor de potencia transforma una tensión de valor constante de entrada en una tensión alterna de salida de amplitud y frecuencia ajustable. Generalmente, se utilizan para alimentar los dispositivos eléctricos que funcionan en corriente alterna cuya forma de onda puede ser de tipo cuadrada, sinusoidal modificada y sinusoidal pura [12].

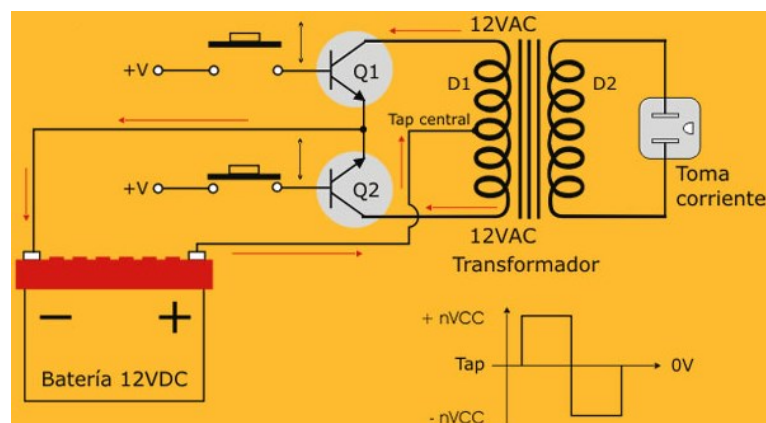


Figura 2.6. Convertidor DC/AC

Fuente: [51]

CAPÍTULO 3

NORMATIVAS Y MÉTODOS

Este esquema capitular comprende la investigación de normativas internacionales referente a las electrolinerías para la recarga de los vehículos eléctricos. Además, se detallan cinco métodos enfocados a determinar ubicaciones idóneas de las estaciones de recarga.

3.1 NORMATIVAS PARA PUNTOS DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

3.1.1 Instrucción técnica complementaria ITC-BT-52

La normativa ITC-BT-52 es de origen español aplicado en la instalación de infraestructura para la recarga de vehículos EV en estacionamientos privados como los de viviendas residenciales unifamiliares, empresas y en edificios. También puede situarse en estacionamientos públicos o vías de dominio público siempre y cuando sean destinados para la circulación vehicular eléctrica en zonas urbanas. Por tanto, no se aplican para recargas por inducción o cuando existe desprendimiento de gases en las baterías durante el proceso de carga [52].

3.1.1.1 Esquemas de instalación

La instalación nueva o modificación de la existente para las estaciones de carga alimentadas mediante la red de distribución de energía eléctrica se realizan de la siguiente manera [52]:

- En la Figura 3.1 se presenta una instalación grupal que cuenta con un medidor principal al principio de la instalación, luego se predispone de medidores secundarios, uno por cada vehículo EV. En este esquema se toma en cuenta que por cada circuito de recarga van dos estaciones de carga. Sin embargo, se puede adicionar mediante una caja de derivación D y un tablero armario para instalación de interiores a las viviendas. De esta manera, dispone del espacio suficiente para la colocación de los medidores y filtros de los sistemas de recarga EV. Por último, las cajas de derivación (A, B, C, D) se instalan en la columna o pared como mínimo a una altura de 1.8 metros al nivel del suelo de garaje y, además, pueden instalarse

interruptores automáticos como protección en las derivaciones contra cortocircuitos.

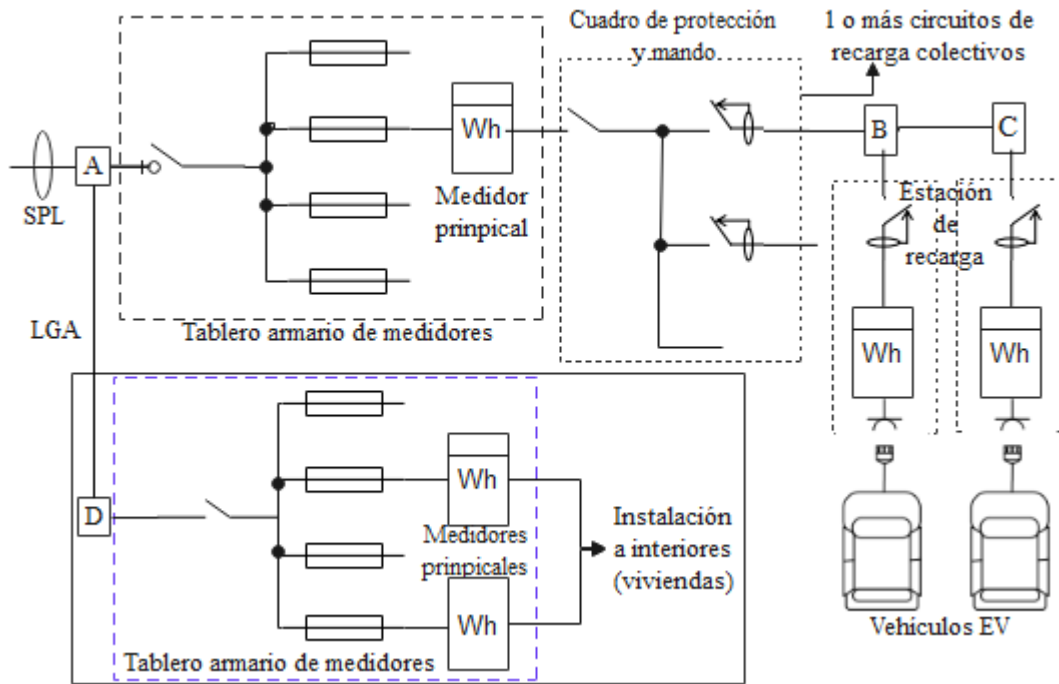


Figura 3.1. Modo 1 - Instalación grupal de recargas EV e interiores a viviendas

Fuente: Autor

- Se tiene una segunda forma de conexión (ver Figura 3.2) entre el medidor principal y las estaciones de carga, donde cada vehículo EV se conecta a un circuito de recarga de forma individual y por medio de la derivación D se puede conectar el resto de los circuitos de la instalación ya sea de interiores tal como se observó en el Modo 1.

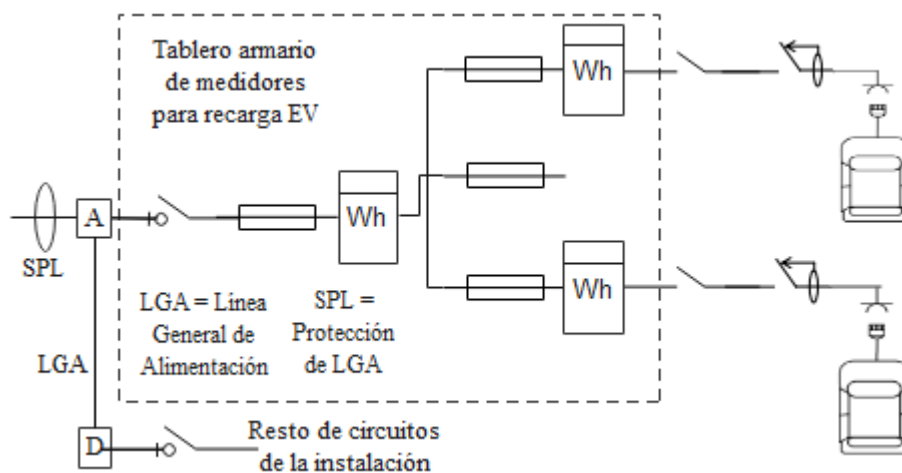


Figura 3.2. Modo 2 - Instalación individual de recargas EV y otros circuitos

Fuente: Autor

- Finalmente, se puede tener una tercera forma de conexión compartiendo tanto la instalación interior de la vivienda y el circuito de recarga individual, tal como se presenta en la Figura 3.3. Cabe mencionar que se puede utilizar o no un medidor secundario en cada estación de carga.

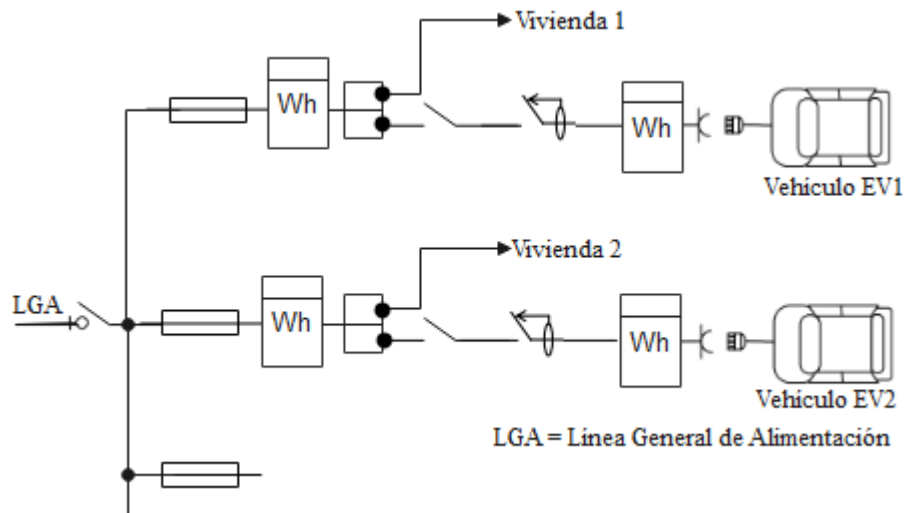


Figura 3.3. Modo 3 - Instalación individual de recargas EV compartida con la vivienda

Fuente: Autor

Anteriormente se ha mencionado que las instalaciones se aplican tanto para estaciones de recarga como para viviendas; así mismo, se aplican en las siguientes aplicaciones tales como: departamentos residenciales, vía pública, estacionamientos de empresas privadas o públicas, etc. La alimentación LGA puede ser monofásica o trifásica con potencias entre 2.3 a 27.713 [kW], tal como se muestra en la Tabla 3.1. Cabe mencionar que, si se instalan estaciones de recarga monofásicas en una red de alimentación trifásica, se debe tomar en cuenta el equilibrio de las fases [52].

Tabla 3.1. Potencias instaladas normalizadas en circuitos de recarga para viviendas unifamiliar

Voltaje nominal	Interrupción automática al inicio del circuito	Potencia instalada	Estaciones de recarga por circuito
230 [V]	10, 16 [A]	2.30, 3.68 [kW]	1
	20, 32 [A]	4.60, 7.36 [kW]	1
	40 [A]	9.20 [kW]	1
230/400 [V]	16 [A]	11.09 [kW]	1 – 3
	20 [A]	13.86 [kW]	1 – 4
	32 [A]	22.17 [kW]	1 – 6
	40 [A]	27.71 [kW]	1 – 8
	50 [A]	34.64 [kW]	1 – 9

Fuente: [52]

En caso de que se utilicen estaciones de recarga en talleres, concesionarios de vehículos, depósitos o cualquier otro lugar dedicado a la recarga vehicular se recomienda utilizar el modos de carga 3.

3.1.1.2 Puntos de conexión

El punto de conexión se instalada de forma fija en la envolvente junto al lugar a alimentar, donde los conectores y tomas de corriente deben situarse a 0.6 metros del suelo. Ante ello, las estaciones de recarga se instalan a cierta altura mencionada a continuación [52]:

- 1.2 metros máximo para uso público.
- 0.7 a 1.2 metros en lugares destinados a personas con movilidad reducida.
- Los tomas de corriente de la estación de recarga debe estar a una altura mínima de 1.5 metros, a excepción de la movilidad reducida que es a una altura de 1 metro. Estas tomas de corriente establecen bajo la norma UNE-EN 62196-2 y 3.

Por último, se establece los posibles puntos de conexión en función de la ubicación como las viviendas VU, edificios ER, otras instalaciones OI, tipo de alimentación y modos de carga, visto en la Tabla 3.2 [52].

Tabla 3.2. *Puntos de conexión en función de la ubicación*

Estación de recarga	Toma corriente	Intensidad	Interruptor automático	Ubicación posible			Modo de carga
				VU	ER	OI	
Monofásica	UNE 20315-1-2	-	10 [A]	Sí	Sí	No	1 o 2
	UNE 20315-2-11	-	10 [A]	Sí	Sí	No	1 o 2
	UNE-EN 62196-2	16 [A]	-	Sí	Sí	Sí	3
	UNE-EN 62196-2	32 [A]	-	Sí	Sí	Sí	3
Trifásica	UNE-EN 62196-2	16 [A]	-	Sí	Sí	Sí	3
	UNE-EN 62196-2	32 [A]	-	Sí	Sí	Sí	3
	UNE-EN 62196-2	63 [A]	-	No	No	Sí	3

Fuente: [52]

3.1.2 Norma técnica EPM RA8-031

La Empresa EPM establece la instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos bajo la normativa RA8-031. Además, sigue los lineamientos de los cargadores de baterías de los modos de carga 3 y 4 establecidos en la normativa IEC

61851-1 y otras instalaciones de recarga bajo el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, artículo 20.7, Norma Técnica Colombiana NTC 2050 y varios documentos de las normas EPM. Por consiguiente, las estaciones de carga lenta se aplican en sectores privados (residencial) o públicos; en cambio la carga semi rápida puede ubicarse en sectores públicos al igual que la carga rápida, salvo que ésta se instala en gasolineras [53].

3.1.2.1 Instalación de estaciones de carga

Las estaciones que dependen del tipo de carga poseen diferentes maneras de llevar a cabo una instalación existente o nueva, detallado a continuación [53]:

- En la Figura 3.1.a) se presenta una instalación de la estación de carga lenta aplicado en el parqueadero de la vivienda unifamiliar para vehículos EV que utilizan conectores Schuko.

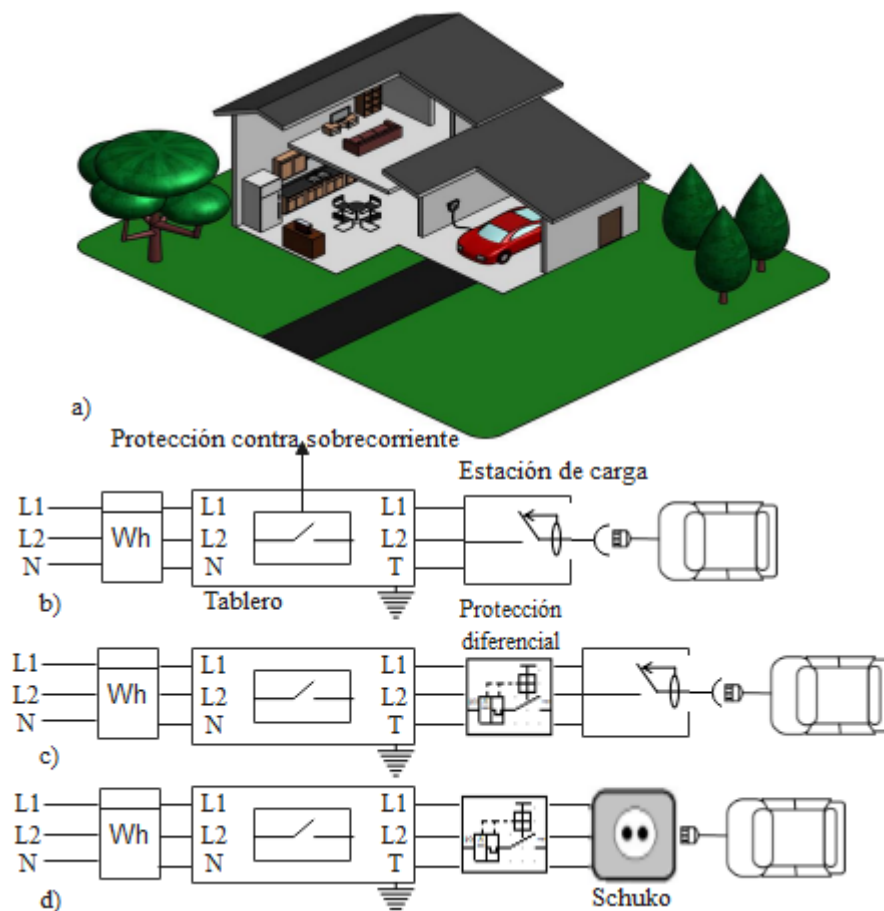


Figura 3.4. Estación de carga lenta a) vivienda unifamiliar, b) protección contra sobre corriente, c) protección diferencial y d) con conector Schuko

Fuente: Autor

Por tanto, en las Figuras 3.1.b) y c) pueden emplearse protecciones contra sobrecorrientes y diferenciales antes de ser conectados a la estación de carga. Sin embargo, las estaciones pueden ser reemplazadas por conectores Schuko, tal como se muestra en la Figura 3.1.d).

- Otra aplicación del empleo de carga lenta se centra en los parqueaderos en edificios, urbanizaciones o conjuntos residenciales. Sin embargo, también puede instalarse en los sectores comerciales e industriales, torres médicas, entre otros. Como el parqueadero está situado en otro nivel de la propiedad (ver Figura 3.5.a), la alimentación no puede ser conectada desde el tablero de circuitos (ver Figura 3.5.b).

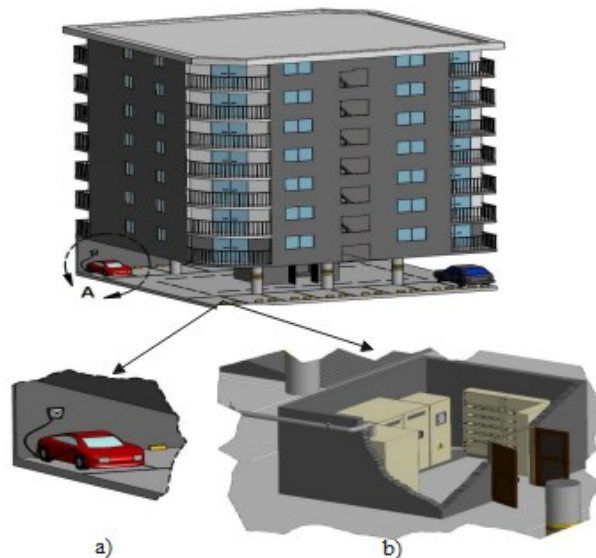


Figura 3.5. Estación de carga lenta en el a) parqueadero del edificio y b) con un cuarto técnico centralizado

Fuente: Autor

- En caso de que la estación de carga EV no pueda añadirse al tablero de medidores existente del edificio, se realiza una derivación desde el barraje principal sin/con desconexión de la acometida de la vivienda y protecciones visto en la Figura 3.6.

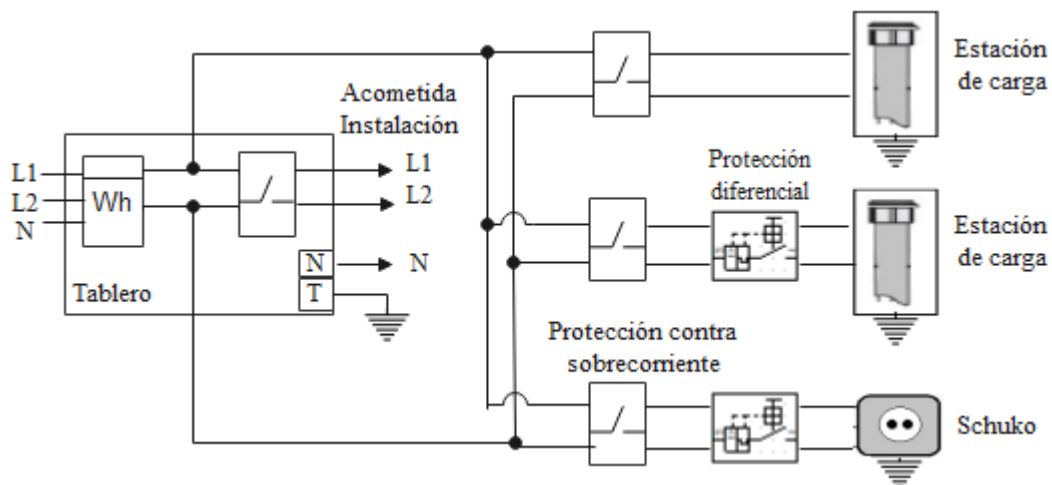


Figura 3.6. Modos de conexión de la estación de carga lenta en el edificio

Fuente: Autor

Otra opción de aplicación es que puede tener una instalación compartida, donde se aloja la protección de la vivienda y del vehículo EV, tal como se muestra en la Figura 3.7.

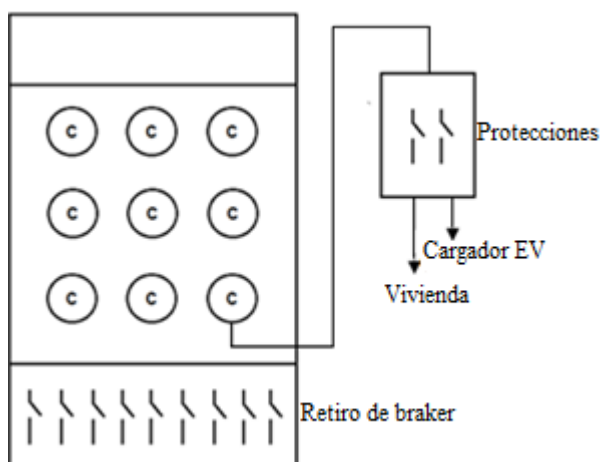


Figura 3.7. Conexión de la estación de carga con derivación desde el tablero

Fuente: [53]

- Cuando se trata de nuevas instalaciones, la implementación de las estaciones de carga lenta son exactamente iguales a lo mencionado en las Figuras 3.1 y 3.3 de la Norma ITC-BT-52 (ver Apartado 3.1.2.1).
- Por consiguiente, se tiene las estaciones de carga semi rápida o rápida con alimentación alterna o continuo, vistos en las Figuras 3.8.a) y 3.8.b). Estas se ubican en zonas públicas como centros comerciales, parqueaderos o estaciones de servicio.

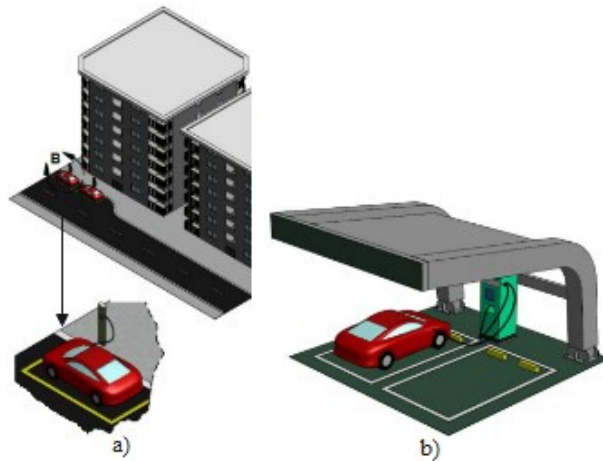


Figura 3.8. Instalaciones de carga pública a) semi rápida y b) rápida

Fuente: Autor

3.1.2.2 Puntos de conexión

A continuación, se delimita la instalación de los puntos de conexión de las estaciones de carga [53]:

- Por cada punto de conexión se emplea un interruptor diferencial con una corriente residual no mayor a los 30 [mA].
- Se coloca interruptores automáticos con una corriente de ruptura mayor a los 10 [kA].
- Se realiza el montaje en pared entre 0.6 a 1.2 metros sobre el nivel del suelo en estaciones de carga lenta y semi rápida.
- El tablero de protecciones se instala entre una altura de 0.6 a 1.8 metros sobre el nivel del suelo.

3.1.3 Norma RIC N15

El pliego técnico normativo RIC N15 se dedica a la infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos, el cual establece los requisitos de seguridad que deben cumplir las instalaciones del consumo energético en lugares públicos y privados del país, tales como viviendas individuales, conjuntos y edificios residenciales, oficinas, locales comerciales e industriales, estacionamientos públicos, vías de tránsito, entre otros [54].

3.1.3.1 Instalaciones públicas y privadas de recarga

A continuación, se detallan los diversos tipos de instalación para las estaciones de recarga de vehículos EV [54]:

- Normalmente, las instalaciones individuales se consideran de uso privado y público para la recarga de vehículos eléctricos en domicilios, oficinas, concesionarios, talleres bajo los modos de carga 2, 3 o 4 junto con los respectivos conectores tipo 1, 2, EE, entre otros. El modo de carga 2 puede ser conectado con alimentación monofásica o trifásica, tal como se menciona en las Figuras 3.9.a) y b); respectivamente. Además, cuentan con protecciones bipolares o tetrapolares, diferenciales tipo A de 30 [mA], puntos de carga simple con un cable de viaje (10 [A] máximo) o industrial (10, 16 o 32 [A]).

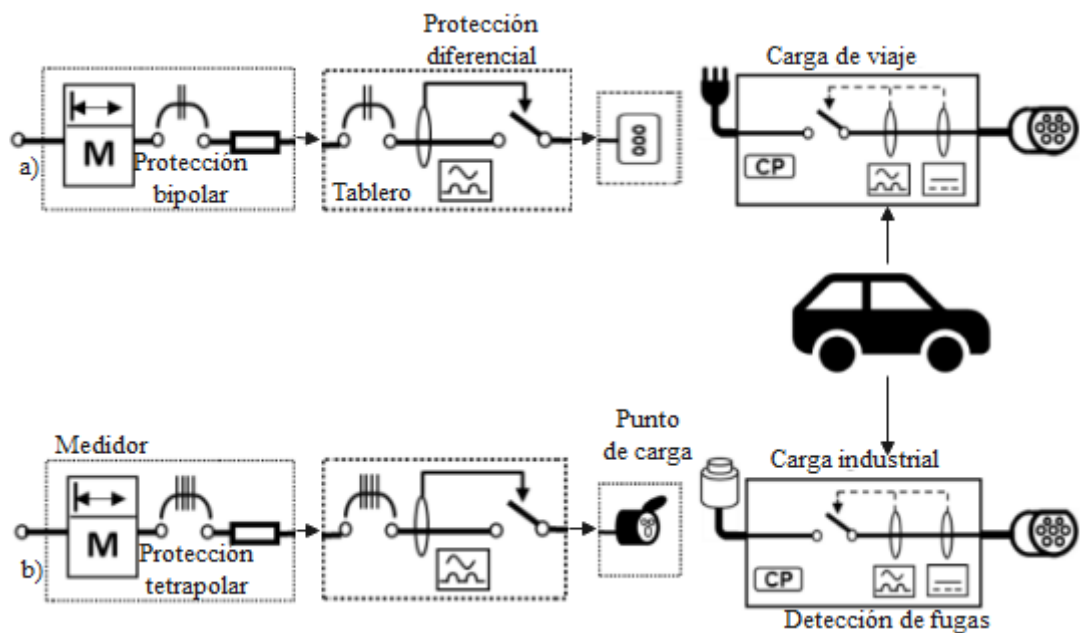


Figura 3.9. Instalaciones individuales con modo de carga 2

Fuente: Autor

Cuando se utiliza el modo de carga 3, contiene protecciones diferenciales tipo A o B de 300 y 30 [mA]; respectivamente y protecciones tetrapolares. Lo mismo ocurre con el modo de carga 4, salvo que se adiciona un conversor AC/DC para la alimentación de recarga continua, tal como se muestra en la Figura 3.10.

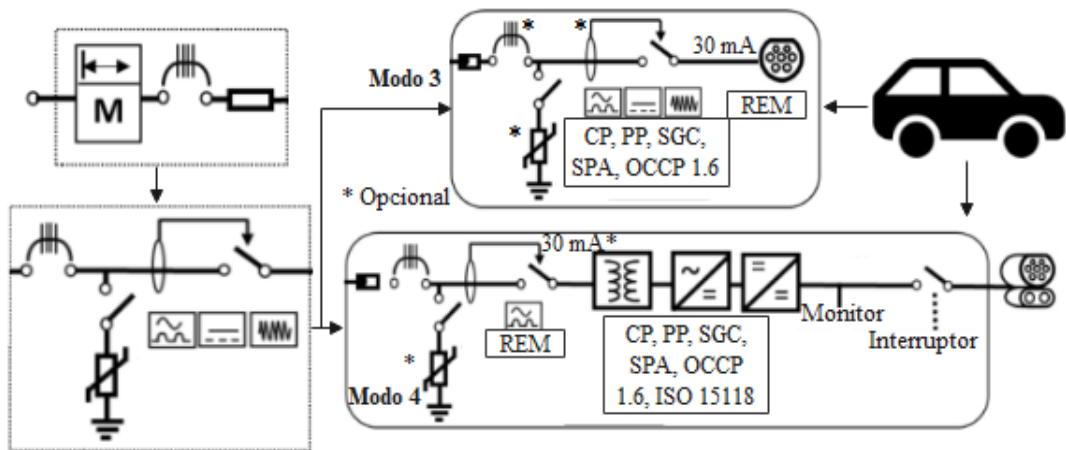


Figura 3.10. Instalaciones individuales con modos de carga 3 y 4

Fuente: Autor

Por último, en los modos de carga 3 y 4 se adiciona el sistema SAVE, el cual posee una función CP y de proximidad PP. También, utiliza un control SGC y operar con un sistema de protección de acometida que es obligatorio en edificios. En caso de que sea autoservicios y electrolinerías se emplea el OCCP 1.6; si no se utiliza cables se adiciona una protección REM.

- Los puntos de carga en los conjuntos o edificios residenciales que ya están preparados para la electromovilidad deben cumplir los siguientes requisitos:
 - Se debe considerar todas las cargas instaladas en el edificio incluyendo los puntos de carga y aplicando los factores simultaneidad para obtener una potencia mínima del 30% en los parqueaderos individuales y considerando un SAVE de 7 [kW] por piso.
 - En la Figura 3.11.a) y b) se visualiza el conducto vertical de alimentadores del edificio cuando posea un sistema de empalmes distribuidos o mixtos y concentrados; respectivamente, este último se debe considerar un sistema SAVE de 7 [kW] por parqueadero.

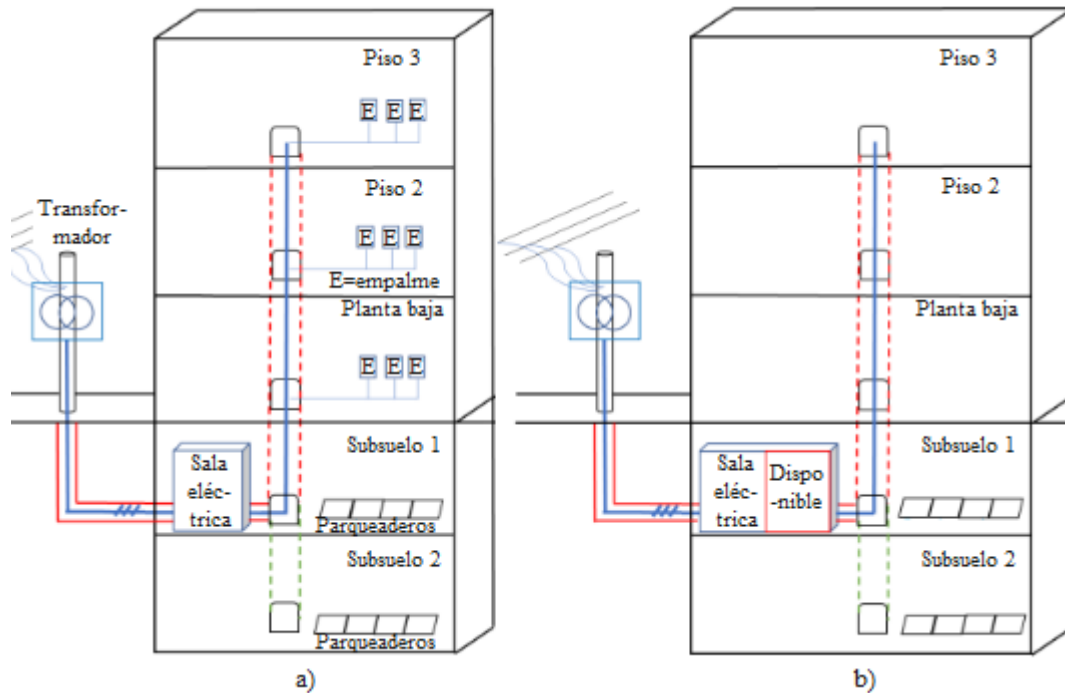


Figura 3.11. Edificio con empalmes a) distribuidos y b) concentrados

Fuente: Autor

- La recarga de vehículos EV se realiza con instalaciones bajo los modos 2, 3 o 4 vistos en las Figuras 3.9 y 3.10.
- Las estaciones de carga para autoservicio se instalan en la vía pública o bienes nacionales de uso público cuando el conector presenta una salida mínima de 22 [kW]; caso contrario, se debe presentar una justificación y autorización del propietario a la Superintendencia previo a la instalación. Por consiguiente, los vehículos pueden cargarse bajo los modos 3 o 4 y contar con una señalética visible a una altura entre 1.8 a 2 metros sobre la parte más alta de la calzada.
- La instalación de las electrolineras ocupan las mismas condiciones de las estaciones de carga para autoservicio, salvo que, en esta ocasión es estricto la potencia mínima del conector.
- Las electro terminales y sitios de carga para transporte público deben ser de una potencia mayor a 1 [MW] y abastecido por dos transformadores como mínimo. Además, lo puede ocupar tanto vehículos como buses eléctricos ya sea con los modos de carga 3 o 4.

3.1.3.2 Montaje y disposición de equipos

A continuación, se detallan ciertos requisitos en la instalación de los equipos de estaciones de recarga [54]:

- El sistema de iluminación debe poseer una iluminación horizontal mínima de 20 y 50 luxes en estaciones de recarga para exteriores e interiores; respectivamente.
- Todo sistema SAVE debe ser instalado entre 10 centímetros y 5 metros para evitar riesgos por inundación y puntos de conexión de entrada de los vehículos EV. En cambio, los conectores SAVE que son montados en la pared deben estar situados entre 1 y 1.3 metros de altura con respecto al nivel del suelo, tal como se muestra en la Figura 3.12.a). En cambio, cuando los conectores SAVE están fijados como estación deben estar a una altura entre 0.6 y 1.3 metros, visto en la Figura 3.12.b).

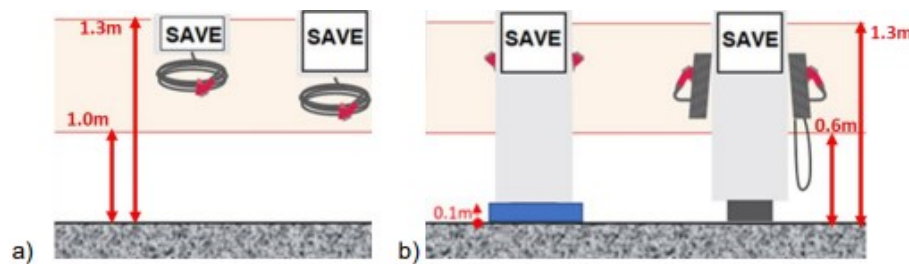


Figura 3.12. Puntos de conexión SAVE a) instalados en pared y b) en estación

Fuente: [54]

- Los sistemas SAVE montados en el exterior debe tener un grado de protección IP54 y una resistencia mecánica de IK08. Sin embargo, si la aplicación se orienta a las viviendas o edificios debe tener como mínimo una protección IP44 en exteriores o interiores.
- Si se utiliza el modo de carga 4, la extensión de los cables desde los conectores hacia el vehículo EV debe ser entre 3 a 7.5 metros y tener una sección superior a los 2.5 [mm²]. A excepción de las electro terminales o estaciones de carga para transporte público que tienen una longitud de 10 metros u otro valor dependiendo del fabricante.

3.1.4 Resumen comparativo de normativas mencionadas

En la Tabla 3.3 se detalla la comparación del uso de normativas ITC-BT-52, EPM RA8-031 y RIC N15 con respecto a los sitios de recarga vehicular eléctrica y modos de carga.

Tabla 3.3. *Ubicación de estaciones de recarga*

Ubicaciones	Modos de carga (1, 2, 3 y 4)		
	ITC-BT-52	EPM RA8-031	RIC N15
Bienes públicos (calles, plazas, puentes y caminos)	-	-	3, 4
Centros comerciales	-	3	2, 3, 4
Edificios residenciales	1, 2, 3	1, 2	2, 3, 4
Empresas	3	-	-
Estaciones para transporte público	-	-	3, 4
Gasolineras	-	4	-
Hospitales	-	1, 2	-
Oficinas	-	-	2, 3, 4
Parqueaderos públicos	3	-	2, 3, 4
Urbanizaciones o conjuntos residenciales	-	1, 2	2, 3, 4
Talleres o concesionarios	3	-	2, 3, 4
Vías públicas urbanas (autoservicio)	3	-	3, 4
Viviendas unifamiliares	1, 2, 3	1, 2	2, 3, 4
Zonas industriales	-	1, 2	-

Fuente: Autor

El análisis se basa en la carga rápida de una electrolinera, la cual puede ser ubicada en las gasolineras como lo menciona la normativa colombiana EPM RA8-031. Sin embargo, también se puede colocar en concesionarios o talleres tal como lo menciona la normativa chilena RIC N15.

3.2 MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN

Existen diversos métodos enfocados a la obtención de localización adecuada de las estaciones de carga para los vehículos eléctricos, ante algunos problemas que puedan suscitarse como el tráfico vehicular, tiempo de espera y demanda de carga vehicular [55]. Ante ello, se plantean diversos métodos como el algoritmo genético, modelo de tráfico, optimización por colonia de hormigas, algoritmo de búsqueda directa secuencial y el método espacial.

3.2.1 Modelo de tráfico

Por lo general, las ciudades se enfrentan a problemas causados por el tráfico vehicular debido al incremento de vehículos en circulación. Con el paso del tiempo se llega al congestionamiento, exceso de ruido, incremento de accidentes viales, contaminación del medio ambiente por el uso de vehículos livianos y pesados de combustión, entre

otros. Por ello, surge la importancia de buscar patrones de flujo vehicular sobre cierta ciudad a fin de solventar el problema de tráfico vehicular [56].

El método de tráfico consiste en ubicar en lugares estratégicos dentro de un conjunto de rutas, permitiendo la recarga a los vehículos EV antes de que se descargue completamente las baterías y disminuir el tiempo de espera para la recarga. Por consiguiente, se define un modelo de movilidad urbana e implementar en algún software algunas variables, tales como: el objetivo de optimización, las restricciones y variables de control. Existen algunos softwares dedicados a este tipo de procesos como los programas comerciales Arena y OptQuest, mediante los cuales se ingresan las variables mencionadas y realiza la optimización a través de probabilidades, con el propósito de obtener el valor más alto de estaciones activas o libres en la capacidad de cargar más de un vehículo al mismo tiempo [57].

3.2.2 Optimización por colonia de hormigas

El algoritmo por colonia de hormigas es un método de optimización metaheurístico, estocástico o probabilístico que como su nombre lo indica, emplea el comportamiento de las hormigas para explorar de manera aleatoria y encontrar cualquier tipo de alimento. Una vez logrado ese objetivo, regresan al nido y durante el regreso van botando feromonas a fin de facilitar el camino al resto de las hormigas e ir hacia la misma fuente de alimento. Sin embargo, como todas las hormigas botan feromonas; estas seguirán a la que mayor cantidad de feromonas tengan, es decir, siguiendo el camino más corto. Por consiguiente, se genera iteraciones mediante hormigas artificiales para brindar una solución idónea del problema a resolver, donde se colocan nodos que representan las posibles opciones de camino que podrá elegir la hormiga, tal como se indica en la Figura 3.14 [58].

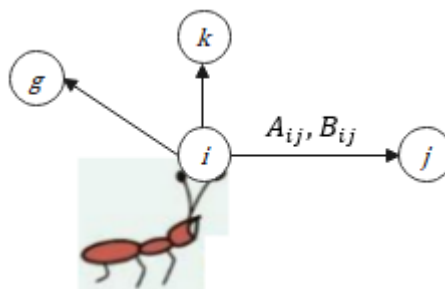


Figura 3.13. Hormigas artificiales

Fuente: Autor

Ante ello, se emplea la Ecuación 3.1 para calcular la probabilidad, donde A_{ij} es el rastro de feromonas que va desde el nodo i hasta el j , B_{ij} es el inverso de la distancia que existe entre los nodos mencionados anteriormente, N_i^k representa el conjunto de nodos aún no visitados por la hormiga k . Luego, se introduce el parámetro $\alpha \in [0,1]$ que determina la influencia relativa de rastro de las feromonas y $\beta > 0$ que representa la información proporcionada por una hormiga diferente en el tiempo de ejecución. Una vez creada la posible solución, es necesario que el algoritmo olvide las malas decisiones y efectúe el depósito de feromonas de la distancia recorrida [58].

$$P_{ij}^k = \frac{[A_{ij}]^\alpha [B_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [A_{il}]^\alpha [B_{il}]^\beta} \quad \text{Si } j \in N_i^k \quad (3.1)$$

Por lo tanto, se colocan las estaciones de recarga en lugares de alto congestionamiento vehicular y se desarrolla el algoritmo por colonia de hormigas para encontrar lugares adecuados a las estaciones mencionadas.

3.2.3 Optimización por enjambre de partículas PSO

El algoritmo metaheurístico PSO se orienta a la resolución de problemas de optimización; aunque, por lo general, se emplea en espacios de búsqueda dimensionales. El método consiste en buscar polen en una región ubicada en el espacio, el cual mediante probabilidades se determina su máximo valor [59]. En la Figura 3.14 se observa como una partícula presenta una posición $\vec{p}(x,y)$ y una velocidad $\vec{v}(x,y)$ que determina el movimiento en el espacio. Además, se conoce que cada partícula posee una cantidad de inercia (mantener la misma dirección de movimiento) y una aceleración que es atraída hacia la mejor ubicación encontrada en su historia o en el espacio de búsqueda [60].

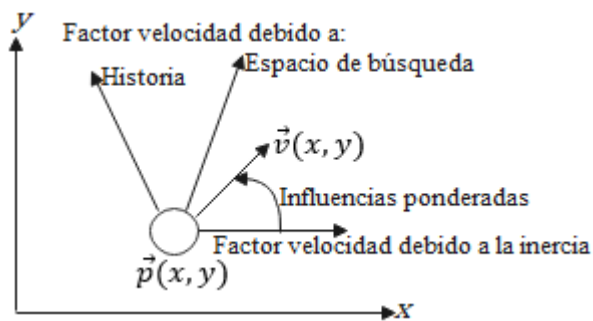


Figura 3.14. Algoritmo PSO

Fuente: Autor

Este método se aplica en función de las entradas de datos como el número de viajes dentro de la ciudad de Cuenca en diferentes sectores y la ubicación de electrolinerías para aplicar el algoritmo PSO y minimizar la función de costo en base a la distancia, a fin de encontrar los lugares adecuados de las estaciones mencionadas.

3.2.4 Algoritmo genético

Los algoritmos genéticos son métodos probabilísticos que a partir de un conjunto de posibles soluciones realizan una búsqueda guiada con la cual va evolucionando ante cada iteración o generación, donde la última propone la mejor de las soluciones posibles ante el problema de optimización. Ante ello, se debe definir el tipo de objeto (vector, lista, etc), los atributos, maximización o minimización de la optimización y el registro para crear individuos, población, operadores genéticos como el cruce y la mutación [61].

Se definen puntos de interés en la ciudad, donde se colocan las posibles estaciones de recarga y se establece la población (conjunto de estaciones a instalarse). Además, el conjunto de atributos establece el punto de interés, donde el objetivo es determinar una configuración óptima máxima o mínima de puntos de recarga en determinados lugares de la ciudad. La información requerida previo al desarrollo de este algoritmo consiste en detallar los puntos de interés, población y tráfico promedio vehicular por área, identificación de vías prioritarias, zonas prohibidas, entre otros [62].

3.2.5 Optimización binivel

La optimización binivel o de dos estados es un modelo con el cual se colocan objetivos, funciones y restricciones independientes en los niveles superior e inferior, es decir que cada nivel representa sus propios problemas de optimización. Sin embargo, el nivel superior contiene la información completa del nivel inferior; en cambio este último solo puede observar la decisión del líder y optimizar la estrategia. Por tanto, se consideran algunas ventajas sobre el uso de este modelo ante uno de un solo nivel, tales como: análisis de diferentes objetivos al mismo tiempo, el tener un multicriterio en la toma de decisiones refleja mejores soluciones y que puede representar la acción mutua entre dos situaciones [63]. Existen diversos planteamientos que pueden surgir a la hora de estudiar la presente problemática, que es la ubicación de estaciones de recarga; tal como se detalla en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. *Situaciones ante la problemática de estaciones de recarga*

#	Nivel Superior	Nivel Inferior	Interacción
1	Minimizar tiempos de recarga vehicular.	Maximizar tráfico vehicular.	El nivel inferior manda los perfiles de carga y tiempos de espera al nivel superior.
2	Minimizar costos en el tiempo de recarga.	Equilibrio de tráfico basado en rutas.	
3	Maximizar ganancias del propietario de la estación de carga.	Comportamiento de vehículos EV y demanda de energía para la carga.	Posee 3 estados de decisión ya sea por parte del propietario, demanda de energía y disponibilidad de recursos.

Fuente: [55]

3.2.6 Método espacial

El método espacial es un análisis que ayuda a la resolución de problemas enfocados en la localización de objetos a fin de buscar patrones, evaluarlos y realizar una toma de decisiones. En el análisis espacial se estudia algunas características de los lugares y relaciones entre ellos; todo esto se basa en la información de muchas fuentes aplicando operadores espaciales. Por tanto, este método realiza el análisis de imágenes para definir una mejor ubicación de cualquier objeto en particular o una mejor ruta, detectar y cuantificar patrones, realizar predicciones, entre otros [64]. Ante ello, se recurre a programas computacionales de geoprocésamiento como el ArcGIS® Pro, el cual está dedicada la extracción o superposición de datos, campos de atributos, puede utilizar aprendizaje de máquina e inteligencia artificial, entre otros.

CAPÍTULO 4

PLANIFICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ELECTROLINERAS DE CARGA RÁPIDA EN LA CIUDAD DE CUENCA

En el presente esquema capitular propone la utilización de una función de optimización PSO para determinar donde se puede cargar con más comodidad al vehículo EV en la electrolinera, distribuidos en diferentes sectores de la ciudad de Cuenca. Además, se plantea una relación costo beneficio de la implementación de las estaciones de carga rápida.

4.1 OPTIMIZACIÓN PSO APLICADO EN ELECTROLINERAS

La optimización PSO tiene como propósito colocar estaciones de carga rápida en distinta gasolineras de la ciudad de Cuenca. Para ello, se establecen los datos de entrada que se centran en la ubicación (latitud, longitud) de ciertos sectores y gasolineras. Luego, se implementa el algoritmo PSO para determinar electrolineras optimizadas en base a la función de costo.

4.1.1 Librerías para Python[®]

A continuación, se describen las librerías necesarias y aplicadas en el desarrollo del algoritmo PSO en Python[®] [65]:

- Pandas es una herramienta que ayuda al análisis y manipulación de datos de código abierto [66]; con ello permite leer los datos de entrada.
- PIL es una biblioteca que agrega una capacidad de procesamiento de imágenes [65], la cual se utiliza para cargar mapas bidimensionales, tal como se presenta en la Figura 4.1.

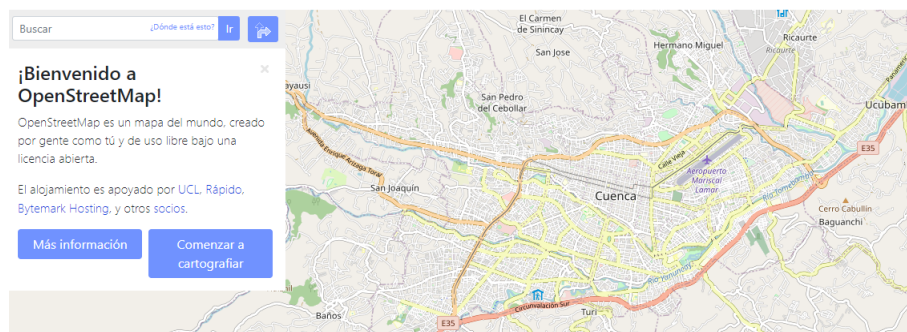


Figura 4.1. OpenStreetMap[®]

Fuente: [67]

- Xml de ElementTree: es un formato de datos para representar una clase con extensión XML [65], tal como se observa en el Anexo 1.
- Numpy define una clase de objetos o arrays, la cual representa una estructura de datos organizada en forma de tablas.
- Pickle es un módulo que utiliza protocolos binarios para serializar una estructura de objetos de Python[©].
- Random es una librería que proporciona valores numéricos entre 0 a 1.

4.1.2 Datos de entrada

Se definen algunos sectores de la ciudad que tuvieron aproximadamente 685 mil visitas en el año 2021 (Tabla 4.1) como el Centro Histórico, el Ejido, Aeropuerto, Yanucay, Feria Libre, Parque Industrial Patamarca, Paccha Rayoloma, Sayausi-Río Amarillo, Control Sur Borja, Camino Viejo a Baños, Norte Avenida de las Américas y otros.

Tabla 4.1. *Distribución de destinos en la ciudad de cuenca en el año 2021*

Sectores	Visitas	Latitud	Longitud	Sectores	Visitas	Latitud	Longitud
Centro histórico	25.9 %	-2.89642	-79.0035	Patamarca	2.0 %	-2.85404	-78.9856
El Ejido	13.8 %	-2.90244	-79.0084	Totoracocha	3.7 %	-2.86815	-78.9791
Av. América	4.9 %	-2.88332	-79.0030	Monay	3.3 %	-2.89897	-78.9754
Aeropuerto	4.4 %	-2.88989	-78.9875	C. Sur Borja	2.6 %	-2.92228	-79.0439
Cañaribamba	4.2 %	-2.90479	-78.9885	Sayausi	1.9 %	-2.8814	-79.0619
Pumapungo	2.8 %	-2.90892	-78.9906	Ricaurte	2.4 %	-2.86351	-78.9643
Yanucay	6.8 %	-2.91649	-79.0274	Capulispamba	1.2 %	-2.9169	-78.9949
C. Viejo Baños	1.5 %	-2.90757	-79.0416	P. Rayoloma	1.0 %	-2.90104	-78.9685
Feria Libre	6.1 %	-2.89807	-79.0316	Turi	0.2 %	-2.92399	-79.0103
Pencas Cebollar	2.3 %	-2.88747	-79.0256	Narancay	0.8 %	-2.9277	-79.0499
Basílica	3.6 %	-2.88521	-79.0075	Cajas	0.1 %	-2.8769	-79.0705
Miraflores	4.7 %	-2.87805	-79.0000	TOTAL	100 % (685077 visitas)		

Fuente: Anexo 2

El sector que concentra mayor cantidad viajes de destino es el Centro Histórico (25.9%), por lo que se considera una zona de alto tráfico vehicular; mientras que existen otros sectores que no poseen una alta influencia en las visitas como Turi (0.2%), Narancay (0.8%) y Cajas (0.1%). Además, se definen 15 gasolineras junto con las coordenadas en el sistema WGS84, vistas en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Gasolineras en la ciudad de Cuenca

Estación	Latitud	Longitud	Sectores	Latitud	Longitud
Clyan	-2.886234	-79.044522	Pys Standard Motors	-2,894547	-78,995534
Terpel Control Sur	-2.923919	-79.040098	Primax González Suarez	-2,898178	-78,994206
Pys El Arenal	-2.913493	-79.036431	Terpel	-2,915257	-78,992724
Eloy Alfaro	-2.89136	-79.024793	Primax Gil Davalos	-2,88912	-78,989083
Pys Calderón Barca	-2.91005	-79.023094	Primax Av. España	-2,888918	-78,986668
Primax Vista Linda	-2.920785	-79.020707	Primax Rectigas Tocasa	-2,891159	-78,984589
Riogas	-2.896083	-79.014174	Pys Av. América	-2,87891	-78,98136
Primax Solano	-2.905816	-79.007416			

Fuente: Autor

Por consiguiente, se utiliza la biblioteca PIL para cargar el mapa de la ciudad de Cuenca. Luego, se definen las coordenadas de las esquinas del mapa (base del motor de las imágenes en OpenStreetMap[®]), junto con las posiciones de las electrolinerías. Por último, cada gasolinera presenta un marcador dentro del mapa, tal como se observa en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Implementación de gasolineras en el mapa (OpenStreetMap[®])

Fuente: Autor

El mapa establece nodos y etiquetas de vías como zonas residenciales, avenidas, calles principales y secundarias (ver Anexo 1). Luego, a través de la Figura 4.3 se definen 253 rutas entre los distintos sectores mencionados (ver Tabla 4.1) de la ciudad de Cuenca.

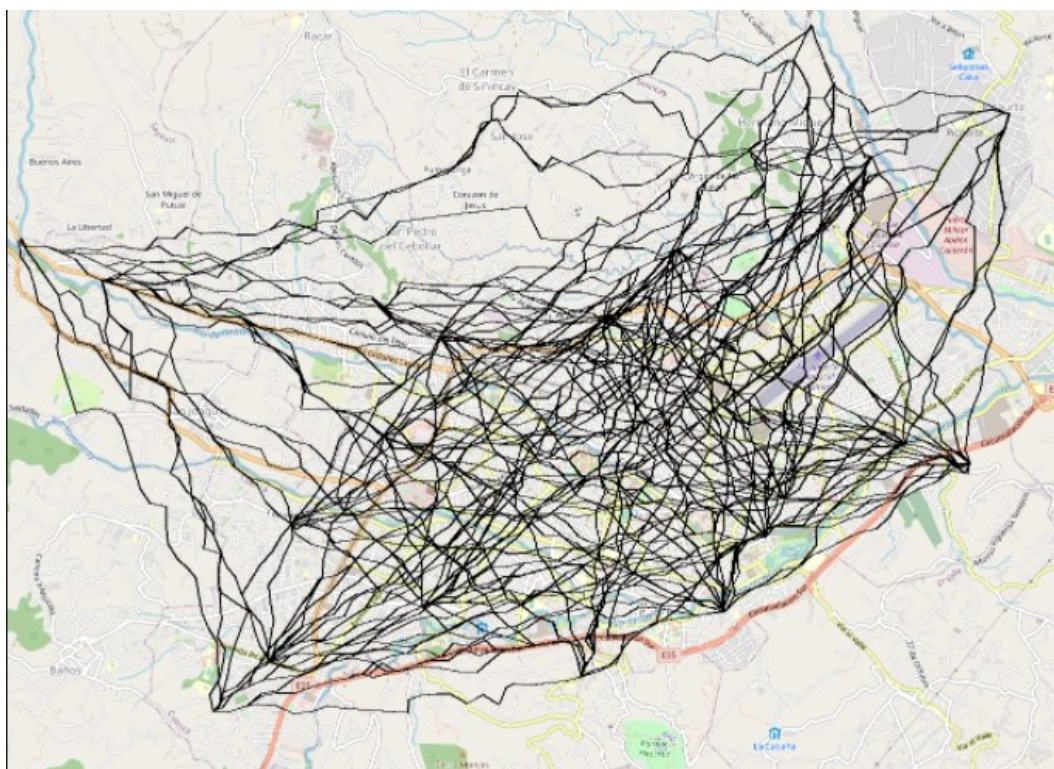


Figura 4.3. Rutas de destino vehicular (OpenStreetMap®)

Fuente: Autor

Por último, se calculan las distancias entre cada ruta y sector con la estación de servicio más cercana.

4.1.3 Desarrollo del algoritmo PSO

A continuación, se detallan los pasos necesarios para el desarrollo del algoritmo PSO (ver Figura 4.4):

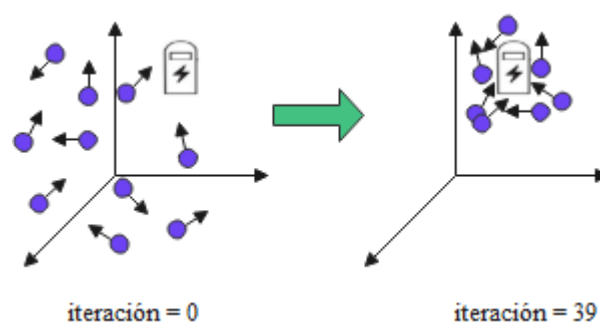


Figura 4.4. Desarrollo de algoritmo PSO

Fuente: Autor

- **Paso 1.** Se definen varios puntos de carga rápida ubicados en las 15 estaciones de servicio mencionadas en la Tabla 4.2.

- **Paso 2.** Se establece una lista de 50 partículas de las posibles combinaciones de estaciones de carga rápida.
- **Paso 3.** Se determina la función de costo mínima C_{min} de las rutas γ y sectores σ , tal como se indica en la Ecuación 4.1. Por consiguiente, se ordenan las gasolineras en base a la distancia calculada; donde $d_{station}$ es la distancia hacia la estación de servicio cercana, ρ representa el número de partículas y α es un contador que varía desde 0 hasta 15 gasolineras.

$$k = \frac{(15-\alpha)^2}{15^2(\rho + 1)} \quad (4.1)$$

$$Costo_1 = \gamma * d_{station} * k$$

$$Costo_2 = \sigma * d_{station} * k$$

$$C_{min} = Costo_1 + Costo_2$$

- **Paso 4.** Se realiza varias pruebas con diferentes puntos de estaciones de carga rápida para determinar el costo mínimo de la función, el cual proporciona un valor adimensional.

4.1.4 Pruebas y resultados

En la Tabla 4.3 se observa todas las posibles combinaciones de estaciones de carga rápida que pueden existir dentro de cada estación de servicio.

Tabla 4.3. Posibles unidades de puntos de recarga rápida

#	20EC	40EC	60EC	80EC	100EC	#	20EC	40EC	60EC	80EC	100EC
G1	0-5	0-6	0-10	1-10	1-13	G9	0-3	0-6	0-9	1-8	3-13
G2	0-5	0-7	1-10	1-12	2-12	G10	0-5	0-6	1-8	1-11	1-11
G3	0-3	0-5	0-9	2-12	3-12	G11	0-4	0-7	0-7	1-9	1-11
G4	0-4	0-7	1-8	1-11	2-13	G12	0-3	0-6	0-7	2-11	1-19
G5	0-4	0-7	1-10	3-13	2-11	G13	0-3	0-8	0-8	2-9	0-13
G6	0-5	0-6	0-9	2-10	2-18	G14	0-5	0-9	0-10	1-14	0-13
G7	0-5	0-8	1-6	1-12	2-11	G15	0-4	0-7	0-10	1-10	3-13
G8	0-4	0-6	1-10	1-11	1-13						

Fuente: Anexo 3

Por consiguiente, se determina los puntos de recarga optimizados tal como se define en la Tabla 4.4, donde se observa que el costo mínimo es inversamente proporcional a los puntos de recarga. Por ejemplo, cuando se utilizan 100 estaciones de carga se obtiene un costo cuyo valor es de 5.971 y si se utilizan 20 estaciones se tiene un costo de 20.028.

Tabla 4.4. Puntos de recarga rápida optimizada y costo mínimo

#	20EC	40EC	60EC	80EC	100EC	#	20EC	40EC	60EC	80EC	100EC
G1	1	2	3	4	6	G9	2	3	5	6	8
G2	1	1	3	3	4	G10	2	4	5	6	8
G3	2	2	3	4	6	G11	1	3	4	5	6
G4	1	3	4	6	8	G12	1	3	5	6	9
G5	1	2	4	7	6	G13	1	3	3	6	8
G6	1	2	4	5	7	G14	1	3	4	5	6
G7	2	3	5	6	7	G15	1	3	4	5	5
G8	2	3	4	6	6	C_{min}	20028	12468	9127	7150	5971

Fuente: Autor

Del análisis anterior, se ha optado por los puntos de recarga rápida más factibles, los cuales se observan a través de la Figura 4.5 y se distribuyen dentro de las 15 estaciones de servicio.

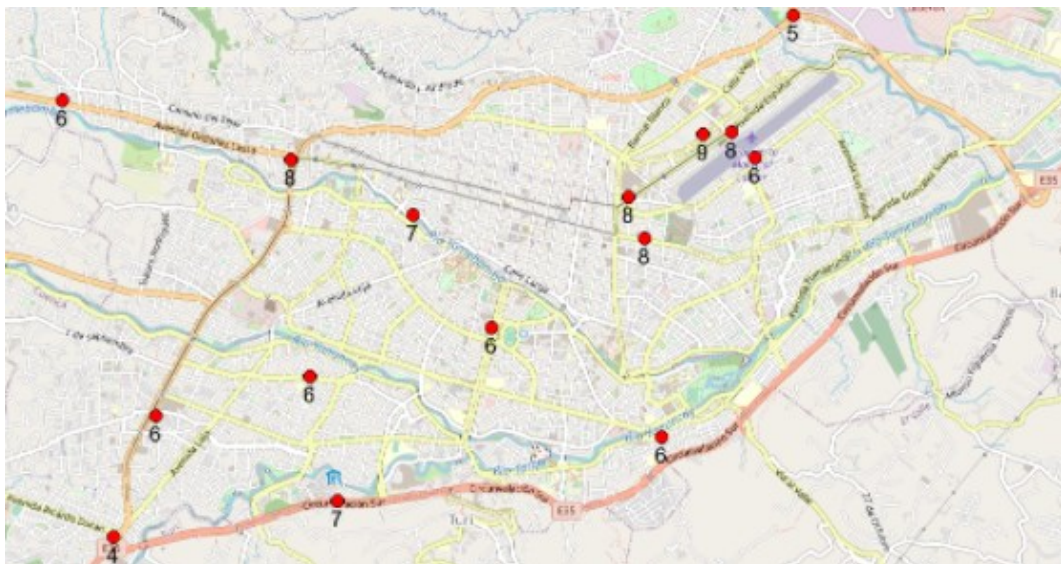


Figura 4.5. Distribución de los puntos de recarga rápida en la ciudad de Cuenca

Fuente: Autor

Entre los sectores más concurridos se tiene el Centro Histórico (25.9 %) cuyos puntos de recarga rápida cercanos se encuentran en la gasolinera Pys Standard Motors (8), Riogas (7) y Primax González Suárez (8). Otro sector, es el Ejido (13.8 %) donde posee una electrolinera en la estación Primax Solano, la cual posee 6 puntos de recarga rápida.

4.2 BENEFICIO COSTO

La relación beneficio y costo depende del monto de inversión y los gastos generados por los consumidores que en este caso son los usuarios que poseen un vehículo eléctrico. Se toma como referencia las electrolineras instaladas de la ciudad de Guayaquil, la cual posee un monto de \$600.000,00 para 20 cargadores rápidos [68]; por tanto, posee un costo de \$3.000,00 por cada electrolinera. Por ende, el costo de inversión para las 100 estaciones de carga rápida posee una inversión de \$3 millones de dólares. A continuación, se describe tanto los ingresos como egresos por los consumidores:

- En la Tabla 4.5 se indican los ingresos anuales totales por los 28 y 84 vehículos eléctricos.

Tabla 4.5. *Ingresos anuales*

Descripción	Valores	
Vehículos EV	28	84
Ingresos mensuales (cada EV)	\$500,00 - \$1.000,00	\$500,00 - \$1.000,00
Ingresos mensuales totales	\$14.000,00 - \$28.000,00	\$42.000,00 - \$84.000,00
Ingresos anuales totales	\$168.000,00 - \$336.000,00	\$504.000,00 - \$1.008.000,00

Fuente: Autor

- Para determinar los egresos anuales (ver Tabla 4.6), se toma en consideración las siguientes condiciones:
 - Potencia de la electrolinera (ver Tabla 2.3) de carga y tiempo rápido de 50 kW y 45 minutos; respectivamente.
 - Se considera un vehículo Nissan Leaf Eléctrico de 280 km de autonomía [69].
 - Si el vehículo EV consume 20 km diarios, se necesita realizar 3 recargas mensuales, por lo que presenta un consumo 112,50 kWh.
 - Además, estimando un costo de \$0,096 el kilovatio hora, el usuario paga \$10,80.
 - Se tiene 28 vehículos EV existentes en la ciudad de Cuenca para el año 2021 (ver Apartado Introducción)

Tabla 4.6. *Egresos anuales*

Descripción de gastos EV	Valores	
Consumo eléctrico mensual (cada EV)	\$10,80	\$10,80
Vehículos EV	28	84
Consumo eléctrico mensual total	\$302,40	\$907,20
Consumo eléctrico anual (subtotal 1)	\$3.628,80	\$10.886,40
Operación y mantenimiento anual por electrolinera	\$300,00	\$300,00
Electrolineras	100	100
Operación y mantenimiento anual (subtotal 2)	\$30.000,00	\$30.000,00
Egresos anuales	\$33.628,80	\$40.886,40

Fuente: Autor

Por consiguiente, se establece el flujo efectivo neto en un periodo de 20 años bajo una tasa de descuento del 12%, tal como se presenta en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. *Flujo efectivo neto*

Años	28 EV	84 EV	Años	28 EV	84 EV
0	\$ -3.000.000,00	\$ -3.000.000,00	11	\$ 260.262,00	\$ 793.137,00
1	\$ 228.306,00	\$ 721.781,00	12	\$ 164.614,00	\$ 695.054,00
2	\$ 220.816,00	\$ 935.844,00	13	\$ 266.244,00	\$ 519.234,00
3	\$ 167.532,00	\$ 553.406,00	14	\$ 216.736,00	\$ 479.659,00
4	\$ 203.921,00	\$ 810.542,00	15	\$ 260.044,00	\$ 794.104,00
5	\$ 297.183,00	\$ 747.605,00	16	\$ 266.247,00	\$ 895.695,00
6	\$ 279.025,00	\$ 942.764,00	17	\$ 196.938,00	\$ 512.438,00
7	\$ 246.376,00	\$ 853.829,00	18	\$ 210.820,00	\$ 489.804,00
8	\$ 175.978,00	\$ 658.974,00	19	\$ 213.280,00	\$ 836.585,00
9	\$ 247.560,00	\$ 755.824,00	20	\$ 201.727,00	\$ 592.182,00
10	\$ 148.025,00	\$ 691.013,00			

Fuente: Autor

A partir de la Tabla 4.8 se analiza la relación beneficio/costo, VAN y TIR, donde se determina que, si se colocan 100 puntos de recarga rápida en la ciudad de Cuenca para los 28 vehículos EV, el proyecto no es viable debido a que la relación beneficio/costo es menor 1 y el TIR es menor a la tasa de descuento. Sin embargo, si se dispone de 84 vehículos EV, el proyecto es viable ya que se tiene un TIR superior a la tasa de descuento, por ende, la relación beneficio/costo presenta un valor de 1,76.

Tabla 4.8. *Análisis de viabilidad de las electrolineras*

Descripción	28 EV	84 EV
Periodo	20 años	20 años
Tasa de descuento	12 %	12 %
VAN Ingresos	\$ 1.924.536,07	\$ 5.865.812,73
VAN Egresos	\$ 251.219,83	\$ 305.439,96
VAN (Egresos + Inversión)	\$ 3.251.219,83	\$ 3.305.439,96
Beneficio/Costo	0,59	1,77
VAN	\$-1.326.683,76	\$2.560.372,77
TIR	4,16 %	25,06 %
Proyecto	No Viable	Viable

Fuente: Autor

Por último, se determina un flujo de caja cuando el proyecto es viable, tal como se presenta en la Figura 4.6.

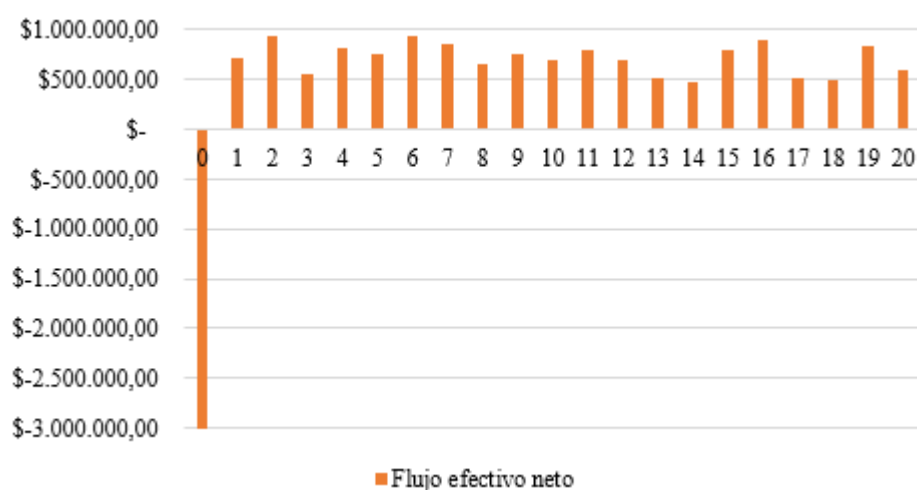


Figura 4.6. Flujo efectivo neto para 84 EV

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Existen diversas clases de baterías que se utilizan en los vehículos livianos EV, los cuales difieren en el material de construcción, potencia, energía específica, ciclo de vida y rendimiento como es el caso de las baterías Ni-MH o Li-Ion que poseen una potencia máxima de 300 W-Kg superior a las demás; salvo que se diferencian en el rendimiento y ciclos de la vida útil. Por último, gran parte en la fabricación de las baterías son del continente asiático como Envision AESC, SK Battery, Samsung SDI, BYT, Panasonic, Energy Solution LG y CATL.
- Países latinoamericanos como México, Costa Rica y Uruguay poseen un alto nivel de infraestructura de carga, seguidos Brasil, Chile, Colombia y Ecuador; donde algunos de ellos ya disponen de normas y proyectos de promoción de la movilidad eléctrica. Los vehículos EV emplean conectores Schuko, SAE o CCS que dependen del modo de carga y que operan con energía alterna o continua, este último utiliza un conversor AC/DC. Sin embargo, a medida que se reduzca el tiempo de carga, se requiere una electrolinera de mayor capacidad de potencia, como es el caso de las recargas rápidas que si bien se demora el vehículo entre 40 a 45 minutos se requiere una potencia entre 42 a 50 kW.
- Se analizan tres normativas internacionales de origen español ITC-BT-52, colombiano EPM RA8-031 y chileno RIC N15, donde la carga rápida normalmente se emplea en los concesionarios de vehículos y gasolineras. Cada electrolinera posee sistemas de seguridad hacia los equipos y personas, sistemas de control y comunicaciones donde todo el conjunto es instalado a una distancia mínima de 0.6 metros sobre el nivel del suelo. En segunda instancia, se estudian diversos métodos de búsqueda y optimización como el modelo de tráfico, optimización por colonia de hormigas, algoritmo genético, optimización binivel y el método espacial para determinar una ubicación adecuada de electrolineras.
- En base a la optimización PSO se determina la función mínima de costo en base a las rutas (vías), 23 sectores, 15 gasolineras ubicados en la ciudad de Cuenca. Entre los 100 puntos de recarga rápida, se determina que el Centro Histórico (25.9 %) tiene 3 gasolineras cercanas, donde cada una presentan entre 5 a 6 puntos de recarga en las gasolineras Pys Standard Motors (8), Riogas (7) y Primax González Suárez (8). Otro sector, es el Ejido (13.8 %) donde posee 6 puntos de recarga en la estación Primax Solano.

RECOMENDACIONES

- Como trabajo futuro, se puede emplear la API de Google Maps para tener una mejor visualización en cuanto se refiere a los mapas y rutas designadas para la ciudad de Cuenca.
- Se recomienda utilizar el editor de código Visual Studio Code e instalar los paquetes Python[®] junto con las demás librerías que utiliza el algoritmo PSO para un correcto funcionamiento del programa.

GLOSARIO

- AC: corriente alterna.
- AESC: Corporación de suministro de energía automotriz.
- Al-aire: aluminio – aire.
- ANEEL: Agencia Nacional de Energía Eléctrica de Brasil.
- ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de la Electricidad.
- CATL: Compañía de tecnología China Amperex Contemporánea.
- CCS: Sistema de carga combinado.
- CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CFE: Comisión Federal de Electricidad de México.
- CORCLIMA: Comisión hacia la Resiliencia al Cambio Climático en Monteverde.
- CP: control piloto.
- DC: corriente continua.
- $d_{station}$: distancia de la estación.
- 20EC, 40EC, 60EC, 80EC y 100EC representan las 20, 40, 60, 80 y 100 puntos de recarga rápida.
- EEQ: Empresa Eléctrica Quito.
- EPM: Empresa Pública de Medellín de Colombia.
- ER: edificios residenciales.
- EV(s): vehículo(s) eléctrico(s).
- G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14 y G15 representan las gasolineras Clian, Terpel Control Sur, PYS El Arenal, Eloy Alfaro, PYS Calderón de la Barca, Primax Vista Linda, Riogas, Primax Solano, PYS Estándar Motors, Primax González Suárez, Terpel, Primax Gil Dávalos, Primax Av. España, Primax Rectigas y PYS Av. América; respectivamente.
- ICE: Instituto Costarricense de Electricidad de Costa Rica.
- IP: protección integral.
- ITC: Instrucción Técnica Complementaria.
- IVA: impuesto al valor agregado.
- LGA: línea general de alimentación.
- Li-Ion: ion de litio.
- LiPo: polímero de litio.

- Ni-Cd: níquel – cadmio.
- Ni-MH: níquel – hidruro metálico.
- OCCP: Protocolo de punto de recarga abierto.
- OI: otras instalaciones.
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- Pb-ácido: plomo – ácido.
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PP: control de proximidad.
- PSO: optimización por enjambre de partículas.
- REM: protección diferencial remota.
- RIC: Pliego Técnico Normativo en Chile.
- SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices.
- SAVE: Sistema de Alimentación de Vehículos Eléctricos.
- SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile.
- SGC: control para gestionar la carga.
- SPL: sistema de protección del LGA.
- UNE: documento de una Norma Española.
- VAN: valor actual neto.
- VU: viviendas unifilares.
- WGS84: sistema geodésico de coordenadas geográficas del año 1984.
- ZEBRA: níquel – cloruro de sodio.
- Zn-aire: zinc – aire.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Martínez, 14 enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.elmundo.es/economia/macroeconomia/2018/01/14/5a58e20622601d8a438b4636.html>.
- [2] ONU, Euroclilma y Aecid, «2019,» ONU, Estado de la Movilidad Eléctrica.
- [3] I. Ardanuy, La electromovilidad en el transporte público, Buenos Aires: Corporación Andina de Fomento, 2019.
- [4] A. Mercado y K. Cordova, «Desarrollo tecnológico en baterías e impulsión eléctrica ¿Sistemas tecnológicos disruptivos promovidos por imperativos ambientales?,» *Scielo Analytics*, vol. 31, n° 85, pp. 1-21, 2014.
- [5] EEQ, «La EEQ invirtió 450 mil dólares de electrolinerías para vehículos eléctricos,» 29 julio 2021. [En línea]. Available: http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/id/38889451.
- [6] PNUD, «Empresa Eléctrica de Quito pone en marcha su red de electrolinerías con apoyo del PNUD,» 19 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/presscenter/articles/2020/empresa-electrica-de-quito-pone-en-marcha-su-red-de-electroliner.html>.
- [7] L. Paredes, «Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental,» *Revista Técnica "energía"*, vol. 16, n° 1, pp. 91-100, 2019.
- [8] Eluniverso, «Entró en funcionamiento la primera electrolinería pública de Cuenca,» 19 noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/25/nota/7620908/entrounfuncionamiento-primera-electrolinera-publica-cuenca/>.
- [9] Emov, «Emov entrega la primera electrolinería de la ciudad,» 25 noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.emov.gob.ec/emov-entrega-la-primera-electrolinera-de-la-ciudad/>.

- [10] H. Barros y L. Ortega, *Análisis y Diseño de la Instalación Eléctrica de una Electrolinera en la Ciudad de Cuenca*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [11] J. Ferro, *Transporte, actividades y comunicaciones*, 2019.
- [12] J. Trashorras, *Vehículos eléctricos*, Madrid: Paraninfo, 2019.
- [13] J. Ferro, *El universo de las energías renovables*, 2020.
- [14] J. Salmerón, *Diseño de la instalación eléctrica de una electrolinera*, Leganés: Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [15] J. Miranda y N. Iglesias, «Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico,» *Observatorio Medioambiental*, vol. 18, pp. 57-85, 2015.
- [16] A. Colmenar, D. Borge, E. Collado y M. Castro, *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*, Madrid: UNED, 2015.
- [17] E. Águeda, J. García, T. Gómez, J. Navarro y J. Gracia, *Elementos amovibles*, Madrid: Paraninfo, 2017.
- [18] V. Macarós, *Instalaciones generadoras fotovoltaicas. Un cambio hacia la sostenibilidad*, Madrid: Paraninfo, 2015.
- [19] E. Palazuelos, *El oligopolio que domina el sistema eléctrico. Consecuencias para la transición energética*, Madrid: AKAL, 2019.
- [20] J. Martínez, *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*, Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2017.
- [21] I. Onate, «Baterías de plomo-ácido para emergencias,» 26 febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.seguridadprofesionalhoy.com/baterias-de-plomo-acido-para-emergencias/>.
- [22] J. Vega, *Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaicas y de las baterías*, Santiago de Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile, 2018.
- [23] V. Mascaros, *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*, Madrid: Paraninfo, 2016.
- [24] J. Martínez, *Sistemas eléctricos electrónicos de las aeronaves*, Madrid: Paraninfo, 2007.

- [25] Emeisa, «Banco de baterías Níquel-Cadmio abierta,» 2016. [En línea]. Available: <https://emeisa.mx/kph.php>. [Último acceso: 11 enero 2022].
- [26] K. Dietsche, «Manual de la técnica del automóvil,» Bosch, Alemania, 2005.
- [27] R. Ávila, Del bit a las redes sociales: seleccionario de voces de las TIC, México: Colegio de México, 2018.
- [28] E. Domínguez, Sistemas de carga y arranque, Barcelona: Editex, 2017.
- [29] AutoAvance, «Baterías de Vehículos Híbridos y Eléctricos,» 05 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/bateria-hibridos-electricos/>.
- [30] S. d. T. d. Automocion, El vehículo eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio, Barcelona: Libbooks, 2011.
- [31] E. Domínguez y J. Ferrer, Baterías (FPB Electricidad del vehículo), Barcelona: Editex, 2019.
- [32] M. Chetto y A. Queudet, Sistemas de tiempo real autónomos en energía, Londres: ISTE International, 2020.
- [33] A. Moreno, «Baterías Zebra,» 2022. [En línea]. Available: <https://vehiculosverdes.com/opiniones-y-criticas/baterias-zebra/gmx-niv20-con48.htm>. [Último acceso: 12 enero 2022].
- [34] D. Arboledas, Electricidad Básica, Madrid: RA-MA, 2014.
- [35] S. Meier, «Baterías de aluminio-aire que se recargan con agua,» enero28 2015. [En línea]. Available: <https://www.electromaps.com/articulo/baterias-de-aluminio-aire-que-se-recargan-con-agua>.
- [36] G. García, «Una nueva batería ofrecerá 700 kilómetros de autonomía con 1 kg de aluminio. Híbridos y Eléctricos,» 23 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/nueva-bateria-ofrecera-700-kilometros-autonomia-1-kg-aluminio/20180920144117021939.html>.
- [37] I. Penn, «Una nueva batería para un futuro sin combustibles fósiles,» 01 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.nytimes.com/es/2018/10/01/espanol/bateria-zinc-aire-energia-limpia.html>.

- [38] M. Obaya y M. Céspedes, *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio. Implicaciones para los países del triángulo del litio*, Santiago: CEPAL, 2021.
- [39] J. Gómez, C. Mojica, V. Kaul y L. Isla, *La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina*, Banco Interamericano de Desarrollo, 2016.
- [40] G. García, «Estos son los siete principales proveedores de baterías para coches eléctricos,» 14 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/principales-proveedores-baterias-coches-electricos/20210802224032047591.html>.
- [41] O. M. ambiente, «Movilidad Eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración Regional,» ONU Medio Ambiente, 2018.
- [42] PNUMA, *Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe 2019*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020.
- [43] ARCONEL, «Proyecto de Regulación sobre Contrato de Suministro para la Comercialización de Energía a Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos,» diciembre 2019. [En línea]. Available: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/12/19_12_13_Inf-Sust_VE-V4-vf-susc.pdf.
- [44] RegistroOficial, *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*, Quito: Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, 2015.
- [45] J. Gete, «Modos de recarga de los Vehículos Eléctricos,» 02 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.motormundial.es/modos-de-recarga-de-los-vehiculos-electricos/2021/11/02/>.
- [46] L. Leyton, «Redes de recarga para vehículos eléctricos: más allá de las electrolinerías,» 12 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://movelatam.org/wp-content/uploads/2018/10/Redes-de-recarga.pdf>.
- [47] A. Pesantes, *Convertidor de potencia pseudoparcial sin transformador para estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos*, Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2019.
- [48] IEEE80, «Guía para la Seguridad de puesta a tierra en Subestaciones de C.A.,» IEEE, New York, 2013.

- [49] IEEE2030.1.1, «Especificaciones técnicas estándar de IEEE de un cargador rápido de CC para uso con vehículos eléctricos,» Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Nueva Jersey, 2015.
- [50] E. Ballester y R. Piqué, *Electrónica de Potencia. Principios Fundamentales y Estructuras Básicas*, Barcelona: Marcombo S.A., 2011.
- [51] Videorockola, «Construya un Inversor de Voltaje DC/AC de 300W,» 2022. [En línea]. Available: <http://www.videorockola.com/proyectos-electronicos/fuentes/construya-un-inversor-de-voltaje-dcac-de-300w/>. [Último acceso: 13 enero 2022].
- [52] ITC-BT-52, «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de Vehículos Eléctricos,» Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, 2017.
- [53] EPM, «Norma Técnica RA8-031 Instalación de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos,» Centros de Excelencia Técnica, Colombia, 2019.
- [54] R. N15, «Pliego Técnico Normativo RIC N°15,» División de Ingeniería de Electricidad SEC, Chile, 2020.
- [55] G. Cabrera, *Metodología para la ubicación óptima de estaciones de carga de vehículos eléctricos en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica considerando el comportamiento del usuario y la red eléctrica*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2020.
- [56] F. Pérez, A. Bautista, M. Salazar y A. Macías, «Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico,» *Scielo*, vol. 81, n° 184, pp. 36-40, 2014.
- [57] M. Sebastiani, R. Luders y K. Ono, *Asignación de Estaciones de Carga en una Red de Vehículo Eléctrico utilizando Optimización de Simulación*, Curitiba: Universidad Tecnológica Federal de Paraná, 2014, p. 12.
- [58] O. Chacón, J. Aguilar, O. Ríos, R. Basave y R. Cruz, «Algoritmo de optimización colonia de hormigas para la generación automática de horarios,» *Revista Tecnológica Digital*, vol. 9, n° 2, pp. 1-12, 2019.

- [59] E. Bodero y G. Leguizamón, «Efecto de los coeficientes de aceleración de PSO en el desempeño de una Red Neuronal Artificial aplicada a la Estimación de Costos,» *Novasineria*, vol. 1, n° 1, pp. 33-40, 2018.
- [60] F. Sancho, «PSO: Optimización por enjambre de partículas,» 11 noviembre 2019. [En línea]. Available: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=70>.
- [61] D. Gutiérrez, A. Tapia y Á. Rodríguez, *Algoritmos Genéticos con Python*, Marcombo S.L., 2020.
- [62] V. Porcar, J. Palanca, J. Jordan y V. Julian, «Inteligencia artificial en la planificación de infraestructuras de carga para vehículos eléctricos adaptadas a la demanda, al urbanismo y a la red,» 30 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-inteligencia-artificial-planificacion-infraestructuras-carga-vehiculos-electricos-adaptadas-demanda-urbanismo-red>. [Último acceso: 21 enero 2022].
- [63] S. Dávila, *Algorithms for bi-level optimization in retail: pricing, assortment and demand coordination*, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2021.
- [64] ArcGIS, «Análisis espacial en ArcGIS Pro,» 2022. [En línea]. Available: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>. [Último acceso: 21 enero 2022].
- [65] Python, «Busque, instale y publique paquetes de Python con el índice de paquetes de Python,» 2022. [En línea]. Available: <https://pypi.org/>. [Último acceso: 05 febrero 2022].
- [66] NumFocus, «Pandas,» 2022. [En línea]. Available: <https://pandas.pydata.org/>. [Último acceso: 05 febrero 2022].
- [67] OpenStreetMap, «Mapa del mundo,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.openstreetmap.org/#map=13/-2.9145/-79.0235>. [Último acceso: 07 febrero 2022].
- [68] J. González, «La primera electrolinera del Ecuador se inauguró en Guayaquil,» *El Comercio*, p. 1, 08 noviembre 2019.
- [69] Nissan, «Nissan Leaf,» 2022. [En línea]. Available: https://www.nissan.com.ec/vehiculos/nuevos-vehiculos/nissan-leaf.html?gclid=CjwKCAiAo4OQBhBBEiwA5KWu_6fx5i6AsmbkpZr79_0s

x16wQc32g-x2a9c2hjCdRsFWUtI7EzzkNBoCiQMQA vD_BwE. [Último
acceso: 05 febrero 2022].

ANEXOS

Anexo 1. XML elementTree	62
Anexo 2. Distribución de destinos	63
Anexo 3. Estaciones de carga rápida optimizada.....	64
Anexo 4. Flujo de caja para los 28 y 84 vehículos EV	72

Anexo I. XML elementTree

```

map
  1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
  2 <osm version="0.6" generator="Overpass API 0.7.57 93a4d346">
  3 <note>The data included in this document is from www.openstreet
  4 <meta osm_base="2022-02-05T06:07:21Z"/>
  5
  6 <bounds minlat="-2.9366000" minlon="-79.0828000" maxlat="-2.8
  7
  8 <node id="315359327" lat="-2.8971725" lon="-79.0043742" versi
  9 <tag k="capital" v="4"/>
 10 <tag k="ele" v="2560"/>
 11 <tag k="heritage" v="1"/>
 12 <tag k="heritage:operator" v="whc"/>
 13 <tag k="historic" v="unesco_world_heritage"/>
 14 <tag k="is_capital" v="state"/>
 15 <tag k="name" v="Cuenca"/>
 16 <tag k="name:be" v="Куэнка"/>
 17 <tag k="name:he" v="קֵנְקָא"/>
 18 <tag k="name:ja" v="クエンカ"/>
 19 <tag k="name:ka" v="კუენკა"/>
 20 <tag k="name:ko" v="쿠엔카"/>
 21 <tag k="name:lt" v="Kuenka"/>
 22 <tag k="name:os" v="Куэнкæ"/>
 23 <tag k="name:qu" v="Tumirampa"/>
 24 <tag k="name:ru" v="Куэнка"/>
 25 <tag k="name:th" v="เควนกา"/>
 26 <tag k="name:uk" v="Куєнка"/>
 27 <tag k="name:zh" v="昆卡"/>
 28 <tag k="official_name" v="Santa Ana de los cuatro ríos de C
 29 <tag k="place" v="city"/>
 30 <tag k="population" v="495776"/>
 31 <tag k="whc:inscription_date" v="1999"/>
 32 <tag k="wikidata" v="Q54886"/>
 33 <tag k="wikipedia" v="es:Cuenca (Ecuador)"/>
 34 </node>
 35 <node id="315788467" lat="-2.9005017" lon="-79.0495379" versi
 36 <node id="315788605" lat="-2.8875299" lon="-78.9529770" versi
 37 <node id="318080496" lat="-2.9539279" lon="-79.2358210" versi
 38 <node id="318080497" lat="-2.9531075" lon="-79.2356766" versi
 39 <node id="321418404" lat="-2.9061538" lon="-79.0280045" versi

```


Anexo 2. Distribución de destinos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Centro historico	39828	13194	8221	6658	3948	3298	6629	3225	4613	3141	6378
2 El Ejido	13577	15035	2315	1337	2524	1486	5251	585	3476	1501	2358
3 Norte de Av americas	3998	2057	1999	629	536	258	683	141	1495	206	400
4 Aeropuerto	8911	2780	1614	5551	1853	666	2031	373	1425	897	812
5 Cañaribamba	9124	4793	1806	2396	5086	1461	1809	516	1305	593	1192
6 Pumapungo	6218	2849	563	1105	1608	2646	1654	281	985	612	501
7 Yanucay	11523	11645	2124	1445	1713	1878	8848	469	4037	1071	1515
8 Camino Viejo a Baños	5639	1982	831	324	476	334	722	262	1644	82	275
9 Feria Libre	5974	6675	2063	1066	1624	1078	4678	1763	4517	2200	2387
10 Pencas Cebollar	7725	4351	958	755	550	607	1568	139	2219	1390	1060
11 Basilica	7955	5238	2550	574	997	558	2349	275	1989	1270	3669
12 Miraflores	14457	3918	2644	1949	1302	382	1931	142	2814	438	882
13 Parque industrial Patamarca	2484	801	850	875	653	110	712	292	1165	336	231
14 Totoracocha	8495	4286	1130	1657	1827	1341	1775	296	1502	348	666
15 Monay	8826	5155	434	973	1711	1292	1946	205	1006	331	450
16 Control Sur Borja	5317	2624	1113	314	194	202	1054	303	1393	455	191
17 Sayausi-Rio Amarillo	4243	2031	696	202	367	251	909	433	2100	565	379
18 Ricaurte	6366	2107	790	1224	479	324	280	80	1372	303	607
19 Capulispamba	3900	1844	373	845	495	507	733	77	1234	0	293
20 Paccha Rayoloma	2214	993	78	151	495	194	157	285	474	158	95
21 Turi	88	129	62	0	0	0	194	0	0	0	0
22 Narancay	234	207	72	85	57	0	506	29	669	75	81
23 Cajas	0	34	62	0	0	0	53	0	533	0	0
	177096	94728	33348	30115	28495	18873	46472	10171	41967	15972	24422
	25,9%	13,8%	4,9%	4,4%	4,2%	2,8%	6,8%	1,5%	6,1%	2,3%	3,6%

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	c1	c2
1 Centro historico	9069	1924	3929	4391	3396	2921	3126	1394	1799	147	81	0	-2,89642	-79,0035
2 El Ejido	1268	436	1602	1593	1680	399	776	373	590	84	400	35	-2,90244	-79,0084
3 Norte de Av americas	297	0	206	215	257	585	488	0	0	124	258	62	-2,88332	-79,003
4 Aeropuerto	2484	1389	2223	1472	810	643	1598	677	194	93	0	31	-2,88989	-78,9875
5 Cañaribamba	1220	397	1306	1370	751	92	817	398	575	0	310	26	-2,90479	-78,9885
6 Pumapungo	382	111	1389	1009	484	284	811	197	223	0	150	0	-2,90892	-78,9906
7 Yanucay	736	576	974	2086	1446	596	750	781	129	305	1111	53	-2,91649	-79,0274
8 Camino Viejo a Baños	235	385	253	128	442	476	381	26	311	0	0	0	-2,90757	-79,0416
9 Feria Libre	2573	1038	1509	1222	2662	1502	1158	1018	524	364	1264	232	-2,89807	-79,0316
10 Pencas Cebollar	994	336	393	445	789	786	172	167	158	0	54	0	-2,88747	-79,0256
11 Basilica	886	156	3564	525	258	1128	374	293	96	0	545	0	-2,88521	-79,0075
12 Miraflores	7871	2045	619	255	565	0	1055	124	180	0	515	80	-2,87805	-79
13 Parque industrial Patamarca	1901	2928	200	488	584	0	623	51	146	0	40	0	-2,85404	-78,9856
14 Totoracocha	818	176	3578	1426	472	337	1128	581	330	71	132	0	-2,86815	-78,9791
15 Monay	166	563	1520	4026	389	249	386	358	428	68	245	0	-2,89897	-78,9754
16 Control Sur Borja	178	591	98	242	1953	0	657	0	105	77	286	89	-2,92228	-79,0439
17 Sayausi-Rio Amarillo	123	77	111	94	149	2729	86	43	0	0	52	104	-2,8814	-79,0619
18 Ricaurte	520	421	721	384	47	166	809	505	0	61	86	84	-2,86351	-78,9643
19 Capulispamba	176	236	306	307	103	95	696	898	0	0	180	0	-2,91169	-78,9949
20 Paccha Rayoloma	342	146	502	498	0	36	0	136	767	21	0	36	-2,90104	-78,9685
21 Turi	0	0	0	68	98	81	61	0	21	0	0	0	-2,92399	-79,0103
22 Narancay	133	40	63	245	59	52	134	0	0	0	0	0	-2,9277	-79,0499
23 Cajas	80	0	0	26	89	52	84	0	0	0	0	0	-2,8769	-79,0705
	32452	13971	25066	22515	17483	13209	16170	8020	6576	1415	5709	832		
	4,7%	2,0%	3,7%	3,3%	2,6%	1,9%	2,4%	1,2%	1,0%	0,2%	0,8%	0,1%		

Anexo 3. Estaciones de carga rápida optimizada

- 50 partículas (combinaciones de puntos de recarga rápida).

EstacionesDeCarga: 100

{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 3, 'Pys_El_Arenal_': 9,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 18,
'Gasolinera_Riogas': 10, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 4,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 3, 'Primax_Gil_Davalos': 4, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 9}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 11, 'Pys_El_Arenal_': 3,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 4, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 10,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 2, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 4,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 8, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal_': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 11, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 3,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 7, 'Pys_Av_americas': 6}
{'Gasolinera_Clyan': 1, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 7, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 9,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 11,
'Primax_Gonzales_Suarez': 1, 'Terpel': 4, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 10}
{'Gasolinera_Clyan': 10, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal_': 5,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 1, 'Pimax_Av_españa': 9,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 5, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 10, 'Pys_El_Arenal_': 9,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 3, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 11,
'Gasolinera_Riogas': 10, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 4, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 4, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 11, 'Pys_El_Arenal_': 4,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 4, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 10, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 4,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 4, 'Pys_Av_americas': 12}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal_': 11,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 4,

'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 3, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 9,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 8, 'Pys_Av_americas': 6}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 3,
'Gasolinera_Riogas': 10, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 9, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 3}
{'Gasolinera_Clyan': 10, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal_': 11,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 9, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 12,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 3,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 4, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 2, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 3, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 3, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 10, 'Terpel': 11, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 11}
{'Gasolinera_Clyan': 8, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal_': 12,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 2, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 4,
'Gasolinera_Riogas': 10, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 10,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 11, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 2, 'Pys_Av_americas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal_': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 3,
'Gasolinera_Riogas': 3, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 3,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 12, 'Pys_Av_americas': 12}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 7, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 13, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 5, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 3}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal_': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 10, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 10, 'Terpel': 3, 'Primax_Gil_Davalos': 5, 'Pimax_Av_españa': 10,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 7, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 11,

'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 3, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 8, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 8, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 2, 'Pys_El_Arenal ': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 10, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 11, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 8, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 3, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 3, 'Pys_El_Arenal ': 10,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 3, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 8, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 11, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 11, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal ': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 12, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 4,
'Primax_Gonzales_Suarez': 4, 'Terpel': 10, 'Primax_Gil_Davalos': 9, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 9}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal ': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 2, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 8, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 3,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 8,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 8, 'Pimax_Av_españa': 10,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 7}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 7, 'Pys_El_Arenal ': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 12,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 8,
'Primax_Gonzales_Suarez': 5, 'Terpel': 3, 'Primax_Gil_Davalos': 3, 'Pimax_Av_españa': 3,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 13}
{'Gasolinera_Clyan': 8, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal ': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 10, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 8,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal ': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 10, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 8, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 2,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal ': 5,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 10,

'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 4,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 8, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 5, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 9, 'Pys_El_Arenal_': 10,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 4, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 10,
'Gasolinera_Riogas': 11, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 1, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 11, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 0, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 2, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 10, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 10,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 4, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 8, 'Pys_Av_americas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal_': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 4,
'Gasolinera_Riogas': 10, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 9, 'Terpel': 11, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 4, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 7, 'Pys_El_Arenal_': 9,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 12,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 5, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 7}
{'Gasolinera_Clyan': 8, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal_': 9,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 11, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 10, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 9, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 2, 'Pimax_Av_españa': 0,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americas': 7}
{'Gasolinera_Clyan': 3, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 11, 'Pys_El_Arenal_': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 3, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 8,
'Gasolinera_Riogas': 11, 'Gasolinera_Primax_Solano': 1, 'Pys_Standard_Motors': 9,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 3,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 9, 'Pys_Av_americas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 5, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 10, 'Pys_El_Arenal_': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 9, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 4,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 11,
'Primax_Gonzales_Suarez': 5, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 7, 'Pys_Av_americas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 3, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal_': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 4, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,

'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 11, 'Pys_Standard_Motors': 10,
'Primax_Gonzales_Suarez': 3, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 13, 'Pys_Av_americanas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal': 11,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 10, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 2,
'Gasolinera_Riogas': 9, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 4, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 8, 'Pimax_Av_españa': 9,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 7, 'Pys_Av_americanas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 7, 'Pys_El_Arenal': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 8, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 2, 'Gasolinera_Primax_Solano': 13, 'Pys_Standard_Motors': 9,
'Primax_Gonzales_Suarez': 5, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 10,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americanas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 9, 'Pys_El_Arenal': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 11,
'Gasolinera_Riogas': 8, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 9,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 2, 'Pimax_Av_españa': 7,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americanas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 12, 'Pys_El_Arenal': 9,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 2, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 5, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 9, 'Pys_Av_americanas': 6}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal': 5,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 10, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 7, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 5,
'Primax_Gonzales_Suarez': 11, 'Terpel': 4, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 9, 'Pys_Av_americanas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal': 11,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 4,
'Gasolinera_Riogas': 8, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 10,
'Primax_Gonzales_Suarez': 6, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 9, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 3, 'Pys_Av_americanas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 8, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal': 8,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 3,
'Gasolinera_Riogas': 6, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 10,
'Primax_Gonzales_Suarez': 4, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 9, 'Pimax_Av_españa': 3,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 9, 'Pys_Av_americanas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 5, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 9, 'Pys_El_Arenal': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 13,

'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 9, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 3, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 1,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 5, 'Pys_Av_americanas': 7}
{'Gasolinera_Clyan': 4, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 3, 'Pys_El_Arenal': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 12, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 3, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 2,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 13,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 9, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 10, 'Pys_Av_americanas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 12, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 3, 'Pys_El_Arenal': 4,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 6,
'Gasolinera_Riogas': 8, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 10,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 4, 'Pys_Av_americanas': 10}
{'Gasolinera_Clyan': 5, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 6, 'Pys_El_Arenal': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 4, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 8,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 4, 'Primax_Gil_Davalos': 19, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 2, 'Pys_Av_americanas': 4}
{'Gasolinera_Clyan': 13, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 5, 'Pys_El_Arenal': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 5, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 11, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 5,
'Primax_Gonzales_Suarez': 4, 'Terpel': 5, 'Primax_Gil_Davalos': 9, 'Pimax_Av_españa': 4,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americanas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 9, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 8, 'Pys_El_Arenal': 4,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 10, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 11,
'Primax_Gonzales_Suarez': 9, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 6, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americanas': 3}
{'Gasolinera_Clyan': 1, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 11, 'Pys_El_Arenal': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 9, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 2,
'Gasolinera_Riogas': 3, 'Gasolinera_Primax_Solano': 8, 'Pys_Standard_Motors': 11,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 1, 'Primax_Gil_Davalos': 12, 'Pimax_Av_españa': 12,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americanas': 5}
{'Gasolinera_Clyan': 7, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 11, 'Pys_El_Arenal': 5,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 9, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 10, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 3,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 7, 'Pys_Standard_Motors': 7,
'Primax_Gonzales_Suarez': 1, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 8, 'Pys_Av_americanas': 7}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 3, 'Pys_El_Arenal': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 6, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 5,

'Gasolinera_Riogas': 4, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 5,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 7, 'Primax_Gil_Davalos': 7, 'Pimax_Av_españa': 13,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 10, 'Pys_Av_americas': 8}
{'Gasolinera_Clyan': 2, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 9, 'Pys_El_Arenal_': 7,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 7, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 4, 'Pys_Standard_Motors': 6,
'Primax_Gonzales_Suarez': 9, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 5,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 9, 'Pys_Av_americas': 9}
{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal_': 5,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 9, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 5, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 10,
'Gasolinera_Riogas': 5, 'Gasolinera_Primax_Solano': 5, 'Pys_Standard_Motors': 8,
'Primax_Gonzales_Suarez': 7, 'Terpel': 8, 'Primax_Gil_Davalos': 10, 'Pimax_Av_españa': 6,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 7, 'Pys_Av_americas': 5}

- Estaciones optimizadas

it 0 mincost 6241.311260839305
it 1 mincost 6213.147882635093
it 2 mincost 6196.747923719128
it 3 mincost 6176.5924219076205
it 4 mincost 6139.845932653206
it 5 mincost 6074.4600756323725
it 6 mincost 6063.586599569014
it 7 mincost 6052.559605776194
it 8 mincost 6052.559605776194
it 9 mincost 6052.559605776194
it 10 mincost 6052.559605776194
it 11 mincost 6052.559605776194
it 12 mincost 6006.751424542459
it 13 mincost 5995.377194654706
it 14 mincost 5995.377194654706
it 15 mincost 5995.377194654706
it 16 mincost 5995.377194654706
it 17 mincost 5974.077431000164
it 18 mincost 5974.077431000164
it 19 mincost 5974.077431000164
it 20 mincost 5974.077431000164
it 21 mincost 5974.077431000164
it 22 mincost 5974.077431000164
it 23 mincost 5974.077431000164
it 24 mincost 5974.077431000164
it 25 mincost 5974.077431000164

it 26 mincost 5974.077431000164
it 27 mincost 5974.077431000164
it 28 mincost 5974.077431000164
it 29 mincost 5974.077431000164
it 30 mincost 5974.077431000164
it 31 mincost 5971.267992177347
it 32 mincost 5971.267992177347
it 33 mincost 5971.267992177347
it 34 mincost 5971.267992177347
it 35 mincost 5971.267992177347
it 36 mincost 5971.267992177347
it 37 mincost 5971.267992177347
it 38 mincost 5971.267992177347
it 39 mincost 5971.267992177347

ESTACIONES OPTIMIZADAS

{'Gasolinera_Clyan': 6, 'Gasolinera_Terpel_Control_Sur': 4, 'Pys_El_Arenal_!': 6,
'Gasolinera_Eloy_Alfaro': 8, 'Pys_Calderon_de_la_Barca': 6, 'Gasolinera_Primax_Vista_Linda': 7,
'Gasolinera_Riogas': 7, 'Gasolinera_Primax_Solano': 6, 'Pys_Standard_Motors': 8,
'Primax_Gonzales_Suarez': 8, 'Terpel': 6, 'Primax_Gil_Davalos': 9, 'Pimax_Av_españa': 8,
'Primax_Rectigas_Tocasa': 6, 'Pys_Av_americas': 5}

Anexo 4. Flujo de caja para los 28 y 84 vehículos EV

- 28 vehículos EV

Flujo de Caja				
Años	Inversión	Ingresos	Egresos	Flujo Efectivo Neto
0	\$ 3.000.000,00	0	0	\$ -3.000.000,00
1		\$ 261.936,00	\$ 33.630,00	\$ 228.306,00
2		\$ 254.448,00	\$ 33.632,00	\$ 220.816,00
3		\$ 201.168,00	\$ 33.636,00	\$ 167.532,00
4		\$ 237.552,00	\$ 33.631,00	\$ 203.921,00
5		\$ 330.816,00	\$ 33.633,00	\$ 297.183,00
6		\$ 312.660,00	\$ 33.635,00	\$ 279.025,00
7		\$ 280.008,00	\$ 33.632,00	\$ 246.376,00
8		\$ 209.616,00	\$ 33.638,00	\$ 175.978,00
9		\$ 281.196,00	\$ 33.636,00	\$ 247.560,00
10		\$ 181.656,00	\$ 33.631,00	\$ 148.025,00
11		\$ 293.892,00	\$ 33.630,00	\$ 260.262,00
12		\$ 198.252,00	\$ 33.638,00	\$ 164.614,00
13		\$ 299.880,00	\$ 33.636,00	\$ 266.244,00
14		\$ 250.368,00	\$ 33.632,00	\$ 216.736,00
15		\$ 293.676,00	\$ 33.632,00	\$ 260.044,00
16		\$ 299.880,00	\$ 33.633,00	\$ 266.247,00
17		\$ 230.568,00	\$ 33.630,00	\$ 196.938,00
18		\$ 244.452,00	\$ 33.632,00	\$ 210.820,00
19		\$ 246.912,00	\$ 33.632,00	\$ 213.280,00
20		\$ 235.356,00	\$ 33.629,00	\$ 201.727,00

- 84 vehículos EV

Flujo de Caja				
Años	Inversión	Ingresos	Egresos	Flujo Efectivo Neto
0	\$ 3.000.000,00	0	0	\$ -3.000.000,00
1		\$ 762.672,00	\$ 40.891,00	\$ 721.781,00
2		\$ 976.740,00	\$ 40.896,00	\$ 935.844,00
3		\$ 594.300,00	\$ 40.894,00	\$ 553.406,00
4		\$ 851.436,00	\$ 40.894,00	\$ 810.542,00
5		\$ 788.496,00	\$ 40.891,00	\$ 747.605,00
6		\$ 983.652,00	\$ 40.888,00	\$ 942.764,00
7		\$ 894.720,00	\$ 40.891,00	\$ 853.829,00
8		\$ 699.864,00	\$ 40.890,00	\$ 658.974,00
9		\$ 796.716,00	\$ 40.892,00	\$ 755.824,00
10		\$ 731.904,00	\$ 40.891,00	\$ 691.013,00
11		\$ 834.024,00	\$ 40.887,00	\$ 793.137,00
12		\$ 735.948,00	\$ 40.894,00	\$ 695.054,00
13		\$ 560.124,00	\$ 40.890,00	\$ 519.234,00
14		\$ 520.548,00	\$ 40.889,00	\$ 479.659,00
15		\$ 834.996,00	\$ 40.892,00	\$ 794.104,00
16		\$ 936.588,00	\$ 40.893,00	\$ 895.695,00
17		\$ 553.332,00	\$ 40.894,00	\$ 512.438,00
18		\$ 530.700,00	\$ 40.896,00	\$ 489.804,00
19		\$ 877.476,00	\$ 40.891,00	\$ 836.585,00
20		\$ 633.072,00	\$ 40.890,00	\$ 592.182,00