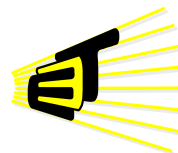


Proyección de las redes de distribución eléctrica urbanas de uso residencial ante el escenario de masificación del vehículo eléctrico

WILMER ENRIQUE RANGEL RODRÍGUEZ

CRISTIAN LEONARDO JAIMES LIZARAZO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2017

Proyección de las redes de distribución eléctrica
urbanas de uso residencial ante el escenario de
masificación del vehículo eléctrico

WILMER ENRIQUE RANGEL RODRÍGUEZ
CRISTIAN LEONARDO JAIMES LIZARAZO

Trabajo de grado para optar
el título de Ingeniero Electricista

Director
Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga
Doctor en Ingeniería Eléctrica.

Codirector
Gabriel Ordoñez Plata
Doctor en Ingeniería Eléctrica.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

A Dios por permitirme estar con vida en el transcurso de este camino con altibajos, por escucharme y darme fuerzas en esos momentos que desvanecía pero que al final siempre me iluminaba, culminando así este Gran Sueño de ser un profesional UIS.

A mis padres Ofelia Lizarazo y Luis Alberto Jaimes, por el apoyo incondicional sea cual fuera la circunstancia y ser la principal fuente de inspiración y motivación a lo largo de esta travesía, por ser mi ejemplo a seguir y hacer de mí una persona que no se cansa de luchar por cada sueño que se traza, este logro es por ustedes y para ustedes, sin ellos nada de esto habría sido posible.

A mi novia y mejor amiga Giselle Barajas, por apoyarme en esos momentos que solo ella lo sabía hacer, por ser sinónimo de amor y felicidad en mi vida y por creer en mí cuando aun yo no lo hacía.

A mis amigos en especial mi compañero de proyecto de grado, los del grupo "AmigosUIS" y los del "Garaje", por tantas alegrías y momentos compartidos y lo mas importante por estar ahí en la lucha de este sueño en común de ser Ingeniero Electricista.

Cristian Leonardo Jaimes Lizarazo

Índice general

Introducción	18
1 Generalidades sobre los vehículos eléctricos y su mercado	20
1.1 Los vehículos eléctricos y híbridos	21
1.1.1 Vehículo eléctrico (EV)	21
1.1.2 Vehículo Híbrido (HEV)	21
1.1.3 Vehículo Híbrido plug - in (PHEV)	22
1.2 Tipos de recarga	23
1.3 Modos de carga implementados a nivel mundial	25
1.4 Tipos de conectores	27
1.5 Vehículos que llegan al país	30
1.6 Problemas que han bloqueado el desarrollo del Vehículo Eléctrico	32
1.7 Incentivos a nivel mundial	34
2 Metodología para la proyección de la demanda de energía eléctrica residencial	37
2.1 Proyección de demanda de energía	40
2.1.1 Regresión lineal	43
2.1.2 Series de tiempo	45
2.1.3 Regresión por el método de mínimos cuadrados	52
2.1.4 Medio error cuadrático (MSE)	55
2.1.5 Metodología proyección de demanda	56
2.2 Caracterización del vehículo eléctrico	57

2.2.1	Tipo de vehículo	57
2.2.2	Modos de recarga	58
2.2.3	Baterías	58
2.2.4	Conectores	61
2.2.5	Vehículos	61
3	Modelo para la proyección del número de vehículos eléctricos en un área	63
3.1	Panorama automóviles a nivel mundial	63
3.1.1	Ventas vehículo eléctrico en el mundo	64
3.1.2	Automóviles eléctricos en Colombia	67
3.2	Formulación del modelo	68
3.3	Variables de las tecnologías	72
3.3.1	Costo del vehículo	72
3.3.2	Autonomía	74
3.3.3	Costos de operación	76
4	Simulación de la red de distribución sin considerar vehículos eléctricos	96
4.1	Estado actual	99
4.2	Simulación de la proyección de la demanda	106
5	Simulación de la red de distribución considerando vehículos eléctricos	116
5.1	Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona	116
5.2	Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico	121
5.3	Simulación de la red de distribución en un escenario valle.	132
5.3.1	Simulación de la red sin considerar el vehículo eléctrico.	134
5.3.2	Simulación de la red considerando el vehículo eléctrico.	136
5.4	Comparación de escenarios	138
6	Conclusiones	143

ÍNDICE GENERAL

Bibliografía	146
Anexos	148

Lista de Figuras

Figura 1.1	Tipología de los EVts	23
Figura 1.2	Modos de carga.	27
Figura 2.1	Zona de estudio	38
Figura 2.2	Comportamiento general	40
Figura 2.3	Relación positiva de línea recta.	43
Figura 2.4	Ejemplos de líneas de regresión en la regresión lineal simple. . .	44
Figura 2.5	Relaciones de tendencia curvilínea	47
Figura 3.1	Ventas mundiales de Vehículos	64
Figura 3.2	Países destacados en la adquisición y venta de VE en el 2016 . .	66
Figura 3.3	Factores variables para el criterio de decisión al adquirir una tecnología	69
Figura 3.4	Costos de operación del VCI (a), y Costos de operación del VE (b)	76
Figura 3.5	Precio por galón de gasolina.	78
Figura 3.6	Comportamiento histórico del Precio del pasaje Metrolinea. . .	86
Figura 3.7	Tarifas históricas kWh Estrato 6.	88
Figura 4.1	Barrajes y transformadores principales	98
Figura 4.2	Curva de demanda horaria sector residencial estrato 6	100
Figura 4.3	Curva de demanda horaria sector comercial	100
Figura 4.4	Comportamiento de los transformadores principales año 2036 .	114
Figura 5.1	Proyección de vehículos eléctricos en la zona	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.2 Curva de demanda horaria sector residencial estrato 6 133

Figura 5.3 Curva de demanda horaria sector comercial 133

Figura 5.4 Transformadores Principales 2036 137

Lista de Tablas

Tabla 2.1	Métodos implementados	42
Tabla 2.2	Conexión para recarga lenta	58
Tabla 2.3	Características principales de los EVs que llegan al país	61
Tabla 2.4	Vehículos BEV en el país y su promedio	62
Tabla 3.1	Ventas VE en el 2016.	67
Tabla 3.2	VCI y VE mas vendidos en Colombia	71
Tabla 3.3	Costo promedio del VCI 2016	72
Tabla 3.4	Costo promedio del VE 2016	73
Tabla 3.5	Precio VCI y VE con el índice de crecimiento del dolar	74
Tabla 3.6	Autonomía del VCI y VE para el tiempo de estudio [2017-2036]	76
Tabla 3.7	Distancia días laborales	78
Tabla 3.8	Costo anual de gasolina.	79
Tabla 3.9	Proyección costo de gasolina al 2037	80
Tabla 3.10	Cilindraje del VCI promedio	81
Tabla 3.11	Valor histórico SOAT (c.c >1500).	82
Tabla 3.12	Proyección SOAT (c.c >1500).	83
Tabla 3.13	Precios revisión técnico-mecánica para un VCI.	84
Tabla 3.14	Proyección del costo de la técnico-mecánica a 2037.	84
Tabla 3.15	Precio pasaje (metrolinea + colectivo) por año	85
Tabla 3.16	Precio proyectado por año a 2037 del Metrolinea + colectivo. . .	86
Tabla 3.17	Costo final de operación VCI	87
Tabla 3.18	Recorrido del VE en días dominicales	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.19	Costo anual de kWh.	90
Tabla 3.20	Valor proyectado de operación kWh	90
Tabla 3.21	Valor histórico SOAT (c.c <1500).	91
Tabla 3.22	Proyección SOAT (c.c <1500).	92
Tabla 3.23	Costo final de Operación VE	93
Tabla 3.24	Valor proyectado de mantenimiento VCI y VE.	95
Tabla 4.1	Transformadores Principales	101
Tabla 4.2	Transformadores de distribución	102
Tabla 4.3	Comportamiento de las líneas de Distribución	103
Tabla 4.4	Regulación de tensión	104
Tabla 4.5	Tabla de pronósticos	107
Tabla 4.6	Simulación sin VE en el año 2017	108
Tabla 4.7	Simulación sin VE en el año 2026	109
Tabla 4.8	Transformadores principales en el año 2026	109
Tabla 4.9	Transformadores de distribución 2028	110
Tabla 4.10	Transformadores de distribución en el año 2032	110
Tabla 4.11	Transformadores principales en el año 2032	111
Tabla 4.12	Transformadores principales en el año 2036	111
Tabla 4.13	Transformadores de distribución en el año 2036	111
Tabla 4.14	Tabla de conductores en el año 2036	112
Tabla 4.15	Regulación de tensión año 2036	113
Tabla 5.1	Vehículos Eléctricos Totales en un horizonte de 20 años	119
Tabla 5.2	Distribución anual de los VE	120
Tabla 5.3	Transformadores principales en el año 2025	122
Tabla 5.4	Transformadores principales en el año 2035	123
Tabla 5.5	Transformadores de distribución en el año 2035	125
Tabla 5.6	Transformadores de distribución año 2036	127
Tabla 5.7	Transformadores principales 2036	128

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.8	Tabla de conductores en el sistema en el año 2036	129
Tabla 5.9	Regulación de tensión año 2036	130
Tabla 5.10	Transformadores principales 2026	135
Tabla 5.11	Transformadores principales 2036	135
Tabla 5.12	Transformadores de distribución 2035	136
Tabla 5.13	Transformadores principales en el 2036	137
Tabla 5.14	Transformadores de distribución 2036	138
Tabla 5.15	Comparación transformadores principales	139
Tabla 5.16	Comparación transformadores de distribución	140
Tabla 5.17	Comparación de conductores de la red de distribución	141
Tabla 5.18	Comparación de la regulación de tensión año 2036	142

RESUMEN.

TITULO : PROYECCIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICAS URBANAS DE USO RESIDENCIAL ANTE EL ESCENARIO DE MASIFICACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.¹.

AUTORES : WILMER ENRIQUE RANGEL RODRÍGUEZ
CRISTIAN LEONARDO JAIMES LIZARAZO ²

PALABRAS CLAVE : Proyección de demanda, proyección del número de vehículos, vehículos eléctricos, Diagnóstico.

DESCRIPCIÓN : En este trabajo de grado se simulo una red de distribución real para un nivel de tensión *II* de una zona exclusiva de Bucaramanga, con el fin de conocer el comportamiento futuro de la red, donde se evaluó el estado actual de la red, las redes de distribución sin considerar los vehículos eléctricos y la red considerando los vehículos eléctricos en un horizonte de 20 años respectivamente, donde fue necesario plantear una metodología para la proyección de demanda y un modelo para proyectar el número de vehículos que llegarían a la zona.

Para la realización de estas proyecciones fue necesario realizar un análisis separado, donde primeramente se implementó para el pronóstico de demanda 9 modelos estadísticos, donde se dividen en series de tiempo y regresiones bajo el criterio de mínimos cuadrados. Por aspectos de confidencialidad y de estructuras estadísticas, no fue posible implementar un modelo general para todos los transformadores de la zona, ante esto se evaluó el comportamiento de los transformadores en cada uno de los modelos propuestos y se escogió el que más se ajustara bajo los criterios establecidos de elección. Y para el pronóstico del vehículo eléctrico se trabajó con el modelo Logit que consiste en hacer una comparación del vehículo eléctrico con el vehículo a combustión bajo los criterios de autonomía, costo del vehículo y costo de operación y evaluar el grado de aceptación por los usuarios residenciales de la zona.

Cada escenario fue evaluado en el programa de flujos de cargas DigSILENT, donde se analizó el comportamiento anual de cada simulación, resaltando la regulación y cargabilidad de los elementos de la red bajo los criterios que estipula la CREG 025 de 1995. Finalizando con un balance general y unas recomendaciones constructivas de cada simulación.

¹Trabajo de grado

²Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Dr. OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA. Codirector. Dr GABRIEL ORDOÑEZ PLATA

ABSTRACT.

TITLE : PROJECTION OF THE URBAN DISTRIBUTION NETWORKS ELECTRICAL FOR RESIDENTIAL USE UNDER THE SCENARIO OF PENETRATION OF THE ELECTRIC VEHICLE. ³

AUTHORS : WILMER ENRIQUE RANGEL RODRÍGUEZ
CRISTIAN LEONARDO JAIMES LIZARAZO ⁴

KEYWORDS : Demand projection, Projection of the number of vehicles, electric vehicles, Diagnosis.

DESCRIPTION : In this work, we simulate a real distribution network for a level of tension 11 of an exclusive area of Bucaramanga, In order to know the future behavior of the network, Where the current state of the network was evaluated, The distribution networks without considering the electric vehicles and the network considering the electric vehicles in a horizon of 20 years respectively, Where it was necessary to propose a methodology for the projection of demand and a model to project the number of vehicles that would reach the area.

For the realization of these projections it was necessary to carry out a separate analysis, Where first it was implemented for the demand forecast 9 statistical models, Which are divided into time series and regressions under the criterion of least squares. For aspects of confidentiality and statistical structures, It was not possible to implement a general model for all transformers in the zone, Before this the behavior of the transformers in each one of the proposed models was evaluated and the one that best adjusted under the established criteria of election. And for the forecast of the electric vehicle was worked with the model Logit that consists of making a comparison of the electric vehicle with the vehicle to combustion under the criteria of autonomy, Cost of the vehicle, cost of operation and evaluate the degree of acceptance by residential users in the area.

Each scenario was evaluated using the DigSILENT load flow simulation program, Where the annual behavior of each of the simulations was analyzed, Highlighting the regulation of voltage and loadability of the elements that make up the distribution network under the criteria stipulated in CREG 025 of 1995. Finalizing with a general balance and some constructive recommendations of each simulation.

³Work degree.

⁴ Industrial University of Santander. Faculty of Mechanical Physics. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Dr. OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA. Codirector. Dr GABRIEL ORDOÑEZ PLATA

Introducción

Dado el interés creciente de la sociedad por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de energías limpias, el vehículo eléctrico se viene posicionando como alternativa de transporte en lugar del vehículo convencional. Se espera que con la evolución tecnológica, se reduzcan los costos de producción de los vehículos eléctricos, se mejore su autonomía y su uso se pueda masificar.

El vehículo eléctrico funciona con baterías que deben recargarse de la red eléctrica, por lo cual, ante su uso, serán cargas especiales para el sistema eléctrico. Por tanto, en este trabajo se pretende analizar el comportamiento de las redes de distribución, dedicadas al sector residencial en el entorno local, ante un escenario de masificación de este medio de transporte

La planificación y expansión de los sistemas de distribución es uno de los retos que enfrentan a diario los operadores de red, que deben prever las necesidades de suministro de energía futuro, bajo diversos escenarios de crecimiento de la demanda y para distintos tipos de usuarios como son: los residenciales, los comerciales e industriales. A partir de las proyecciones de demanda de energía se puede estimar cuando intervenir el SDL para garantizar su adecuado desempeño.

Para este trabajo de grado se escogió como caso de estudio un sector exclusivo de Bucaramanga, con el fin de aplicar las metodologías estudiadas que permiten evaluar el comportamiento de la red ante un escenario de masificación del vehículo eléctrico.

La red existente, se evalúa para un horizonte de planeación, considerando los criterios de desempeño exigidos por la CREG 025 del 1995 que son: regulación de tensión y cargabilidad de los elementos que conforman la red de distribución.

Realizadas las proyecciones de demanda, el diagnóstico de la red, se adelanta con la ayuda del software DigSILENT, para un horizonte de 20 años, donde se revelará año tras año, las irregularidades que presenta la red. Estos resultados permiten formular recomendaciones para mejorar el desempeño de la red de distribución.

Este documento se estructura en seis capítulos, El primer capítulo consiste en las generalidades del vehículo eléctrico y el despliegue que este medio de transporte ha desarrollado a nivel mundial; el segundo capítulo consta en la metodología implementada para proyectar la demanda de energía; en el capítulo tercero se plasma detalladamente el modelo estructurado para proyectar el número de vehículos que llegan a la zona de estudio; el cuarto capítulo contiene la simulación y recomendaciones de la red de distribución sin considerar la llegada del vehículo eléctrico; el capítulo quinto consiste en la simulación, recomendaciones de la red de distribución considerando la llegada del vehículo eléctrico y comparación de los escenarios evaluados; y por último se presentan las conclusiones, junto a los anexos y referencias que sustentan los resultados obtenidos.

Generalidades sobre los vehículos eléctricos y su mercado

El vehículo eléctrico es una apuesta que surge como respuesta ante la bien conocida problemática ambiental, causada por el uso excesivo de combustibles fósiles.

No obstante, la llegada del vehículo eléctrico, trae consigo nuevos retos, principalmente para la red de distribución eléctrica, que ante un escenario de masificación de este tipo de cargas, se pueden llegar a impactar la calidad de la energía eléctrica suministrada. Dentro los problemas que pueden aparecer en la red, se desatacan: desbalances de tensión, y sobrecargas en los transformadores.

Ante dicho escenario de masificación del vehículo eléctrico, es necesario proyectar el desempeño de la red de distribución y proponer acciones de mejora para prevenir impactos negativos sobre el correcto funcionamiento del sistema de distribución eléctrico.

En este capítulo se revisaran aspectos técnicos del vehículo que determinan su inter-

1.1. Los vehículos eléctricos y híbridos

acción con la red, como son la demanda, los modos y tiempos de recarga. Así mismo, se revisaran los niveles de penetración de esta tecnología en el entorno internacional y local.

SECCIÓN 1.1

Los vehículos eléctricos y híbridos

Las topologías y las principales características tecnológicas de los vehículos eléctricos se describen a continuación:

1.1.1 Vehículo eléctrico (EV)

Los EV son aquellos que para su tracción implementan uno o varios motores eléctricos. La energía eléctrica es almacenada en baterías, las cuales se cargan mediante una fuente externa de alimentación [8]. Para la recarga de las baterías es indispensable conectarse a un toma corriente, ya sea de baja potencia (recarga lenta) o de alta potencia (recarga rápida). Entre las características principales que se destacan del VE es que no emite gases combustión, no produce contaminación auditiva y su costo de mantenimiento es reducido.

1.1.2 Vehículo Híbrido (HEV)

Estos vehículos poseen un motor de combustión interna y un motor eléctrico, utilizados para la tracción de estos, a diferencia de los vehículos eléctricos, los híbridos utilizan el motor de combustión para recargar las baterías mediante el generador que este tipo de vehículos posee, además recargan también las baterías mediante el sistema de freno regenerativo[8]. Los HEV proporcionan una mayor eficiencia energética a comparación de los vehículos convencionales, ya que estos permiten reducir el consumo de combustible al aumentar la participación del motor eléctrico como fuente de propulsión [4].

1.1. Los vehículos eléctricos y híbridos

Otra características que hacen que sobresalga, es el buen uso del combustible fósil, en ocasiones cuando ocurre congestión vehicular evitando el funcionamiento del motor a combustión y posibilitando el suministro de energía a equipos auxiliares y funcionamiento, bajo esta pequeña introducción se presentara las configuraciones de fabricación de un vehículo híbrido[8].

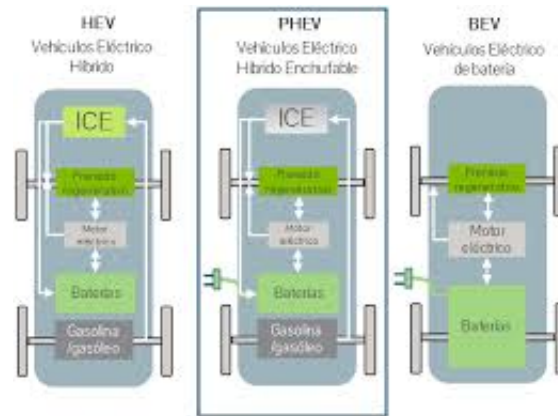
- **Híbridos en serie:** Este tipo de híbridos tiene una propulsión mixta, combinando el funcionamiento de los dos motores, indicando que estos vehículos utilizan un motor de combustión interna para recargar las baterías que abastecen el motor eléctrico logrando impulsar el vehículo. Debido a esto el motor de combustión solo funciona para abastecer el generador y el motor eléctrico es el encargado de brindar la tracción a las ruedas. La principal ventaja que ofrece es que el modelo utilizado posee un diseño mecánico muy simple. la desventaja es que toda la energía producida por el motor térmico debe atravesar el generador, sufriendo perdidas debido a la transformación[8, 7]
- **Híbrido Paralelo:** Este tipo de vehículo utiliza el sistema eléctrico y el de combustión en paralelo, el motor térmico entra en funcionamiento cuando el vehículo necesita más energía, y al estar parado aprovecha la ganancia de energía por el freno regenerativo para abastecer las baterías, un vehículo híbrido en paralelo trabaja la mayor parte solo con el motor eléctrico. Este funcionamiento es ideal ya que no produce tanta contaminación a comparación de la otra configuración, aunque tiene la desventaja que las baterías implementadas para este tipo de híbrido, poseen una baja autonomía[8].

1.1.3 Vehículo Híbrido plug - in (PHEV)

Los vehículos híbridos plug - in (PHEV), aprovechan el frenado regenerativo y además posee baterías que pueden cargarse mediante la red eléctrica. Los PHEV usan el motor a combustión como fuente principal de potencia, cuando se enciende el vehículo

1.2. Tipos de recarga

Figura 1.1: Tipología de los EVts



FUENTE: WWF/ ADENA. Tipología de vehículos eléctricos.[En línea]. Energía y sociedad. 2016 (Recuperado el 10 de Agosto del 2016) Disponible en <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>

la batería abastecen todos los accesorios únicamente si las baterías se encuentran cargadas o capaces de suplir esta función, de lo contrario el motor de combustión se enciende. Además si se necesita mayor potencia para una mayor velocidad y aceleración pueden funcionar los dos motores al mismo tiempo[11].

SECCIÓN 1.2

Tipos de recarga

Existen distintas modalidades para recargar los vehículos eléctricos, las cuales suelen clasificarse por la velocidad de recarga y la potencia implementada. Las principales tipos de recarga son: Recarga lenta, semi-rápida, recarga rápida y cambio de baterías.

Con base a lo anterior se presentaran a continuación las características principales de estos modos :

1.2. Tipos de recarga

- Recarga lenta: La recarga convencional es la que se encuentra comúnmente en los hogares, donde se emplea una corriente y una tensión de (16A y 230 V). Lo que indica que la potencia que puede suministrar él toma de uso residencial es de aproximadamente 3.7 kW. Este tipo de recarga implica un tiempo aproximado de carga para las baterías alrededor de 8 horas. Esta es una solución óptima, fundamentalmente para realizar la recarga del vehículo durante el transcurso de la noche en el garaje del lugar de la residencia, donde será eficaz su recarga ya que en el periodo nocturno la curva de demanda es baja ¹.
- Recarga semi-rápida: Esta recarga igual que le recarga convencional puede realizarse en el garaje de residencia, pero este a diferencia del anterior es que necesita una corriente y una tensión de (32 A y 230 V).Lo que nos indica que nos genera una potencia en él toma residencial aproximadamente de 7.3 kW. Esta recarga de batería implica un tiempo de recarga alrededor de 4 horas aproximadamente. Este igual que la recarga convencional es favorable realizar su recarga en horario nocturno donde no se véra afectada la red de distribución ya que la curva de demanda en este periodo es baja ²
- Recarga Rápida: La recarga rápida a comparación que las anteriores, es necesario realizar una estación de recarga comúnmente llamada electrolinerías o podría realizarse la adecuación de la red eléctrica existente para la recarga de la batería en el lugar de residencia. Este modo de recarga necesita en sus terminales una potencia en el orden de los 50 kW, con el fin de realizar la recarga en aproximadamente 15 minutos el 65 % de la capacidad de la batería ³.
- Cambio de baterías:

Este tipo de recarga como su nombre lo dice es un cambio de batería por otra,

¹ENDESA EDUCA. El coche eléctrico. [En Línea]. 2014. Recuperado el (15 de Junio del 2016). Disponible en http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico

²Ibíd.,

³Ibíd.,

1.3. Modos de carga implementados a nivel mundial

consiste en reemplazar su batería agotada por otra que se encuentre cargada, este tipo de recarga se realiza en lugares específicos donde cuenten con la disponibilidad del servicio de energía y operadores especializados para el cambio y recarga de baterías.

SECCIÓN 1.3

Modos de carga implementados a nivel mundial

El usuario tiene entendido que el abastecimiento de carga de un vehículo eléctrico es tan simple como conectar un aparato eléctrico a un toma corriente, sin embargo, para que esto se lleve a cabo con total seguridad, el sistemas de carga debe poseer diferentes funciones de seguridad y tener una comunicación bidireccional durante la conexión y carga del vehículo.

En la actualidad existen 4 maneras de cargar su vehículo estandarizados a nivel mundial por la IEC 61851, que se definen como "Modos ", donde se caracterizan por el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico, el sistema eléctrico y el control que puede tener sobre el proceso de carga. Los dos primeros modos de carga son implementados en el área residencial empleados por los conectores que traen los automóviles, sin embargo estos pueden ser adaptados a los otros modos de carga, donde se diferencian en la comunicación y en el control de la potencia de suministro .

A continuación se nombraran los 4 modos de carga establecidos:

- Modo 1: Esta conexión es realizada directamente con un toma de corriente monofásico o trifásica de tipo convencional. No hay ninguna comunicación entre el vehículo y la red, este cuenta con un sistema de puesta tierra. El cargador, el sistema de control y el cable como tal hacen parte de los accesorios del vehículo eléctrico [10].
- Modo 2: Esta conexión es obtenida por un toma corriente monofásica o trifásico

1.3. Modos de carga implementados a nivel mundial

tipo convencional a través de un monitor de recarga. Utilizado para carga doméstica. El cable utilizado para la conexión es un dispositivo con función hilo piloto para garantizar el control que implica la conexión del vehículo eléctrico limitado a 10 A (2.4kW) ⁴. [10].

- Modo 3: En este caso la conexión se realiza mediante toma corrientes especiales donde incorpora protecciones y un conector que funciona como hilo piloto para el proceso de carga, donde se caracteriza por las siguientes funcionalidades: comprobación continua de la toma corriente, activación y desactivación de la carga, selección de la potencia dependiendo de las características del vehículo, permite recargas monofásicas y trifásicas hasta una potencia de 43 kW y puede ser utilizado para cualquier tipo de vehículo ⁵.
- Modo4:En este caso la recarga es realizada por terminales inteligentes con la intención de una recarga rápida a alto grados de potencia en corriente continua, con una potencia que va desde los 22 kW hasta los 50 kW. En este modo existe comunicación constante por lo cual el terminal sabe en que estado se encuentra la batería eléctrica ⁶.

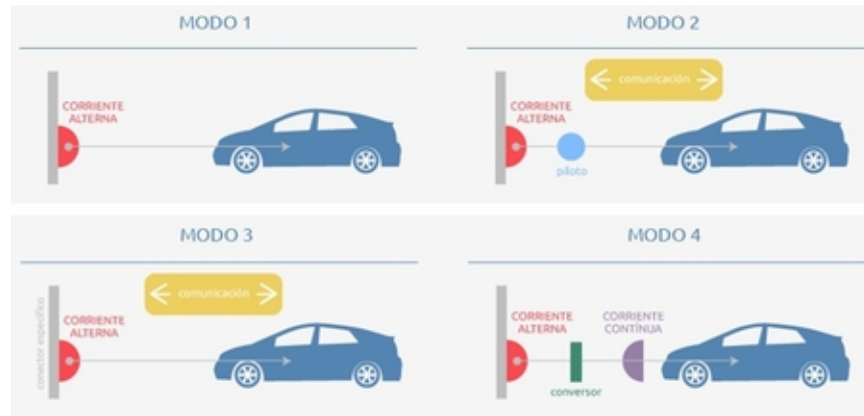
⁴IBIL. Modos de carga. [En Línea]. 2014. Recuperado el (Agosto 8 del 2016). Disponible en <https://www.ibil.es/index.php/es/movilidad-electrica/la-recarga/modos-de-recarga>

⁵Ibíd.,

⁶Ibíd.,

1.4. Tipos de conectores

Figura 1.2: Modos de carga.



FUENTE: IBAÑEZ. Tipos de conectores, tipos de recarga y modos de carga. [En línea]. Motor pasión.2012. (Recuperado el 12 de agosto del 2016) Disponible en <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/tipos-de-conectores-tipos-de-recarga-y-modos-de-carga>

SECCIÓN 1.4

Tipos de conectores

A nivel mundial han surgido diferentes avances e innovaciones en el tipo de conector a utilizar, con el fin de transmitir la energía necesaria para suplir la demanda de los vehículos eléctricos, donde se caracterizan por los escenarios donde son utilizados, como es el caso residencial, comercial y industrial, además en la corriente capaz de soportar, protecciones y en el nivel de comunicación que comparte con la red. Ante la llegada de estos conectores al país, se deben regir por lo establecido en la sección 625 de la NTC 2050 y lo estipulado en el RETIE. Bajo estas restricciones en el país, a continuación se mencionaran los tipos de conectores comúnmente utilizados para la conexión del vehículo con la red [10].

- Tipo schuko: Responde al estándar CEE7/4 tipo F es adaptable a las tomas de corriente europea. Este tipo de conector tiene dos bornes, y uno empleado para

1.4. Tipos de conectores

la puesta a tierra, capaz de soportar hasta una corriente de 16A y una tensión de 220 V. Empleado única e exclusivamente para recarga y sin comunicación bidireccional con la red ⁷ [10].

- SAE J1172 : Es un tipo de conector conocido como Yazaki, es el conector estandarizado de estados unidos. Este permite un incremento de potencia hasta en el orden de los 16.8kW, este puede ser implementado de manera bifásica o trifásico entregado un nivel de tensión de 120-240 V respectivamente y una corriente hasta de 70 A. Es un conector de 43mm de diámetro con 5 bornes, 2 bornes de corriente, uno de tierra y dos complementarios empleados para la detención de proximidad y el otro para el control de la comunicación con la red ⁸ [10].
- Mennekes: Es un conector fabricado en Alemania de carácter industrial, a priori no específico para vehículos eléctricos. Posee un diámetro de 55 mm. Con 7 bornes, 4 de estos son utilizados para corriente trifásica, otro para la protección a tierra y la comunicación con la red. Es empleado en monofásico hasta 16 A utilizado para la recarga lenta y para trifásico soportando una corriente hasta de los 63 A (43.8 kW) utilizado para la recarga rápida ^{9 10} [10]

⁷BOHÓRQUEZ, José Armando; et al. Revisión y análisis de la normatividad actual de productos y equipos eléctricos frente a la entrada de vehículos eléctricos en Colombia. [Base de datos en línea] 16 de Septiembre del 2011. Revista Investigaciones Aplicadas. (Recuperado en 10 Septiembre del 2017). Disponible en <file:///C:/Users/asus/Downloads/Dialnet-RevisionYAnalisisDeLaNormatividadActualDeProductos-5001682.pdf>

⁸Ibíd .,

⁹AYUSO MARTÍN, José Manuel; et al. Diseño de una marquesina solar fotovoltaica en la Plaza Campus Universitario y sistema de recarga de coches eléctricos en el aparcamiento subterráneo. España. 2015

¹⁰CERNUDA NAVARRO, Luis Ángel. Análisis del Impacto sobre la Curva de Demanda. Diferentes Escenarios de Recarga de Vehículos Eléctricos. 2016

1.4. Tipos de conectores

- Conector combinado o CCS: Ha sido propuesto por los norteamericanos y alemanes como iniciativa de solución. Este posee 5 bornes, utilizados para la corriente, protección a tierra y comunicación con la red. Es empleado para recarga lenta como para recarga rápida ¹¹ [10].
- Scame o tipo 3: Es conocido también como EV Plug in Alliance, propuestos e implementados por los franceses. Este conector tiene la capacidad de ser implementado como para 7 bornes o 5 según sea su uso, ya sea para corriente monofásica o trifásica, tierra y para la comunicación para la red. Esta clase de conector soporta hasta una corriente de 32 A, implementado para recargas semi-rápidas ¹² [10].
- CHAdeMO: Es el estándar de los fabricantes de automóviles eléctricos en Japón. Su uso fue diseñado específicamente para recarga rápida en corriente continua. Este conector posee 10 bornes empleados para la corriente, puesta a tierra y comunicación con la red, además posee la capacidad de soportar una corriente hasta de 200 A ¹³ [10].

¹¹AYUSO MARTÍN, Op. cit.,

¹²Ibíd .,

¹³Ibíd .,

1.5. Vehículos que llegan al país

SECCIÓN 1.5

Vehículos que llegan al país

A continuación se enumeraran las distintas empresas automotoras que han apostado por esta iniciativa como: BMW, Renault, KIA, Mitsubishi y BYD que han llegado a Colombia . Debido a esto se presentara un resumen de las características técnicas y físicas de los vehículos eléctricos e híbridos entrantes al país ¹⁴. Como es el caso de:

- **BYD E6** Es un vehículo puramente eléctrico fabricado en china en el 2010 por BYD autos, que se caracterizan que su batería es elaborada en litio hierro fosfato con una potencia de 122 CV, hasta alcanzar una velocidad de 140 km/h. Con una autonomía que va desde los 204 a 300 km y un peso de 2380 Kg. Su precio está en alrededor de los 50000 dólares y en el 2013 ruedan en Bogotá 43 taxis de esta marca. Esta marca además de fabricar vehículos también hace baterías para reconocidas marcas a nivel mundial para celulares de alta gama.
- **BMW i3:** Este vehículo es fabricado en Alemania por BMW, es una versión que llego puramente eléctrico e híbrido, posee 5 puertas diseñadas para transportar 4 pasajeros y sacada al mercado para su comercialización en el 2013. Esta innovación cuenta con una autonomía de 160 km dependiendo del conductor, condiciones del camino y clima. Su batería es elaborada a partir de iones de litio con una potencia de 130 kW y un peso del vehículo en su totalidad en el orden de los 1270 kg, donde su carrocería es fabricada en fibra de carbono. Su precio esta alrededor de 180 millones de pesos debido a sus características de elaboración su valor es elevado.
- **Mitsubishi iMiev:** Este carro es fabricado en Japón y lanzado al mercado para su comercialización en el 2009 con una potencia de 48.5 kW. Estos vehículos están

¹⁴JARAMILLO, Jose Agustin. Cuales son los carros híbridos y eléctricos que se consiguen en Colombia.[En línea]. Revista Don Juan. Colombia. 2015. (Recuperado el 3 de Agosto del 2016). Disponible en <http://www.revistadonjuan.com/tecnologia/autos-electricos-2015-vea-los-carros-que-puede-comprar-en-el-pais+articulo+16389407>

1.5. Vehículos que llegan al país

equipados con una baterías de ion litio, alcanzando una velocidad máxima hasta de 130 km/h y una autonomía de 160 km dependiendo de su manejo. Este vehículo tiene un peso en el orden de los 1080 kg y su precio está en alrededor de los 90 millones de pesos. Este fue el primer vehículo que llego a innovar Colombia con una flota de 32 vehículos, todos comprados por las empresas Codensa y Emgesa.

- **Renault twizy:** Este es un vehículo de la marca francesa Renault pero fabricado en la planta de Valladolid España. Este vehículo fue lanzado a su comercialización en el 2011 con una potencia de 13 kW. Este posee una batería de ion litio que hace que llegue a una autonomía hasta de los 100 km, alcanzando una velocidad máxima de 80 km/h. Este vehículo tiene un peso de 690 kg incluyendo peso de la batería y su precio está en el orden de los 40 millones de pesos. Este vehículo llego a Colombia en dos versiones la twizy cargo y la twizy technic, que se diferencian que el cargo trae un solo puesto con un baúl pequeño y el otro tiene capacidad de para dos personas.
- **Soul EV** Es un vehículo puramente eléctrico fabricado por la marca coreana KIA y sus ventas empezaron en el 2014. Este vehículo llego al país con un nuevo tipo de batería llamada polímeros de iones de litio con una capacidad de 27 kW/h y brindando una autonomía de 200 km. Este carro tiene un motor eléctrico con una potencia de 111 CV capaz de llegar una velocidad de 145 km/h y un peso de 1300 kg , es la primera camioneta puramente eléctrica que llega al país con la intención de posesionarse en el mercado con un precio de 132 millones de pesos. .
- **Bmw i8:** Es un vehículo híbrido enchufable fabricado en Alemania por la empresa BMW y lanzado al mercado para su comercialización desde el 2009. Este vehículo tiene 2 motores, el de combustión y el eléctrico, con una potencia de 231 kW y 96 kW respectivamente. Este posee una batería de ion litio de alto voltaje refrigerada por agua con una autonomía de 600 km y una velocidad máxima de 250 km/h. Este vehículo tiene un peso de 1565 kg con su carrocería fabricada en fibra de carbono y su precio está alrededor de los 680 millones de pesos.

1.6. Problemas que han bloqueado el desarrollo del Vehículo Eléctrico

- **Outlander PHEV:** Es un vehículo híbrido enchufable fabricado en Japón por la empresa automotora Mitsubishi y lanzado al mercado para su comercialización desde el 2013. Este carro posee tres motores, uno de combustión y dos motores eléctricos, con una potencia el de combustión de 90.23 kW y los motores eléctricos cada uno de 61.2 kW, estos últimos ubicados en la parte delantera y trasera del vehículo brindando una mayor tracción en las ruedas. Este vehículo posee una batería ion litio brindando una autonomía hasta de 800 km combinando los dos motores y alcanzando una velocidad en el orden de los 170 km/h. Esta camioneta pesa alrededor de los 1820 kg y llegando a Colombia en un precio de 185 millones de pesos.
- **BYD Qin:** Es un vehículo híbrido enchufable fabricado en china por BYD autos y lanzado a su comercialización en el 2012. Este auto posee 2 motores, uno eléctrico y uno a combustión, estos con una potencia 148 hp y 152 hp respectivamente. Este vehículo trae una batería fosfato de hierro litio, garantizando una autonomía de 800 km combinando el uso total de los dos motores y alcanzando una velocidad máxima de 185 km/h. Este automóvil pesa 1720 kg y está en Colombia con un precio en el orden de los 105 millones de pesos.

Y a pesar de llegar diferentes variedades de carros al país, el nivel de penetración es muy bajo esto radica por el precio del vehículo, su autonomía, poca infraestructura de recarga, incentivos, variedad de modelos en el país y nivel de conciencia ambiental por parte de los usuarios en apostar en este tipo de vehículos.

SECCIÓN 1.6

Problemas que han bloqueado el desarrollo del Vehículo Eléctrico

A nivel nacional existen diferentes alternativas para comprar automóviles eléctricos e híbridos, pero en la actualidad existen barreras que impiden su comercialización en el

1.6. Problemas que han bloqueado el desarrollo del Vehículo Eléctrico

país, de esta manera se nombraran a continuación esos inconvenientes que obstaculizan la implementación del transporte eléctrico:[8].

- Uno de los problemas más significativos es el precio que asume el usuario por la compra del vehículo, ya que en el país no existen incentivos contundentes que promuevan la accesibilidad al vehículo, pero este paradigma debe cambiar, ya que hay empresas apostando por implementar tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente, fabricando vehículos con precios asequibles para la sociedad con la intención de incrementar su economía y generar incentivos por parte del estado en un escenario de masificación
- Otro inconveniente es la autonomía, ya que a diferencia de los vehículos híbridos que poseen un motor a combustión de apoyo, hace que la autonomía de este aumente satisfactoriamente, en cambio los carros eléctricos que llegan al país su autonomía no supera los 200 km, que hace necesario su recarga más seguidamente a comparación del híbrido. Además en el país se carece actualmente de infraestructura de recarga, que hace que su recarga sea exclusivamente en lugares específicos por el usuario. Debido a su baja autonomía, también provoca inconvenientes en realizar trayectos largos.
- Otra de las barreras sería la vida útil de las baterías, ya que vienen diseñados con un cierto número de ciclos de recarga, provocando en un tiempo futuro un costo adicional en una nueva batería. Es claro resaltar porque es un inconveniente representativo, ya que estas baterías a comparación a las utilizadas en un vehículo a combustión son exageradamente más costosas, sin embargo esto podría cambiar ya que en la actualidad hay muchas empresas innovando en crear una batería más eficiente y a un valor más económico que las que se encuentran en la actualidad. Además es claro considerar como debe ser el manejo de los residuos, como es el caso de las baterías ya que no existe un protocolo a seguir para que estas no generen un impacto ambiental, debido a los materiales tóxicos y corrosivos que se utilizan para su fabricación.

1.7. Incentivos a nivel mundial

- En la actualidad no existe una normativa, ni una regulación en el país tanto como para el vehículo, como para el sistema de conexión de recarga de las baterías. Sin embargo hay procedimientos que no pueden ser aún normalizados debido a los continuos avances tecnológicos que se están dando en las distintas áreas que involucra el vehículo enchufable. Esta ausencia y demora en la creación de normas para el vehículo, es a causa que no se hace investigación y desarrollo en estudios relacionados con el transporte eléctrico, ya que es necesaria una previa investigación, para abordar satisfactoriamente la llegada del vehículo al país.

SECCIÓN 1.7

Incentivos a nivel mundial

Existen muchos inconvenientes para la implementación de esta nueva tecnología en el país, ya que no se promueve en la investigación, el desarrollo y en los incentivos estatales en promover la llegada del vehículo eléctrico. Ante esta problemática se presentaran los incentivos que promueven la compra del vehículo en países donde la impulsión de este a logrado a tener cifras satisfactorias.

- **China:** Este país posee bastantes incentivos, debido a esto es el país con los mayores índices de ventas de vehículos eléctricos en el 2016. Ante esto uno de los incentivos más representativos es promover la compra de vehículos de fabricación local, lo que hace que las empresas locales apuesten e innoven en esta tecnología. Además existe un subsidio hasta 9670 dólares por la compra de un vehículo eléctrico híbrido enchufable. También hay incentivos para el desarrollo, donde se invirtió 6.5 billones de yuanes para proyectos de demostración ^{15 16}.

¹⁵RODRÍGUEZ, Ivett. Asi incentivan compra de autos eléctricos en otros países.[En línea]. Manufactura. 2015. (Recuperado 12 de Julio del 2016). Disponible en <http://www.manufactura.mx/automotriz/2015/08/07/asi-incentivan-compra-de-autos-electricos-en-otros-paises>

¹⁶PAYÁ, Agustín. Aún más incentivos por la compra de un coche eléctrico en China. [En línea]. 20 minutos. 2014. (Recuperado 12 de Agosto del 2016). Disponible en <http://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2014/09/06/>

1.7. Incentivos a nivel mundial

- **Estados unidos** El gobierno estatal ha decidido que los compradores de vehículos eléctricos serán favorecidos con un incentivo, el cual es un crédito fiscal que reduce efectivamente el costo del vehículo hasta 7500 dólares. Además hay un crédito fiscal de 30000 dólares máximo para la instalación de estaciones de recarga comercial en un 30 % y también existe un crédito fiscal hasta de 1000 dólares para los usuarios que compren un cargador residencial. Con base a esto es el país con más número de vehículos matriculados ^{17 18}
- **Noruega:** El incentivo que existe y el más contundente de todos, que a comparación de los demás países del mundo la conciencia con el medio ambiente es un factor primordial , por ende es el país que posee mayor número de vehículos eléctricos e híbridos matriculados por habitante superando a las potencias mundiales. A parte de esto hay incentivo por la compra del vehículo, como la exención de IVA uno de los más altos de Europa, además exención o reducción del pago de peajes, transbordadores o puentes., aparcamiento gratuito en la mayoría de las ciudades y zonas de estacionamiento preferencial. También hay recarga gratuita en algunos lugares ya que existe abundancia de energía eléctrica siendo uno de los países con mayor exportación de petróleo. Sin embargo en el 2017 han decidido reducir incentivos para la compra del vehículo eléctrico ya que han logrado metas estupendas ^{19 20} .
- **Francia:** En Francia hay ayuda por parte del estado con 10000 euros para estimular la compra de un vehículo eléctrico si a cambio abandona su carro a diésel con

aun-mas-incentivos-por-la-compra-de-un-coche-electrico-en-china/

¹⁷RODRÍGUEZ, Op. cit.,

¹⁸MORGAN, Enrique. Seis muy buenas razones para comprar un auto eléctrico. [En línea]. La opinión. 2015. (Recuperado 12 de Agosto del 2016). Disponible en <http://www.laopinion.com/2015/12/16/buenas-razones-comprar-auto-electrico/>

¹⁹BAEZA, Marcos. Noruega, un mundo eléctrico ideal.[En línea]. El motor. 2016. (Recuperado 12 de Agosto del 2016). Disponible en <http://motor.elpais.com/electricos/noruega-un-mundo-electrico-ideal/>

²⁰MOVILIDAD ELÉCTRICA. Así quedarán los incentivos en Noruega. [En línea]. 2016. (Recuperado 12 de Agosto del 2016). Disponible en <http://movilidadelctrica.com/asi-quedaran-los-incentivos-noruega/>

1.7. Incentivos a nivel mundial

una antigüedad de 10 años y si es un vehículo híbrido la compra se le remunerara 6500 euros. Donde este valor incluye, el subsidio a vehículos con emisiones de CO2 inferiores a 20 g/km de 3700 euros, y para vehículos con emisiones entre los 21 a 60 g/km con un monto de 2500 euros. Además hay incentivos en 50 millones de euros para cubrir el 50 % del costo de la estación de recarga. Y por último hay ayuda en impulsar al desarrollo e investigación de los vehículos eléctricos con 140 millones de euros ^{21 22}

- **Japón:** Es uno de los países que se han vendido un gran número de vehículos eléctricos y baterías para este, ya que son potencia mundial y las fábricas de Nissan, Mitsubishi y Panasonic son japonesas, sabiendo que Nissan es una de las marcas con mayores ventas de vehículos eléctricos. Entre sus incentivos se encuentran es que el gobierno apoya la mitad de la diferencia entre el vehículo eléctrico y su equivalente en gasolina. Además hay financiamiento de la mitad del costo del cargador que tienen un costo de 1.5 millones de yenes ^{23 24}

²¹RODRÍGUEZ; Op. cit.,

²²MOVILIDAD ELÉCTRICA. Francia amplía las ayudas a los coches eléctricos. [En línea]. 2015. (Recuperado 12 de Agosto del 2016) Disponible en <http://movilidadelectrica.com/superbonus-francia/>

²³RODRÍGUEZ; Op. cit.,

²⁴AGUILAR, Carlos Arturo. Países con mejor escenario para autos eléctricos..[En línea]. Motor bit. 2016. (Recuperado 12 de Julio del 2016). Disponible en <http://motorbit.com/los-paises-con-mejor-escenario-para-los-vehiculos-electricos/?pais=>

2

Metodología para la proyección de la demanda de energía eléctrica residencial

La intención de este proyecto de grado es dar a conocer el impacto en las redes de distribución futura, sin embargo en este capítulo solo se analizara la metodología implementada para proyectar demanda de energía, la cual se clasifica por la estructura teórica de los modelos implementados, elección del modelo y secuencia de pasos establecidos para elegir el método para proyectar la demanda por transformador.

Primeramente fue necesario contar con la zona de estudio, por lo cual fue indispensable elegir una zona que se comportara con las características necesarias para proyectar el vehículo eléctrico, una de las características consistía en impactar una red de distribución que hiciera parte de un sector socio económico 5 ó 6, debido a que estos usuarios cuentan con la capacidad de adoptar este tipo de vehículo como medio de transporte ya que su precio ha radicado en el despliegue de esta nueva tecnología, generalmente

este tipo de tecnologías tiende a impactar primeramente a estos tipos de usuarios.

Además se escogió este tipo de usuarios por que la demanda de ellos tiende a ser elevada y variante, ya que particularmente están innovando en comprar artículos electrónicos para satisfacer sus gustos y necesidades, por lo cual estos usuarios cuentan con infraestructura eléctrica para abastecer cargas especiales en sus hogares como lo es (un aire acondicionado, el sauna, la piscina, el jacuzzi y domótica en sus hogares), ya que la finalidad de este proyecto inicialmente es impactar las redes de distribución residencial.

Bajo estos criterios se eligió un sector residencial exclusivo de Bucaramanga que contara con las condiciones establecidas anteriormente como se muestra en la figura 2.1 , por lo cual se gestiona con un operador de red local que contara con estas especificaciones y se pudiera simular una red de distribución real partiendo de las condiciones de confidencialidad que el operador de red propusiera.

Figura 2.1: Zona de estudio



FUENTE: Google earth

Una vez acordado el vínculo con el operador se partió a pedir la información nece-

saria para dar inicio al análisis y simulación del caso de estudio, ante esto se procedió a pedir lo siguiente:

- Diagrama unifilar de la zona.
- Plano topológico de la zona.
- Historial de consumo de los últimos 7 años.
- Usuarios conectados por transformador.
- Calibres y distancias de los conductores.
- Datos técnicos de los transformadores.
- Tipo de usuario por transformador.

Como se nombró anteriormente existe un contrato de confidencialidad de por medio para brindar cierta información, ellos eran los encargados de decidir qué información podrían facilitarnos por lo cual establecieron en facilitarnos los siguientes datos:

- Diagrama unifilar de la zona.
- Historial de consumo de los últimos 2 años.
- Usuarios conectados por transformador.
- Distancias de los conductores.
- Datos técnicos de los transformadores.
- Tipo de usuario por transformador.

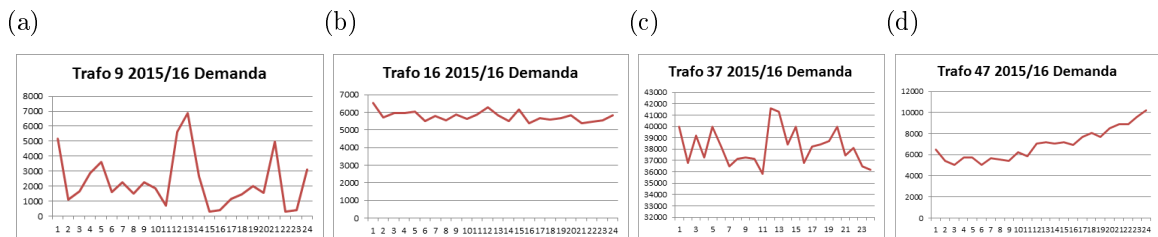
2.1. Proyección de demanda de energía

SECCIÓN 2.1

Proyección de demanda de energía

Partiendo de la información dada se dio a inicio a implementar la metodología para proyectar la demanda de energía y los pasos por el cual se escogió el método a trabajar en esta proyección, para este caso es necesario dar a conocer inicialmente el comportamiento de los datos suministrados por el operador de red, el cual solo se contó con un historial de consumo de 2 años, tabulados en consumos " kWh/mes " por transformador. A continuación se mostraran como es el comportamiento general de los transformadores del sistema de distribución a evaluar como se ilustra en la figura 2.2

Figura 2.2: Comportamiento general



Con base a la información facilitada por el operador de red se analizó como se implementaría el pronóstico de la demanda, si se decidía hacer un modelo general o detalladamente por transformador, ante esto surgieron demasiadas dudas e inconvenientes para la iniciación del estudio, por lo cual se determinó hacer la proyección de demanda por transformador, ya que el estudio consta en hacer una predicción de demanda, bajo un escenario de proyección del vehículo eléctrico impactando solo a usuarios residenciales, además no todos los transformadores de la red de distribución cuentan con las mismas características técnicas, de lo contrario difieren unas de otras como en el número de usuarios conectados al transformador, capacidad instalada y calibres empleados. También cabe resaltar que con la poca información que se cuenta y el comportamiento atípico de los consumos generales de la demanda como se muestra en la figura 2.2, es

2.1. Proyección de demanda de energía

complicado elegir un método general para proyectar la demanda de energía, ya que la mayoría de estas gráficas no tienen un comportamiento similar donde se pueda adoptar un único método para todos los transformadores que se encuentran en la zona. Por tal motivo es necesario pronosticar la demanda por transformador para saber a qué usuarios se le agregara la llega del vehículo eléctrico.

Ya aclarado la manera con la que se iniciara el proyecto, se dará a conocer los métodos que se eligieron para pronosticar la demanda, donde se revelará el motivo por el cual se implementaron estos métodos, adaptación con el comportamiento de las gráficas generales y motivos por el cual no se evaluaron otros modelos.

En total se implementaron 9 métodos clasificados en dos grupos: las series de tiempo y regresiones bajo la aproximación de los mínimos cuadrados, donde el fin es buscar el modelo que mas se adapte al pronóstico de la demanda por transformador, cuando se habla de adaptar se refiere a cual de todos estos nueve métodos me genera mayor exactitud, confiabilidad y acepta los criterios que se establecerán mas adelante en la proyección por transformador, a continuación se mostrara en la tabla 2.1 los modelos que definen los dos grupos implementados en esta proyección de demanda ¹ [3, 2].

¹BOWERMAN, Bruce LI; et al. Pronósticos, series de tiempo y regresión: un enfoque aplicado. CENGAGE UNIV. 2007

2.1. Proyección de demanda de energía

Tabla 2.1: Métodos implementados

Regresiones	Series de tiempo Modelos de suavización
R. lineal	Suavizamiento simple
R. exponencial	Suavizamiento doble
R. logarítmica	Holt Winter Aditivo
R. potencial	Holt Winter Multiplicativo
R. polinomial	

FUENTE: A2

Primeramente se evaluó el motivo por el cual se escogió las series de tiempo para proyectar la demanda de energía, debido a que este solo necesita de una variable que fuera sucesiva en un determinado periodo, que en este caso se contaba con el consumo de energía mes a mes por dos años, además una serie de tiempo siempre trata de identificar un patrón en el comportamiento de las gráficas como se muestra en la figura 2.2[3], donde se puede evidenciar que existen ciertos patrones que caracterizan este modelo como lo es :

- Tendencia creciente o decreciente.
- Comportamiento cíclico.
- Estacional.
- Irregular.

También se trabajó con modelos de regresión, que operan mediante la técnica de mínimos cuadrados que bajo la aproximación asemejan el consumo de un transformador a una la función lineal, exponencial, potencial, logarítmica y polinomial, y elegir cuál de estos modelos me arroja el menor error medio cuadrático MSE y un aceptable

2.1. Proyección de demanda de energía

coeficiente de corrección R^2 , con el fin de pronosticar la variable dependiente en el periodo deseado.

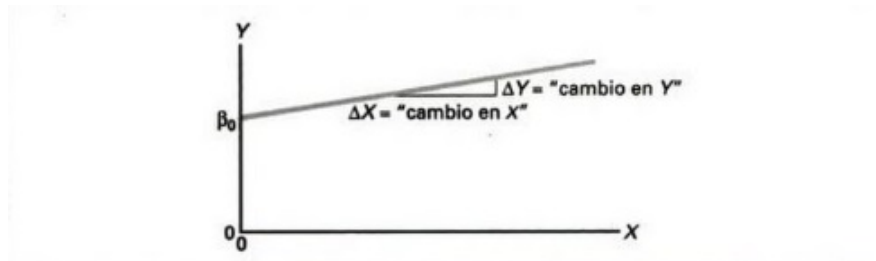
A continuación se evidenciará la teoría necesaria de estos métodos

2.1.1 Regresión lineal

El análisis de regresión permite desarrollar un modelo para predecir los valores de una variable numérica con base en los valores de una o más variables diferentes ². En este análisis interviene una variable dependiente que es la variable que se va a predecir, una o más variables independientes que son las variables que se usan para predecir el valor de la variable dependiente ³[2]. Además de predecir los valores de la variable dependiente, este análisis de regresión también permite identificar el tipo de relación matemática que existe entre la variable dependiente e independiente, para así cuantificar el efecto que tienen los cambios en la variable independiente sobre la variable dependiente, como también para identificar las observaciones inusuales.

La naturaleza de la relación entre dos variables puede tomar varias formas, que van desde funciones matemáticas simples hasta complejas. La relación más simple consiste en una línea recta como se muestra en la gráfica 2.3.

La expresión que representa el modelo de regresión lineal simple está dada por la Figura 2.3: Relación positiva de línea recta.



² Levine, David M and Berenson, Mark L and Krehbiel, Timothy C. Estadística para administración. PEARSON. Sexta edición. 2006

³Ibíd .,

2.1. Proyección de demanda de energía

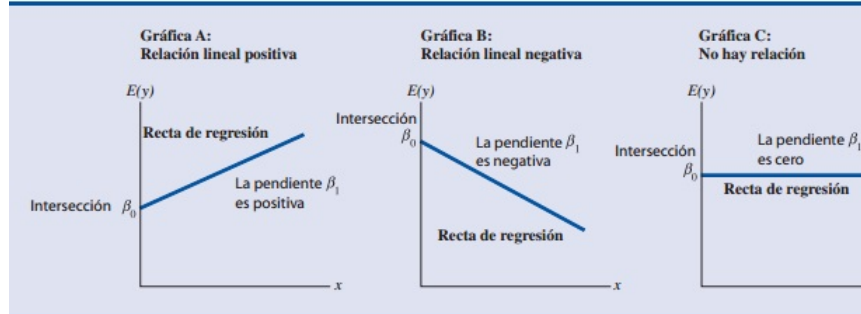
ecuación 2.1, que muestra cómo se relaciona y con x .

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (2.1)$$

Donde β_1 representa la pendiente de la línea, que es el cambio esperado en y por unidad de cambio en x , es decir la cantidad media que cambia y (positiva o negativamente) por unidad de cambio en x . β_0 representa la intersección en y , es el valor promedio de y cuando x es igual a cero ⁴.

La grafica de la ecuación de regresión lineal simple es una línea recta, en la gráfica 2.4 se muestran ejemplos de graficas de regresión [2]

Figura 2.4: Ejemplos de líneas de regresión en la regresión lineal simple.



La elección de un modelo matemático apropiado depende de la distribución de los valores de x y y en un diagrama de dispersión. Para encontrar los valores de intersección y pendiente (coeficientes de regresión) de la ecuación 2.1, se utiliza generalmente el método de mínimos cuadrados. Este método minimiza la suma del cuadrado 2.2 de las diferencias entre los valores reales de (y_i) y los valores predichos de (\hat{y}_i) , usando la ecuación 2.1 ⁵ [2].

⁴ Ibíd. ;

⁵Ibíd. ;

2.1. Proyección de demanda de energía

Criterio de mínimos cuadrados,

$$\boxed{\text{mín } \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.2)$$

Pendiente de intersección con el eje y .

$$\boxed{b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (2.3)$$

$$\boxed{b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}} \quad (2.4)$$

Donde;

x_i , valor de la variable independiente en la observación i .

y_i , valor de la variable dependiente en la observación i .

\bar{x} , media de la variable independiente.

\bar{y} , media de la variable dependiente.

2.1.2 Series de tiempo

El análisis de series de tiempo es un método cuantitativo utilizado para determinar patrones en datos recolectados a través del tiempo. Las series de tiempo son cualquier grupo de información estadística que se acumula a intervalos regulares ⁶. Los datos de series de tiempo son obtenidos a lo largo de varios periodos y sus gráficas sirven para entender lo que ocurrió en el pasado, a identificar cualquier tendencia en el transcurso del tiempo, a proyectar niveles futuros para las series de tiempo y en consecuencia a manejar la incertidumbre asociada con acontecimientos futuros [2].

⁶Ibíd. ;

2.1. Proyección de demanda de energía

En el análisis de series de tiempo existen 4 tipos de variación que son:

1. **Tendencia secular**

En este tipo el valor de la variable aumenta o disminuye en un periodo de tiempo muy largo.

2. **Fluctuación cíclica:**

Esta variación no sigue ningún patrón regular, se mueven de manera impredecible.

3. **Variación estacional:**

Implica patrones de cambio en el lapso de un año que tienden a repetirse anualmente.

4. **Variación irregular:**

Se presenta cuando el valor de una variable puede ser completamente impredecible y cambiando de manera aleatoria.

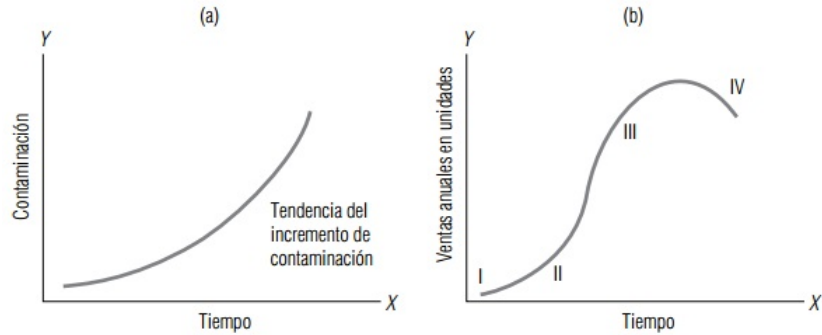
Generalmente las series de tiempo contienen varios de los tipos de variaciones mencionados anteriormente. De estas cuatro, la tendencia secular representa la dirección a largo plazo de la serie, se puede describir ajustando visualmente una recta a un conjunto de puntos en una gráfica, pero esto puede provocar diferentes interpretaciones de una persona a otra, por lo que no es un ajuste completamente seguro y por lo tanto se utiliza el método de mínimos cuadrados para ajustar una línea de tendencia.

Las tendencias seculares resultan útiles, ya que permiten describir un patrón histórico, proyectar patrones o tendencias pasados al futuro y en muchas ocasiones permite eliminar la componente de tendencia de la serie, por lo tanto facilita el estudio de las otras tres componentes de la serie de tiempo.

2.1. Proyección de demanda de energía

Estas tendencias pueden ser de varias formas (rectas o curvilíneas), en la gráfica 2.5 se muestran algunos ejemplos de tendencias curvilíneas.

Figura 2.5: Relaciones de tendencia curvilínea



FUENTE: ANDERSON, David Ray and Sweeney, Dennis J and Williams, Thomas A. Estadística para negocios y economía. 2012

La tendencia general de una serie de tiempo se puede describir mediante una línea recta, por lo tanto se utiliza el método de mínimos cuadrados para la recta o ecuación de mejor ajuste ⁷

Ademas las series de tiempo contiene una rama relacionada con la suavización de comportamientos irregulares, muy utilizada para predecir la demanda futura de energía eléctrica, Estos métodos suelen ser apropiados para series de tiempo estables, que no posean un comportamiento con tendencia, ni variaciones cíclicas ni estacionales, es muy empleado cuando se pretende suavizar cambios bruscos o movimientos atípicos en la serie [1].

⁷Ibíd. ;

Suavizamiento Exponencial Simple

Este método utiliza los promedios ponderados de valores pasados de la serie de tiempo para predecir demanda, es un caso especial de los medios móviles ponderado que se elige solo un peso para la observación reciente. Los valores necesarios para los demás datos son calculados automáticamente y tienden a ser más pequeños a medida que las observaciones se vuelven más antiguas. La ecuación que se utiliza para este método de suavizamiento es la siguiente [1]:

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad (2.5)$$

Donde,

F_{t+1} , Pronostico para el periodo $t + 1$ de la serie.

Y_t , Valor real de la serie de tiempo.

F_t , Pronostico para el periodo t

α , Constante de suavizamiento entre $(0 \leq \alpha \leq 1)$.

La ecuación 2.5 nos indica que para un periodo $t + 1$, se trata de un promedio ponderado del valor real en el periodo t y el valor predicho en el periodo t . El peso que se le da para el pronóstico viene influenciado por el valor real del periodo t y es la constante de suavizamiento α , y para el peso dado al pronóstico para el periodo t es $1 - \alpha$, donde se concluye que el suavizamiento exponencial para cualquier periodo es un promedio ponderado de todo los valores anteriores de la serie de tiempo[1].

Suavizamiento Exponencial Doble

Es un método de serie de tiempo empleado para pronosticar demanda de energía con tendencia lineal actual y luego proyectarla al futuro con el fin de encontrar el siguiente valor de la serie , es decir este método utiliza los valores recientes de la serie

2.1. Proyección de demanda de energía

para calcular cualquier tendencia ya sea creciente o decreciente. Además este método consiste en suavizar la aleatoriedad o las fluctuaciones irregulares de un comportamiento y dar un panorama promedio de la serie sin dar alteraciones atípicas que influyan en el pronóstico de la demanda. Para este método es necesario emplear de tres ecuaciones y de dos constantes de suavizamiento α y β como se mostrara a continuación [1] :

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.6)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \alpha)(b_{t-1}) \quad (2.7)$$

$$F_{t+k} = L_t + b_t k \quad (2.8)$$

Donde,

L_t , es la estimación del nivel para el periodo t .

b_t , es la estimación de la tendencia para el periodo t .

α , constante de suavizamiento para el nivel de la serie de tiempo.

β , constante de suavizamiento para la tendencia de la serie de tiempo.

F_{t+k} , Pronostico para el periodo k en el futuro.

Este método cuenta con dos constantes, una de serie y otra de tendencia por lo cual es necesario escoger un valor óptimo de α y b_t debido a que estos parámetros afectan en el pronóstico de la demanda, por tal motivo este procedimiento va acompañado de escoger el valor de las constantes, pero garantizando el menor error de lo pronosticado contra el valor real de la demanda. Un valor pequeño de α ofrece mayor peso a los valores más retrasados de la serie y un valor alto brinda un mayor peso a los niveles más recientes, igualmente para la constante β un valor pequeño da un mayor peso a las tendencias retrasadas, y un valor alto de la constante da un mayor peso a las tendencias

2.1. Proyección de demanda de energía

mas recientes de la serie^[3].

Suavizamiento Exponencial Con componentes estacionales

Estos métodos tratan de suavizar el comportamiento de una curva, pero en este caso particular el modelo holt winters tiene una particularidad que incorpora adicional, que en esta caso se trata de índices de estacionalidad que son los encargados de corregir la serie de tiempo cuando se presentan irregularidades que distorsionan el análisis de los pronósticos. Cabe resaltar que la variación estacional es ocasionada cuando se produce una distorsión en la serie de tiempo, debido a que existe un patrón que suele repetirse año tras año transcurrido ciertos periodos, como por ejemplo la venta de ropa durante el ultimo mes de del año o como el incremento del consumo de energía en el último mes del año. Por tal motivo existen varios métodos que reflejan este comportamiento, pero en este caso nos centraremos en el método holt winters aditivo y holt winter multiplicativo ^{8 9}.

Holt Winters aditivo

Este método es utilizado para series que se comportan con tendencia lineal, tasa de crecimiento constante y variación estacional contante. Además es utilizada también cuando el patrón estacional no depende del valor de los datos, en pocas palabras que el patrón estacional no cambia conforme la serie se incrementa o disminuye de valor ^{10 11}.

$$e_T = \alpha (Y_t - S n_{T-L}) + (1 - \alpha) (e_{T-1} + b_{T-1}) \quad (2.9)$$

⁸GUAJARATI, Damodar N and PORTER, Dawn C. Basic Econometrics. Mac Graw Hill. 4 edition. 2003

⁹HANKE, John E and WICHERN, Dean W. Pronósticos en los negocios. Prentice Hall. 5 edición. 2006

¹⁰GUAJARATI. Op. cit.,

¹¹HANKE. Op. cit.

2.1. Proyección de demanda de energía

$$b_T = \beta (e_T - e_{T-1}) + (1 - \beta) (b_{T-1}) \quad (2.10)$$

$$Sn_T = \gamma (Y_T - e_{T-1}) + (1 - \gamma) (Sn_{T-1}) \quad (2.11)$$

$$Y_{T+\iota} = e_T + \iota b_T + Sn_{T-L+\iota} \quad (2.12)$$

Holt Winters multiplicativo

Este método es adecuado cuando existe una serie temporal, donde se muestra una tendencia lineal y patrón estacional para que el nivel, la tasa y el patrón estacional podrían ser cambiantes y no fijos. Este modelo es implementado cuando el patrón estacional depende del tamaño de los datos o cuando la magnitud del patrón estacional se incrementa tras los valores crecen y decrecen cuando estos disminuyen ^{12 13}.

$$e_T = \alpha (Y_t / Sn_{T-L}) + (1 - \alpha) (e_{T-1} + b_{T-1}) \quad (2.13)$$

$$b_T = \beta (e_T - e_{T-1}) + (1 - \beta) (b_{T-1}) \quad (2.14)$$

$$Sn_T = \gamma (Y_T / e_{T-1}) + (1 - \gamma) (Sn_{T-1}) \quad (2.15)$$

$$Y_{T+\iota} = (e_T + \iota b_T) * Sn_{T-L+\iota} \quad (2.16)$$

¹²GUAJARATI. Op. cit.,

¹³HANKE. Op. cit.

2.1.3 Regresión por el método de mínimos cuadrados

En esta sección se dará a conocer como actúa la regresión entre dos variables, sabiendo que este procedimiento funciona cuando se restringe una de las variables con el fin de observar el comportamiento de la otra variable. La regresión es empleada para predecir el comportamiento de una variable en función de la otra variable, por lo cual la regresión puede ser un método de pronóstico de demanda, desde que el comportamiento de la curva se asemeje a la regresión que se emplee, presentando un alto grado de confiabilidad y error del valor real con respecto al valor pronosticado. De esta manera se evaluará a continuación la regresión exponencial, logarítmica, polinomial y potencial, donde se mostrará las fórmulas y procedimientos para obtener dichas regresiones, cabe resaltar que para llegar a estas ecuaciones es necesario emplear el método de los mínimos cuadrados¹⁴ [3, 2]

Regresión Exponencial Se halla A y B de las fórmulas y se arma la ecuación correspondiente

$$Y = A * e^{Bx} \quad (2.17)$$

¹⁴BOWERMAN; Op. cit.,

2.1. Proyección de demanda de energía

$$\text{Ln}Y = \text{Ln}A + \text{Lne}^{Bx}$$

$$\text{Ln}Y = \text{Ln}A + Bx$$

$$\text{Ln}Y = Y'$$

$$\text{Ln}A = A'$$

$$B = \frac{n(\sum xY') - (\sum x)(\sum Y')}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$A' = \bar{Y}' - B\bar{x}$$

$$\text{Ln}A = \bar{Y}' - B\bar{x}$$

Regresión Logarítmica Se halla A y B de las formulas y se arma la ecuación correspondiente

$$\boxed{Y = A + B\text{Ln}(x)} \quad (2.18)$$

$$\text{Ln}x = x'$$

$$Y = A + Bx'$$

$$B = \frac{n(\sum x'Y) - (\sum x')(\sum Y)}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2}$$

$$A = \bar{Y}' - B\bar{x}'$$

2.1. Proyección de demanda de energía

Regresión Potencial Se halla A y B de las formulas y se arma la ecuación correspondiente

$$Y = A * x^B \quad (2.19)$$

$$\text{Log}Y = \text{Log}A + \text{Log}x^B$$

$$\text{Log}Y = \text{Log}A + B\text{Log}x$$

$$\text{Log}Y = Y'$$

$$\text{Log}A = A'$$

$$\text{Log}x = x'$$

$$B = \frac{n(\sum x'Y') - (\sum x')(\sum Y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2}$$

$$A' = \bar{Y}' - B\bar{x}'$$

$$\text{Log}A = \bar{Y}' - B\bar{x}'$$

Regresión Polinomial Se halla $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ de la matriz y se arma la ecuación correspondiente dependiendo del grado del polinomio

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (2.20)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i x_i^2 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n Y_i x_i^m \end{bmatrix}$$

2.1.4 Medio error cuadrático (MSE)

El MSE es una manera de analizar la diferencia que hay entre el valor pronosticado y el valor real de la cantidad que se desea hallar. El MSE mide el promedio del cuadrado del error, siendo el error el valor del cual el pronóstico difiere de la cantidad a ser pronosticado. Este enfoque penaliza los errores mayores ya que este los eleva al cuadrado, idealmente se desea que el resultado de MSE sea 0, lo que reflejaría un pronóstico perfecto, por lo cual entre más pequeño sea el valor de MSE, mejor sería la proyección ¹⁵ [3].

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n} \quad (2.21)$$

Donde,

Y_t , es el valor real t .

\hat{Y}_t , es el valor pronosticado t .

n , es el numero de muestras.

Para esta metodología fue necesario emplear de 9 modelos explicados anteriormente, donde cualquiera de estos métodos puede adoptarse al consumo general de los transformadores pertenecientes a la red de distribución, eligiendo el método más exacto y confiable de los nueve propuestos, sin embargo no se emplearon métodos más exactos y complejos de los establecidos anteriormente, ya que se carecía de información para abarcar satisfactoriamente estos modelos, como lo es un historial de consumo más sólido, contar con otras variables que aportaran en el desempeño de la proyección y además con la información que se contaba era apropiado establecer una series de tiempo regre-

¹⁵ SEUBERT, Curtis. Definición de error cuadrático medio. [En línea]. eHow en español. 2015. (Recuperado 28 de julio del 2017) Disponible en http://www.ehowenespanol.com/definicion-error-cuadratico-medio-hechos_130449/

2.1. Proyección de demanda de energía

siones ya que para emplearlos basta solo con saber el comportamiento de una variable en un determinado periodo.

2.1.5 Metodología proyección de demanda

Ya aclarado los métodos implementados en este proyecto, es necesario describir como es el proceso para determinar el modelo de pronóstico de demanda para cada uno de los consumos, con el fin de buscar no solo que se ajustara por el error medio cuadrático "MSE" , si no que tuviera sentido el comportamiento proyectado de cada uno de los transformadores, bajo esto se establecieron los siguientes criterios que ratifican que se allá escogido el modelo más apropiado para cada una de las proyecciones.

- Primeramente cada uno de los comportamientos fue evaluado en los 9 modelos , eligiendo cual de ellos me brinda el menor error medio cuadrático "MSE" .
- Además se revisó el coeficiente de corrección R^2 , se tomó como aceptable cuando el comportamiento de los transformadores presentaban un porcentaje superior a al 10%, este porcentaje fue establecido como aceptable ya que era sumamente difícil encontrar un comportamiento normal en esta red de distribución, estos comportamientos atípicos se deben a factores como : el número de usuarios conectados al transformador, y al consumo irregular de los transformadores, afectando en que haya un alto grado de correlación entre el valor real y el proyectado. Cabe aclarar que el porcentaje del R^2 debería ser un porcentaje que estuviera cercano al 100 %.
- Esta restricción va entrelazada de la aprobación de los dos criterios anteriores, y se trata del razonamiento e interpretación del valor pronosticado por transformador, ya que es necesario revisar su comportamiento futuro porque muchos de estos presentan irregularidades inexplicables, como consumos futuros negativos o consumos aceleradamente crecientes mientras transcurría el periodo de proyección.

Para el caso de estudio en la etapa de simulación, no se tomaron los pronósticos de demanda mensual , si no de lo contrario que se trabajó con la demanda máxima

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

mensual del año correspondiente, con el fin de simular en el programa de flujos de carga anualmente y no mensual , además se tomo de esta manera para adaptar esta proyección con la llegada del vehículo eléctrico que se pronostica de manera anual.

SECCIÓN 2.2

Caracterización del vehículo eléctrico

Por motivos de simulación es necesario escoger un modelo general de todo lo necesario para adoptar un vehículo eléctrico a una red de distribución. Por lo cual, se nombraran a continuación los aspectos indispensables para caracterizar la llegada del vehículo eléctrico a una red de distribución :

- **Tipo de vehículos**
- **Baterías**
- **Modos de recarga**
- **Conectores**
- **vehículos**

2.2.1 Tipo de vehículo

Como se describió en el capítulo anterior donde se hablaba de los tipos de vehículos que existen actualmente como, BEV, HEV, PHEV, es necesario aclarar que el impacto que se pretende invadir para esta investigación, es únicamente en el sector residencial de estrato 5 y 6, ya que estos usuarios cuentan con las capacidades de adoptar estos vehículos y además posee estacionamiento e infraestructura para acoplarlos en sus hogares y lograr una carga satisfactoria, también es pertinente que primero llegue esta nueva tecnología en lugares donde la demanda de energía es variante y elevada. Debido a esto el enfoque que se pretende dar a este trabajo de investigación, va orientado al

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

vehículo puramente eléctrico ya que el fin de esta tesis es observar el comportamiento de las redes de distribución residenciales en las condiciones más críticas y no analizar el impacto con diferentes tipos de vehículos, por lo cual se escogió BEV como referencia por que no posee un motor de combustión y su única fuente de propulsión es la energía eléctrica.

2.2.2 Modos de recarga

Como se explicó anteriormente el fin de este proyecto es observar el comportamiento de las redes de distribución en el sector residencial, es fácil aclarar que solo se contemplara la recarga lenta, debido a que se quiere evaluar el comportamiento de la red para condiciones críticas, por lo cual se requiere analizar un escenario donde allá un periodo prolongado de vehículos cargando y evaluar dicho comportamiento, además para el sector residencial es más conveniente y comercial utilizar este tipo de recarga. Cabe recordar que para el modo de recarga lenta se trabajan con los siguientes niveles:

- **Recarga lenta** :Para este modo de recarga comprende de los tomas que comúnmente podemos encontrar en los usuarios residenciales, que cuentan con tomas monofásicos trifilar y bifásicos como se ilustra en la siguiente tabla 2.2[7]:

Tabla 2.2: Conexión para recarga lenta

Tipo de carga	Carga lenta
Potencia	3,3 - 3,7 kW ; I=16A ó 6,6 - 7,6 kW; I= 32A
Voltaje	208 - 240 V Monofásico trifilar ó bifásico
Tiempo de recarga	16A: 6 - 8 horas ó 32A: 4 - 6 horas

FUENTE:[5]

2.2.3 Baterías

Las baterías es el elemento capaz de almacenar energía eléctrica de la red, para posteriormente hacerla reflejada en el funcionamiento de los vehículos eléctricos, su función

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

principal es suministrar la potencia necesaria para hacer girar el motor eléctrico y demás elementos que necesitan de energía para poder ser empleados. Entre los aspectos más relevantes de las baterías y que actualmente se han venido trabajando de una manera exitosa son [6, 9]:

El precio, ya que para nadie es un secreto que el elevado costo de los vehículos se debe al valor que tiene una batería, pero se espera que esta medida tienda a disminuir debido a materiales económicos y eficientes que se están implementando en su construcción, ya que este aspecto es el más crucial en la comercialización del vehículo[9].

la capacidad, que es eje principal de la autonomía de una batería, ya que este depende de la capacidad de almacenamiento de energía[9].

Y por último la **vida útil**, ya que las baterías utilizadas en este tipo de vehículos comprenden un porcentaje elevado en el costo del vehículo, por lo cual sería excelente que estas tengan un gran número de ciclos de recarga [9].

A continuación se nombran las características más significativas de las baterías que actualmente se encuentran en el mercado [9]:

Plomo ácido

- Baja energía específica (kWh)
- Ciclo de vida reducido (400 - 800 ciclos)
- Alto impacto ambiental
- Voltaje elevado
- Soporta altas corrientes
- Bajo costo

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

Ni-MH

- Buena energía específica (kWh)
- Ciclo de vida reducido (300 - 600 kWh)
- Moderado efecto corona
- Precio elevado
- Bajo impacto ambiental
- No requiere mantenimiento

Iones de Litio

- Voltaje muy elevado
- Precio elevado
- Elevada energía específica (kWh)
- Ausencia de efecto memoria
- Durabilidad frente a muchos ciclos

Bajo la caracterización que se está adelantando para el caso de estudio a evaluar, es necesario escoger a nivel general un tipo de batería que se acople a los modelos de vehículos que actualmente se encuentran en el país, por lo cual se escogió la batería de iones de litio ya que es la que posee una alta energía específica y es la que comúnmente ha sido implementado por la mayoría de marcas automotoras entrantes al país como se muestra en la tabla [2.3](#).

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

2.2.4 Conectores

Para la caracterización del tipo de conector se encontraron 3 modelos comúnmente utilizados para la recarga lenta y reglamentados por la norma colombiana, se trata de los conectores SAE J1772-2009 , IEC 62196 "Menkesz CEE 7/7 Tipo E o F "Schuko"[5]. Sus características son similares y cualquiera de los 3 puede ser implementado para el nivel de potencia que maneja este tipo de recarga. Pero para el caso de estudio se tomara el SAE J1772-2009 que es el más común y utilizado.

2.2.5 Vehículos

Para la caracterización del vehículo, fue necesario recopilar datos de los modelos de EVts que entran al país como se muestra en la tabla 2.3, donde se nombraran las características más representativas de cada modelo, con el fin de escoger un vehículo que se acople a nuestro caso de estudio.

Tabla 2.3: Características principales de los EVs que llegan al país

Vehículos	Tipo de vehículo	Batería	Autonomía Mecánica / Eléctrica	Tiempo de Recarga	Capacidad de la Batería	Consumo por Kilómetro	Precio
BYD E6	Eléctrico	Fosfato hierro litio	0 / 300 km	8 horas	90kW / h	0.3 kWh / km	165 millones
BYD Q6	Híbrido	Fosfato hierro litio	250 / 60 km	8 horas	13 kW / h	0.216 kWh / km	150 millones
BMW i3	Eléctrico	Ion litio	0 / 130 km	8 horas	22 kW / h	0.169 kWh / km	180 millones
BMW i8	Híbrido	Ion litio	550 / 35 km	4 horas	7.1 kW / h	0.203 kWh / km	420 millones
Mitsubishi iMiev	Eléctrico	Ion litio	0 / 160 km	7 horas	16 kW / h	0.1 kWh / km	95 millones
Mitsubishi Outlander	Híbrido	Ion litio	/ 55 km	5 horas	12 kW / h c \u	0.21 kWh / km	190 millones
Renault twizy	Eléctrico	Ion litio	0 / 100 km	8 horas	6.1 kW / h	0.06 kWh / km	40 millones
Kia Soul EV	Eléctrico	Ion litio	200	8 horas	27 kWh	0.135 kWh / km	132 millones

A continuación se mostrara en la tabla 2.4 los vehículos BEV que se encuentran en el país con sus respectivas características, donde se hará un promedio entre todos los aspectos para caracterizar el vehículo eléctrico. Esta tabla fue hecha única e exclusivamente con vehículos puramente eléctricos, debido a que anteriormente se escogió este tipo de vehículo como caso de estudio, por lo cual no se tuvo en cuenta los modelos híbridos.

2.2. Caracterización del vehículo eléctrico

Tabla 2.4: Vehículos BEV en el país y su promedio

Vehículos	Autonomía	Tiempo de Recarga	Capacidad de la Batería	Consumo por Kilometro	Precio
BYD E6	300 km	8 horas	90 kW/ h	0,3 kWh / km	165 millones
BMW i3	130 km	8 horas	22 kW/ h	0,169 kWh / km	180 millones
Mitsubishi iMiev	160 km	7 horas	16 kW/h	0,1 kWh / km	95 millones
Renault twizy	100 km	8 horas	6,1 kW/ h	0,06 kWh / km	40 millones
Kia Soul EV	200 km	8 horas	27 kWh	0,135 kWh / km	132 millones
Promedio	178 km	7,8 horas	32,22 kWh	0,1528 kWh / km	122,4 millones

3

Modelo para la proyección del número de vehículos eléctricos en un área

SECCIÓN 3.1

Panorama automóviles a nivel mundial

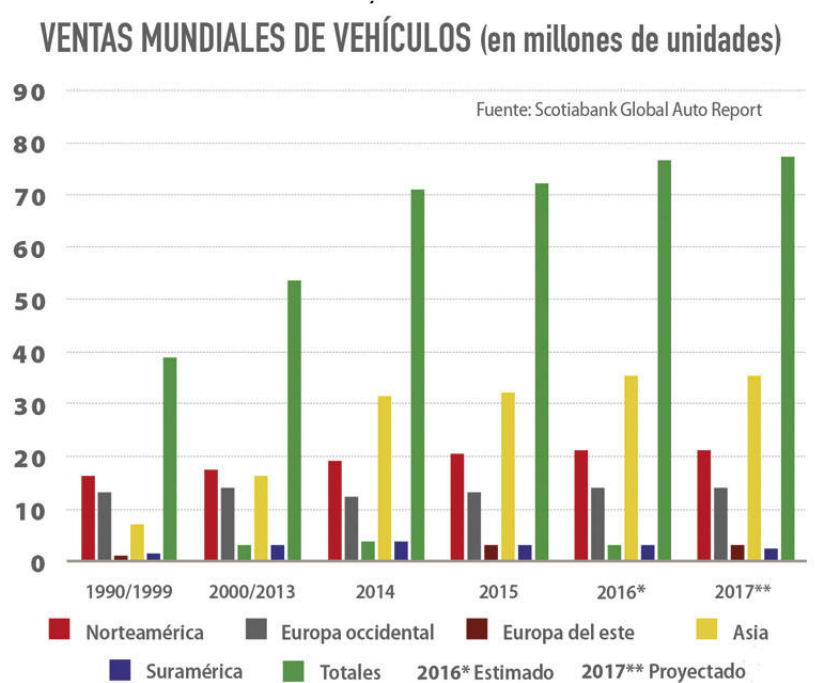
Desde hace 8 años las ventas mundiales en el sector automotriz siguen a la alza superando así todo pronóstico, en 2016 tuvo un crecimiento sostenido finalizando así el año con una cifra estimada de 76,8 millones de unidades vendidas a nivel mundial según Scotiabank Global Auto Report. Este comportamiento de ventas en estos últimos años en este sector es de tal dimensión que esta compañía en su reporte global de ventas pronóstico para el presente año 2017 un total de 77,7 millones de unidades demostrando así el buen momento que está pasando la industria automotriz.

En el 2016 los principales vendedores de vehículos a nivel mundial fueron: Asia con 35,7 millones de unidades vendidas, seguido por Norteamérica y en tercer lugar Europa

3.1. Panorama autom3viles a nivel mundial

con 19.5 y 12.97 millones de veh3culos respectivamente, como se observa en la gr3fica 3.1

Figura 3.1: Ventas mundiales de Veh3culos



FUENTE: Scotiabank Global Auto Report. Las ventas de carros marcaron r3cord a nivel mundial en 2016. [En linea]. Dinero. 2017. (Recuperado el 30 de abril del 2017). Disponible en <http://www.dinero.com/edicion-impresanegocios/articulo/como-va-el-negocio-de-la-industria-automotriz/241544>

3.1.1 Ventas veh3culo el3ctrico en el mundo

Las ventas en la actualidad de los veh3culos el3ctricos a nivel mundial han tenido un crecimiento exponencial en la mayor3a de los pa3ses desarrollados y miembros de la OCDE (Organizaci3n para la Cooperaci3n y el Desarrollo Econ3mico) creando pol3ticas para incentivar la compra de esta tecnolog3a limpia para el medio ambiente, mejorando as3 la eficiencia energ3tica y reduciendo las emisiones de CO2 y dem3s problemas ambientales que provocan la operaci3n de los veh3culos de combusti3n. A pesar de que esta nueva opci3n de recarga por medio de la energ3a el3ctrica es nueva y reciente, las

3.1. Panorama autom3viles a nivel mundial

compa1as m1s importantes de fabricaci3n de autom3viles convencionales han incluido en sus l3neas de producci3n VE donde a la fecha estos han tenido un comportamiento considerable para la continuaci3n de fabricaci3n de esta nueva forma de recarga limpia.

El crecimiento en los inicios de las ventas de los VE ha sido de manera abrumadora: con un 729 % en 2011 respecto a 2010, seguidamente un 150 % en 2012 y un 50 % en 2014 alcanzando as3 el mill3n de ventas en el 2015 donde se observa un comportamiento exponencial en la progresi3n de las unidades vendidas en tan solo 5 a1os ¹.

Los pa3ses que m1s se destacan en la adquisici3n y venta de VE en el 2016 son 3.2 :

China: Es el principal mercado automotriz tanto del el3ctrico como convencional. Solo en el 2016 se vendieron 331481 VE reflejando un aumento del 27 % respecto al a1o anterior.

EE.UU: Las ventas en este pa3s alcanzaron las 157181 unidades vendidas en el 2016, mostrando as3 un aumento del 37,6 % respecto al 2015.

Noruega: Solo en el 2016 se vendieron 45492 VE teniendo un crecimiento del 32 % respecto al a1o anterior.

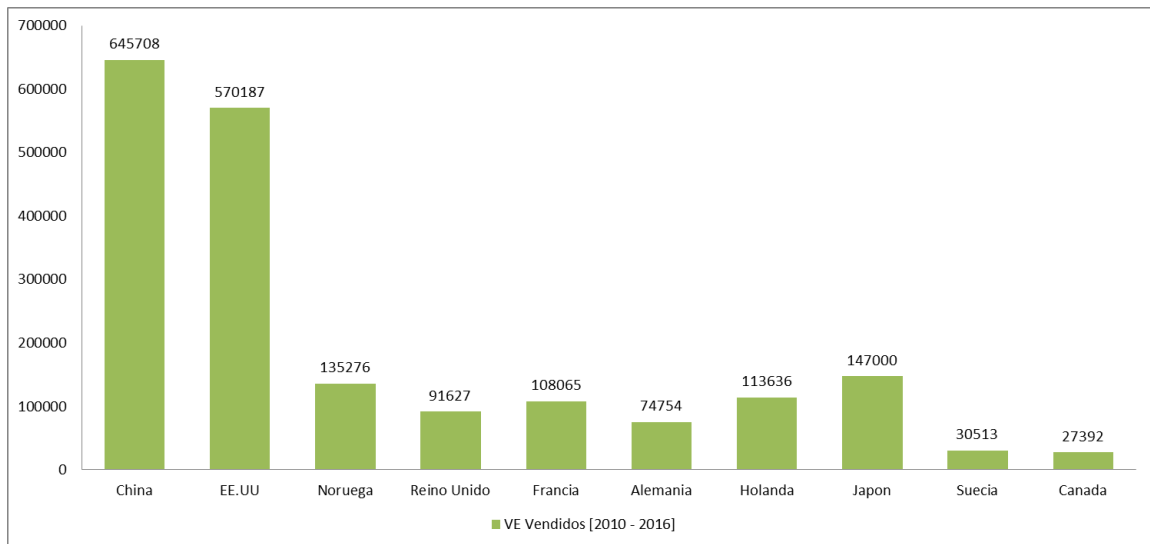
Reino Unido: Las ventas en este pa3s solo en el 2016 fueron de 36907 unidades vendidas, reflejando un incremento del 30,9 % con el 2015.

Francia: En el 2016 Francia se posesiono como uno de los pa3ses europeos que su-

¹Revista VEC. Top 10 de los Pa3ses que m1s veh3culos el3ctricos matricularon durante 2016 en el mundo. [En l3nea]. Revista2017. 2017. (Recuperado el 30 de Abril del 2017). Disponible en <http://www.vehiculoselectricos.com.co/index.php/vehiculos-electricos/>

3.1. Panorama autom3viles a nivel mundial

Figura 3.2: Pa3ses destacados en la adquisici3n y venta de VE en el 2016



Fuente: FERNADEZ, sergio. Top 10 de los Pa3ses que m3s coches el3ctricos han vendido en 2016. [En linea]. Foro coches el3ctricos. 2017. (Recuperado el 30 de abril del 2017). Disponible en <http://forococheselectricos.com/2017/02/top-10-de-los-paises-que-mas-coches-electricos-han-vendido-en-2016.html>

peran los 100000 VE vendidos gracias a las 33704 unidades vendidas en el presente a3o, mostrando un crecimiento del 21,7% respecto al a3o anterior.

Alemania: En este pa3s se vendieron un total de 25154 VE en el 2016 reflejando una alza de 7,2% respecto al 2015.

Holanda: Solo en el 2016 se vendieron 24645 VE pero esta vez no hubo crecimiento respecto al 2015 si no un desplome del 44% en las ventas debido a la finalizaci3n de las ayudas al momento de compra.

Jap3n: Jap3n vendi3 aproximadamente 21000 VE solo en el 2016, mostrando as3 un leve crecimiento en las ventas con un 0,42% respecto al a3o anterior.

3.1. Panorama autom3viles a nivel mundial

Suecia: Este pa3s es un mercado peque1o que va en crecimiento en comparaci3n con los anteriores pa3ses, vendiendo as3 un total de 13454 VE reflejando un 49,8 % respecto al a1o anterior.

Canad3: Este es el 3ltimo de los principales pa3ses vendedores de VE a nivel mundial, vendiendo as3 10067 unidades obteniendo un crecimiento del 48,4% respecto al 2015.

3.1.2 Autom3viles el3ctricos en Colombia

La masificaci3n de esta nueva tecnolog3a est3 iniciando en Colombia debido a que ha tenido muchas barreras tanto para la entrada al pa3s como para la comercializaci3n en las distintas ciudades del territorio nacional. Seg3n la Asociaci3n Colombiana de Veh3culos Automotores (ANDEMOS) la tasa de penetraci3n de estos autom3viles es muy baja ya que en el pa3s se han registrado 400 veh3culos el3ctricos en un parque de 5 millones de veh3culos, donde en el 2016 solo se registraron 184 [3.1](#).

Tabla 3.1: Ventas VE en el 2016.

SEGMENTO	Tecnolog3a	2016	Market share
Autom3vil		184	100 %
RENAULT		154	84 %
TWIZY TECHNIC	El3ctrico	148	
TWIZY CARGO	El3ctrico	4	
TWIZY URBAN	El3ctrico	2	
BMW		13	7 %
I3	El3ctrico	9	
I3 94AH	El3ctrico	4	
NISSAN		10	5 %
LEAF	El3ctrico	10	
MITSUBISHI		4	2 %
i-MIEV	El3ctrico	4	
RARIRO		3	2 %
GMDL05	El3ctrico	3	

FUENTE: RUNT. Datos procesados por ANDEMOS. Informe veh3culos h3bridos y el3ctricos Diciembre Colombia, 2016. [En linea]. ANDEMOS. 2017.(Recuperado el 25 de abril del 2017). Disponible en

<http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/01/Informe-H%C3%ADbridos-y-El3ctricos-2016-12.pdf>

3.2. Formulación del modelo

Nuestro país en la actualidad ha tomado una iniciativa considerable para la inclusión de esta nueva tecnología considerando en la necesidad de estimular el uso de fuentes móviles que contribuyan a la disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente, pensando principalmente en la salud humana que esta generaría y buscando así disminuir la dependencia de combustibles fósiles no renovables. El 17 de Diciembre del 2013 el Ministerio de comercio, industria y turismo aprobó el Decreto 2909 de vigencia de 3 años donde estipula reducir el arancel al 0 % y estableció un contingente de importación anual para 750 vehículos con motor eléctrico enchufables de cilindrada inferior o igual a 3000 centímetros cúbicos ².

Posteriormente, el 10 de abril de 2017 en el boletín No 061, el Ministro de Hacienda Mauricio Cárdenas anuncio que el Consejo Superior de Política Fiscal CONFIS, fue aprobada la importación de 46.000 vehículos eléctricos sin arancel e IVA reducido al 5 % ya que actualmente dichos impuestos que paga un vehículo de gama particular es de un 35 % ³, donde prácticamente el vehículo eléctrico llegara libre de aranceles para su llegada masiva al país, dando así un gran paso para el mejoramiento de la calidad del aire por medio de utilización de energías limpias y el cumplimiento de los compromisos internacionales que tiene Colombia por reducir las emisiones de CO2.

SECCIÓN 3.2

Formulación del modelo

La formulación del modelo de masificación del VE a 20 años de un barrio exclusivo estrato 6 de Bucaramanga, se inició con la identificación de una serie de factores mostradas en la figura 3.3 para el criterio de decisión de una persona que resida en

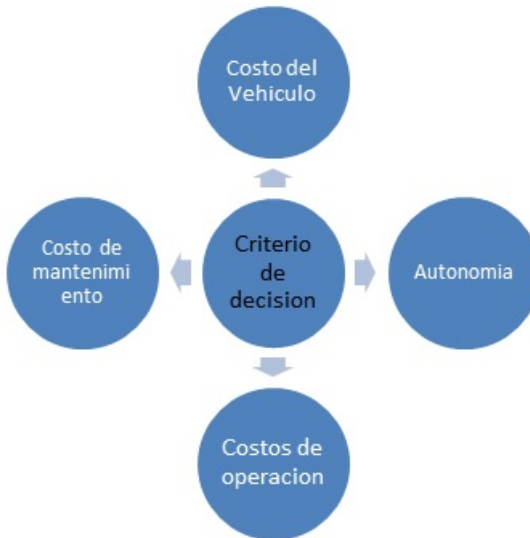
²COLOMBIA. MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. Decreto Número 2909 de 17 Diciembre del 2013. Por el cual se modifica parcialmente el Arancel de Aduanas y se establecen unos contingentes para la importación de vehículos eléctricos e híbridos. 2013. Bogotá.

³COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA. Confis autoriza importación de 46 mil vehículos eléctricos e híbridos sin arancel el IVA rducido en 5 %. 2017. Bogotá

3.2. Formulación del modelo

dicha zona, sobre las dos tecnologías a comparar al momento de adquirir una de ellas, eligiendo como resultado la probabilidad más óptima y rentable para su uso cotidiano por medio del modelo logit. Las tecnologías a comparar por medio de las variables son el Vehículo de combustión interna o convencional (VCI) y el Vehículo Eléctrico (VE).

Figura 3.3: Factores variables para el criterio de decisión al adquirir una tecnología



El modelo establece la penetración del VE en el condominio exclusivo de Bucaramanga para un periodo entre 2017 y 2037, este se basa en el crecimiento de estos vehículos en dicha zona mediante datos históricos de cada variable que después serán proyectadas hasta el 2037 permitiendo así la determinación de la tendencia de crecimiento y la posible demanda de vehículos eléctricos a 2037. El modelo permite que anualmente las dos tecnologías tengan una probabilidad de selección que es determinada por un modelo de elección discreto (Modelo logit) ⁴

La dinámica del modelo inicia con los datos de entrada que serían las variables proyectadas desde el 2017 hasta el 2037 que se establecieron mediante la herramienta estadística Eviews ⁴, donde van variando en el tiempo debido al comportamiento tendencial de cada variable. Esto hace que la probabilidad de selección sea diferente cada año y por

⁴Ibíd. ;

3.2. Formulación del modelo

tanto la cantidad de vehículos.

Para cuantificar la importancia de cada una de estas variables, se simularon 1647 encuestas que serían el total de residentes del exclusivo condominio residencial en el 2017 a través de la herramienta de software matemático Matlab 3, donde se obtuvo como resultado los pesos o grado de importancia de cada variable en base al comportamiento que tuvieron los resultados de una encuesta similar desarrollada en un trabajo de investigación de la Universidad Nacional [8].

Las tecnologías VCI y VE se repartirán la probabilidad de selección estableciendo así la cantidad de vehículos por año para cada tecnología i mediante la ecuación 3.1 [8].

$$P_i = \frac{e^{\beta_C * C_i + \beta_A * A_i + \beta_{CO} * CO_i + \beta_{CM} * CM_i}}{\sum_1^2 e^{\beta_C * C_i + \beta_A * A_i + \beta_{CO} * CO_i + \beta_{CM} * CM_i}} \quad (3.1)$$

C=Costo del Vehículo; A=Autonomía

CO=Costo de Operación; CM=Costo de Mantenimiento

Esta ecuación es utilizada para modelos de selección discreta (modelo logit). El modelo logit es un modelo de toma de decisión que permite determinar la probabilidad de escogencia de una tecnología i . Otra utilidad de modelo logit, es que evita a la variable endógena estimada encontrarse por fuera del rango (rango de 0 1). El denominador corresponde a la sumatoria de las características de las dos tecnologías y en el numerador se ubican las características de la tecnología a la que se desea calcular la probabilidad. La función exponencial evite un resultado negativo [8].

Esta ecuación está conformada por las variables determinantes donde β representa los pesos del modelo. Como la valoración de los pesos se estableció individualmente, es necesario unificar la escala, y para ello se empleó el método de valoración por puntos ⁵ como se observa en la ecuación 3.2. Para determinar los β se utilizará un valor máximo

⁵SAPAG CHAIN, Nassir, et al. Preparación y evaluación de proyectos. MacGraw- Hill. 2000.

3.2. Formulación del modelo

como denominador para cada variable que evite que la función exponencial no se desborde como se calcula en la ecuación 3.3. La Tabla 6 resume los valores de los pesos y los betas para cada una de las variables.

$$\text{Pesoparametro} = \frac{\text{Valoracin del parametro}}{\sum \text{valoracin}} * 10 \quad (3.2)$$

$$\beta = \frac{\text{Peso del parametro}}{\text{Valor maximo}} \quad (3.3)$$

Para la elección del automóvil de cada tecnología se tomaron los 5 vehículos más vendidos en Colombia, eligiendo un promedio entre toda la gama de opciones que hay a la hora de adquirir un automóvil y así caracterizarlo para implementarlo en el modelo del criterio de decisión. Los cinco vehículos de combustión para uso familiar se eligieron de la siguiente manera: los 2 más vendidos en las clases de automóviles y utilitarios ⁶, y el más vendido en la clase de gama alta o de lujo ⁷, en el caso de la tecnología VE se tomaron los 5 vehículos más vendidos en Colombia.

Tabla 3.2: VCI y VE mas vendidos en Colombia

VCI	VE
Chevrolet Spark	BYD E6
Chevrolet Sail	BMW i3
Chevrolet tracker	Mitsubishi iMiev
Kia sportage LX	Renault twizy
BMW X3	Kia Soul EV

⁶REDACCIÓN AUTOS. Los más vendido en 2016. [En línea]. EL ESPECTADOR. 2016. (Recuperado el 15 de abril del 2017). Disponible en <http://www.elespectador.com/vivir/autos/los-mas-vendidos-2016-articulo-672717>

⁷RESTREPO, Oscar julian. Top 50: Los carros más vendido de Colombia en Enero.[En línea]. El carro colombiano. 2017.(Recuperado el 15 de marzo del 2017). Disponible en <http://www.elcarrocolombiano.com/industria/top-50-los-carros-mas-vendidos-de-colombia-en-enero-premium-y-motos/>

3.3. Variables de las tecnologías

SECCIÓN 3.3

VARIABLES DE LAS TECNOLOGÍAS

Al analizar cada factor variable del criterio de decisión de las dos tecnologías, se consultaron datos históricos anuales anteriores al presente año 2017 donde por medio del paquete estadístico para windows Eviews, se realizó la proyección de cada variable desde el año 2017 hasta el 2037, utilizando así este pronóstico anual en la probabilidad de decisión del modelo logit frente a las dos tecnologías.

3.3.1 Costo del vehículo

Al caracterizar los 5 vehículos de cada tecnología, se estandarizo un vehículo modelo promedio abarcando así las diferentes opciones que tiene la persona en el mercado al momento de la compra 3.3 3.4.

Tabla 3.3: Costo promedio del VCI 2016

VCI	Precio 2016 (\$)
Chevrolet Spark	21990000
Chevrolet Sail	34950000
Chevrolet tracker	48990000
Kia sportage LX	70290000
BMW X3	124900000
Promedio	60224000

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.4: Costo promedio del VE 2016

VCI	Precio 2016 (\$)
BYD E6	165000000
BMW i3	180000000
Mitsubishi iMiev	95000000
Renault twizy	40000000
Kia Soul EV	132000000
Promedio	612000000

Los precios del VCI y el VE van a la alza cada año por factores como el dólar. Esta moneda tuvo un comportamiento irregular desde el 2004 hasta el 2016 ⁸ donde gracias a estas históricas tarifas anuales se logro determinar el pronostico de como se comportara este desde el 2017 hasta el 2037, inyectando así este factor de crecimiento al precio promedio del modelo estandarizado de cada tecnología mostrada en la tabla 3.5.

⁸ DOLAR WEB. Dolar Histórico desde 1923 en Colombia. [En línea]. Dolar. 2017. (Recuperado el 15 de abril del 2017). Disponible en <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/dolar-historico/index.html>

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.5: Precio VCI y VE con el índice de crecimiento del dolar

AÑO	Precio proyectado VCI	Precio proyectado VE
2017	\$ 60.514.173	\$ 122.989.750
2018	\$ 60.777.966	\$ 123.525.887
2019	\$ 61.068.138	\$ 124.115.637
2020	\$ 61.358.311	\$ 124.705.388
2021	\$ 61.622.104	\$ 125.241.524
2022	\$ 61.912.277	\$ 125.831.275
2023	\$ 62.202.449	\$ 126.421.025
2024	\$ 62.466.243	\$ 126.957.162
2025	\$ 62.756.415	\$ 127.546.912
2026	\$ 63.046.588	\$ 128.136.662
2027	\$ 63.310.381	\$ 128.672.799
2028	\$ 63.600.554	\$ 129.262.549
2029	\$ 63.890.726	\$ 129.852.300
2030	\$ 64.154.519	\$ 130.388.436
2031	\$ 64.444.692	\$ 130.978.187
2032	\$ 64.734.865	\$ 131.567.937
2033	\$ 64.998.658	\$ 132.104.074
2034	\$ 65.288.830	\$ 132.693.824
2035	\$ 65.579.003	\$ 133.283.574
2036	\$ 65.869.176	\$ 133.873.325
2037	\$ 66.165.060	\$ 134.474.684

3.3.2 Autonomía

Esta variable para cualquiera de las dos tecnologías estudiadas, juega un factor importante al momento de adquirir uno de los dos vehículos, ya que es la cantidad de

3.3. Variables de las tecnologías

kilómetros que puede recorrer un VE y un VCI con sus baterías cargadas y tanque de combustible a la máxima capacidad. En este caso la autonomía en el coche eléctrico juega en contra para su fácil comercialización ya que se ve limitada por la capacidad de las baterías lithium-ion utilizadas en la gran mayoría en estos vehículos. En la actualidad la inversión en la investigación es alta por parte de las diferentes marcas automotrices⁹ y centros de investigación¹⁰, donde han logrado avances significativos como la posibilidad de encontrar la Batería de Sakichi, la cual obtiene una densidad de energía entre diez y veinte veces mayor que las actuales almacenando así más energía que gasolina y tener por recorrido al menos 1.000 km con cada carga¹¹

Otro gran avance por parte de la Universidad Nacional de Singapur es el desarrollo de la primera membrana de almacenamiento de energía eléctrica del mundo obtenida de basura orgánica, donde se basa en la condensación y evaporación iónica con un rendimiento superior al de las baterías recargables de iones de litio a un precio muy inferior, obteniendo así 200.000 veces más capacidad de carga que los condensadores estándar y un costo once veces inferior a las baterías recargables de litio¹².

Los avances que se han desarrollado poco a poco en la actualidad sobre las baterías y la autonomía de un VE, requieren de un tiempo no muy extenso en la investigación, verificación y desarrollo para la implementación en un producto comercial, llegando así

⁹MOVILIDAD ELÉCTRICA .Baterías para coches eléctricos: fabricantes, tecnologías y estrategias. [En línea]. Movilidad eléctrica.2017. (Recuperado el 15 marzo del 2017). Disponible en <http://movilidadelectrica.com/baterias-para-coches-electricos/>

¹⁰ ARTEGA, Sandra. Nuevas baterías para coches eléctricos con 1000 km de autonomía. [En línea]. Computer Hoy. 2017. (Recuperado el 7 de mayo del 2017). Disponible en <http://computerhoy.com/noticias/hardware/nuevas-baterias-coches-electricos-1000-km-autonomia-61818>

¹¹IBAÑEZ. La revolución de las baterías de los vehículos eléctricos se acerca. Tecnoticias sobre ruedas.[En línea]. Xataka. 2017. (Recuperado el 15 de marzo del 2017). Disponible en <https://www.xataka.com/automovil/tecnoticias-sobre-ruedas-1>

¹²IBAÑEZ. Una membrana que almacena más energía que las baterías de iones de litio. [En línea]. Motor pasión futuro. 2011. (Recuperado el 10 Marzo del 2017). Disponible en <https://www.motorpasionfuturo.com/industria/una-membrana-que-almacena-mas-energia-que-las-baterias-de-iones-de-litio>

3.3. Variables de las tecnologías

a su destino final que es la adquisición de este por parte de la gente.

La autonomía es una característica propia del vehículo al momento de su fabricación, por ende, esta variable será un valor promedio constante durante el tiempo de estudio (2017-2037) de los 5 vehículos dichos de cada tecnología 3.6.

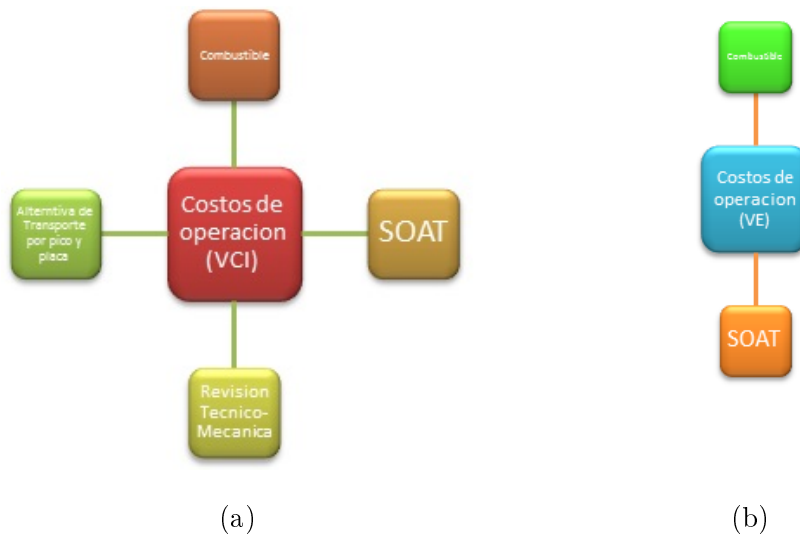
Tabla 3.6: Autonomía del VCI y VE para el tiempo de estudio [2017-2036]

Tecnología	Autonomía (km) [2017-2037]
VCI	751
VE	178

3.3.3 Costos de operación

Los costos de operación son un gasto necesario para el funcionamiento adecuado de las dos tecnologías en estudio. Los componentes que hacen parte de esta variable tanto para el VCI como para el VE se muestran en la gráfica 3.4.

Figura 3.4: Costos de operación del VCI (a), y Costos de operación del VE (b)



Costos de operación (VCI)

Combustible: La gasolina juega un papel importante en el criterio de decisión frente al VE, ya que es un punto negativo para el VCI debido al alto costo que tiene este combustible en nuestro país. Para determinar el costo anual del combustible, se establece por medio del consumo de gasolina y la distancia recorrida por año de un residente del barrio exclusivo en estudio considerando en promedio 7,6 litros (2,007 gal) de gasolina por cada 100 km [8], como se muestra en la ecuación 3.4.

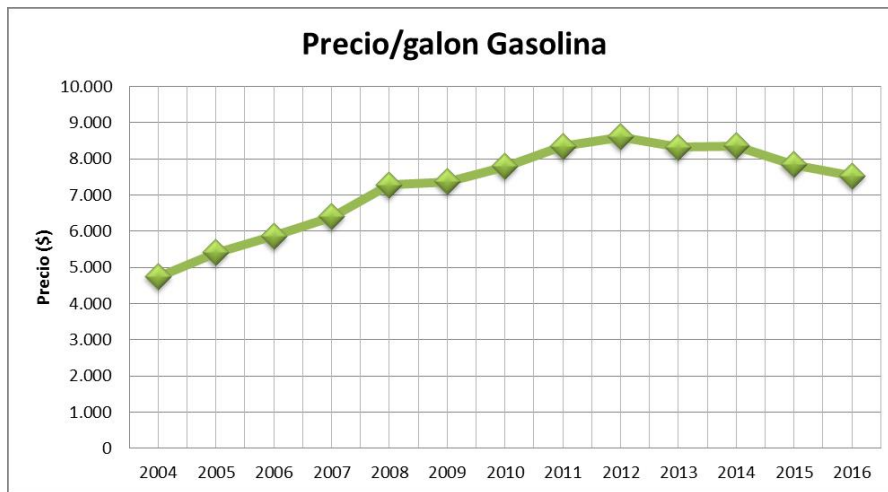
$$\$operac\text{ingasolina} = \$gasolina(\text{proyectado}) * km(ao) * \frac{0.02gal}{km} \quad (3.4)$$

Inicialmente, se analizaron los precios históricos de la UPME de la gráfica 3.5 sobre el comportamiento de la gasolina que tuvo desde el año 2004 hasta el 2016 ¹³, seguidamente se determinó la distancia promedio recorrida por año de la siguiente manera: Se dividió la semana en dos recorridos, días laborales (Lunes a Viernes) y dominicales (Domingos y Festivos), estimando la distancia para los días laborales a las zonas aledañas más comunes de oficinas de trabajo al barrio en estudio como se muestra en la tabla 3.7, y para la distancia en los días dominicales se estimó el mismo recorrido que transita el VE ya que al hacer el criterio de decisión, debe tener la misma distancia recorrida para así tener una misma referencia, sabiendo que la distancia que puede recorrer el VCI es mayor a la del VE debido a su elevada autonomía.

¹³COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICAS. Comportamiento de la gasolina. 2016.

3.3. Variables de las tecnologías

Figura 3.5: Precio por galón de gasolina.



FUENTE: UPME-2017

Tabla 3.7: Distancia días laborales

Recorrido 1 (Dias laborales)	Distancia1 D1 (km)
Ruitoque - Floridablanca	12,3
Ruitoque - Giron	21,9
Ruitoque - Piedecuesta	10
Ruitoque - Bucaramanga	18
Promedio	15,55
Recorrido (ida y vuelta)	31,1

Finalmente, se obtiene el costo de la gasolina desde el 2004 hasta el 2016 mostrado en la tabla 3.8 y calculado en 5, omitiendo así los 48 días de pico y placa por año en Bucaramanga, donde en este tiempo hay restricción para poner el vehículo en circulación. Debido a que al momento de realizar el criterio de decisión el precio monetario del combustible debe tener los mismos días para las dos tecnologías, se realizara posteriormente el cálculo de la tarifa de una alternativa de movilidad pensando en el transporte al sitio de trabajo de la persona durante este tiempo, supliendo así el costo de los 48

3.3. Variables de las tecnologías

días para poder tener un mismo periodo en la variable costos de operación, ya que el VE está exento de la reglamentación del pico y placa. A partir de estos resultados por medio de la herramienta estadística Eviews se realiza la proyección requerida desde el 2017 hasta el 2037 mostrada en la tabla 3.9

Tabla 3.8: Costo anual de gasolina.

Año	$\$og = \$P1 * km / aor_{(VC)} * \frac{0.02gal}{Km}$
2004	\$ 1.412.422
2005	\$ 1.585.577
2006	\$ 1.745.366
2007	\$ 1.902.287
2008	\$ 2.159.244
2009	\$ 2.187.949
2010	\$ 2.315.752
2011	\$ 2.432.778
2012	\$ 2.562.977
2013	\$ 2.462.689
2014	\$ 2.460.558
2015	\$ 2.330.282
2016	\$ 2.208.920

FUENTE: Datos históricos de la UPME

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.9: Proyección costo de gasolina al 2037

Año	Valor Combustible VCI
2017	\$ 2.678.091
2018	\$ 2.755.546
2019	\$ 2.833.001
2020	\$ 2.910.456
2021	\$ 2.987.911
2022	\$ 3.065.365
2023	\$ 3.142.820
2024	\$ 3.220.275
2025	\$ 3.297.730
2026	\$ 3.375.185
2027	\$ 3.452.640
2028	\$ 3.530.094
2029	\$ 3.607.549
2030	\$ 3.685.004
2031	\$ 3.762.459
2032	\$ 3.839.914
2033	\$ 3.917.368
2034	\$ 3.994.823
2035	\$ 4.072.278
2036	\$ 4.149.733
2037	\$ 4.227.188

FUENTE: Datos históricos de la UPME

SOAT: Es un seguro obligatorio para todos los vehículos automotores que transiten por el territorio colombiano, que ampara los daños corporales que se causen a las personas en accidentes de tránsito, ya sean peatones, pasajeros o conductores ¹⁴ Hay varias tarifas para adquirir este seguro que depende del cilindraje del motor de cada vehículo, para nuestro estudio, el cilindraje de nuestro vehículo promedio se muestra en la tabla 3.10.

¹⁴CARROYA.COM. Qué es el SOAT y para qué sirve. [En línea]. Carroya.com. 2017. (Recuperado el Mayo 8 del 2017). Disponible en <http://www.carroya.com/noticias/seguros/que-es-el-soat-y-para-que-sirve-720>

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.10: Cilindraje del VCI promedio

VCI	Cilindraje (cm ³)
Chevrolet Spark	995
Chevrolet Sail	1398
Chevrolet tracker	1800
Kia sportage LX	1998
BMW X3	1995
Promedio	1637.2

Para el presente estudio, el VCI promedio debe pagar este impuesto en la categoría de $c.c > 1500$, por ende, se consultaron datos históricos del comportamiento del costo de esta categoría años atrás mostrada en la tabla 3.11 ¹⁵, para así realizar su respectiva proyección al año 2037 por medio de la herramienta estadística Eviews como se muestran en las tabla 3.12.

¹⁵CARDENAS ALMONACID, David Leonardo. PRECIOS DEL SOAT2017 2004. [En línea]. Soatodomicilio.co. 2017. (Recuperado el 2 de Mayo del 2017). Disponible en <http://www.soatadomicilio.co/precios-historicos-del-soat.php?tarifa=2004>

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.11: Valor histórico SOAT (c.c >1500).

VCI (c.c >1500)	
Año	Valor (\$)
2004	164900
2005	175600
2006	187700
2007	199400
2008	212000
2009	228200
2010	236500
2011	245800
2012	260000
2013	270400
2014	282500
2015	295400
2016	316000
2017	338000

FUENTE: SOAT a domicilio

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.12: Proyección SOAT (c.c >1500).

Año	VALOR SOAT VCI
2017	\$ 321.546
2018	\$ 333.696
2019	\$ 345.847
2020	\$ 357.997
2021	\$ 370.148
2022	\$ 382.298
2023	\$ 394.449
2024	\$ 406.600
2025	\$ 418.750
2026	\$ 430.901
2027	\$ 443.051
2028	\$ 455.202
2029	\$ 467.352
2030	\$ 479.503
2031	\$ 491.653
2032	\$ 503.804
2033	\$ 515.954
2034	\$ 528.105
2035	\$ 540.256
2036	\$ 552.406
2037	\$ 564.557

FUENTE: Datos Históricos de SOAT a domicilio

Revisión técnico mecánica: Es un procedimiento obligatorio que utilizan las autoridades colombianas para saber si los vehículos particulares, de servicio público y motocicletas poseen las condiciones mecánicas óptimas para poder circular por las vías públicas y privadas del país ¹⁶ Este procedimiento la rige el Decreto 019 de 2012 y las resoluciones 3500 de 2005 y 2200 de 2006 de los ministerios de Medio Ambiente y Transporte donde actualmente estas normativas no son requisito para la circulación por las vías del VE ¹⁷

Para Bucaramanga, los costos de esta revisión para nuestro VCI promedio se contemplan en la tabla 3.13, donde en base en esta información se proyecta el comportamiento hasta

¹⁶RESTREPO VANEGAS, Andrés. Las 20 preguntas claves sobre la revisión técnico mecánica de tu vehículo. [En línea]. Sura . 2012. (Recuperado el 1 de abril del 2017). Disponible en <https://www.sura.com/blogs/autos/revision-tecnico-mecanica-info.aspx>

¹⁷SANTACRUZ, Édgar. El presupuesto que debe tener si quiere un auto eléctrico. [En línea]. Finanzas Personales. 2017. (Recuperado el 15 de Marzo del 2017). Disponible en <http://www.finanzaspersonales.com.co/consumo-inteligente/articulo/cuanto-cuesta-comprar-carro-electrico/55897>

3.3. Variables de las tecnologías

el 2037 por medio de la herramienta estadística Eviews mostrada en la tabla 3.14.

Tabla 3.13: Precios revisión técnico-mecánica para un VCI.

Tecnico-Mecanica (VCI)	
2013	115000
2014	115000
2015	100000
2016	147250
2017	172000

FUENTE: CDA La isla 52

Tabla 3.14: Proyección del costo de la técnico-mecánica a 2037.

Año	Valor RevTecMeca VCI
2017	\$ 153.000
2018	\$ 169.125
2019	\$ 185.250
2020	\$ 201.375
2021	\$ 217.500
2022	\$ 233.625
2023	\$ 249.750
2024	\$ 265.875
2025	\$ 282.000
2026	\$ 298.125
2027	\$ 314.250
2028	\$ 330.375
2029	\$ 346.500
2030	\$ 362.625
2031	\$ 378.750
2032	\$ 394.875
2033	\$ 411.000
2034	\$ 427.125
2035	\$ 443.250
2036	\$ 459.375
2037	\$ 475.500

FUENTE: CDA La isla 52

Alternativa de transporte por pico y placa Debido a que el VCI tiene la restricción de 48 días al año de la reglamentación del pico y placa, se estudió una al-

3.3. Variables de las tecnologías

ternativa de transporte al sitio de trabajo para los residentes del barrio en estudio al momento de dejar el vehículo en su residencia.

Inicialmente, el barrio exclusivo cuenta con un colectivo que comunica la portería con la zona residencial, ya que esta se encuentra retirada de la urbanización de la ciudad. Su costo al público es de \$2500 por recorrido dando un total de \$5000 ida y vuelta. Para el transporte al trabajo desde la portería, existen varias opciones como lo son el bus urbano, taxi y el transporte masivo metrolínea, donde se escogió la última opción para este estudio ya que su sistema de interconexión con las demás zonas de la ciudad es completa y su tarifa es asequible.

Por ende, para realizar el respectivo diagnóstico de esta alternativa producto de la reglamentación del pico y placa, se consultaron los datos históricos del precio del pasaje al público del metrolínea desde el 2010 hasta el 2016 ¹⁸, para así, en base a este comportamiento realizar la proyección requerida para efectuar el criterio de decisión por medio del Modelo Logit. Los datos históricos del costo del pasaje de metrolínea anuales, los datos de este sumado con el valor del colectivo del barrio exclusivo al año y la proyección de este valor al año 2037 se encuentran en la gráfica 3.6, tabla 3.15 y tabla 3.16 respectivamente.

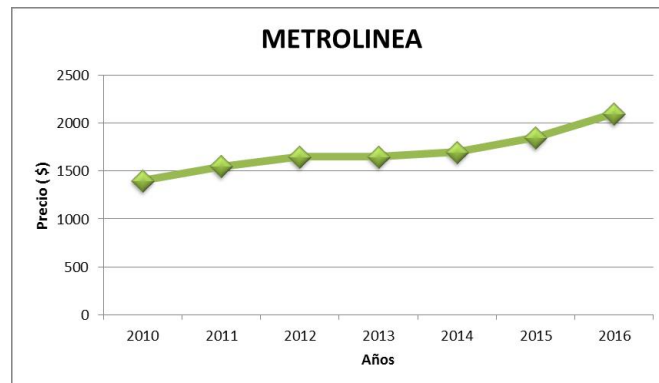
Tabla 3.15: Precio pasaje (metrolínea + colectivo) por año

Años	METROLÍNEA + COLECTIVO
2010	\$ 374.400
2011	\$ 388.800
2012	\$ 398.400
2013	\$ 398.400
2014	\$ 403.200
2015	\$ 417.600
2016	\$ 441.600

¹⁸ VANGUARDIA LIBERAL. Pasaje de bus quedó en 1900 y el de metrolínea, en 1850.[En línea]. Vanguardia liberal. 2014. (Recuperado el 10 de febrero del 2017). Disponible en <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/293085-pasaje-de-bus-queda-en-1900-y-el-de-metrolínea-en-1850>

3.3. Variables de las tecnologías

Figura 3.6: Comportamiento histórico del Precio del pasaje Metrolinea.



FUENTE: Vanguardia Liberal

Tabla 3.16: Precio proyectado por año a 2037 del Metrolinea + colectivo.

Año	Valor Metrolinea + Colectivo
2017	\$ 440.914
2018	\$ 450.342
2019	\$ 459.771
2020	\$ 469.200
2021	\$ 478.628
2022	\$ 488.057
2023	\$ 497.485
2024	\$ 506.914
2025	\$ 516.342
2026	\$ 525.771
2027	\$ 535.200
2028	\$ 544.628
2029	\$ 554.057
2030	\$ 563.485
2031	\$ 572.914
2032	\$ 582.342
2033	\$ 591.771
2034	\$ 601.200
2035	\$ 610.628
2036	\$ 620.057
2037	\$ 629.485

FUENTE: Vanguardia Liberal

Finalmente, se calcula el costo final de operación de la tecnología VCI mostrada en la tabla 3.17.

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.17: Costo final de operación VCI

Año	Valor Combustible VCI	Valor RevTecMeca VCI	VALOR SOAT VCI	Valor Metrolinea + Colectivo	TOTAL (\$)
2017	2678091	153000	321546	440914	\$ 3.593.551
2018	2755546	169125	333696	450342	\$ 3.708.709
2019	2833001	185250	345847	459771	\$ 3.823.869
2020	2910456	201375	357997	469200	\$ 3.939.028
2021	2987911	217500	370148	478628	\$ 4.054.187
2022	3065365	233625	382298	488057	\$ 4.169.345
2023	3142820	249750	394449	497485	\$ 4.284.504
2024	3220275	265875	406600	506914	\$ 4.399.664
2025	3297730	282000	418750	516342	\$ 4.514.822
2026	3375185	298125	430901	525771	\$ 4.629.982
2027	3452640	314250	443051	535200	\$ 4.745.141
2028	3530094	330375	455202	544628	\$ 4.860.299
2029	3607549	346500	467352	554057	\$ 4.975.458
2030	3685004	362625	479503	563485	\$ 5.090.617
2031	3762459	378750	491653	572914	\$ 5.205.776
2032	3839914	394875	503804	582342	\$ 5.320.935
2033	3917368	411000	515954	591771	\$ 5.436.093
2034	3994823	427125	528105	601200	\$ 5.551.253
2035	4072278	443250	540256	610628	\$ 5.666.412
2036	4149733	459375	552406	620057	\$ 5.781.571
2037	4227188	475500	564557	629485	\$ 5.896.730

Costos de operación (ve)

Combustible: El combustible para el funcionamiento del Vehículo Eléctrico se hace efectivo por medio de la unidad kWh. Al determinar el costo anual de operación de esta tecnología, se establece con el mismo criterio del cálculo del combustible para el VCI, considerando en promedio 15 kWh por cada 100 km [8], como se muestra en la ecuación 3.5.

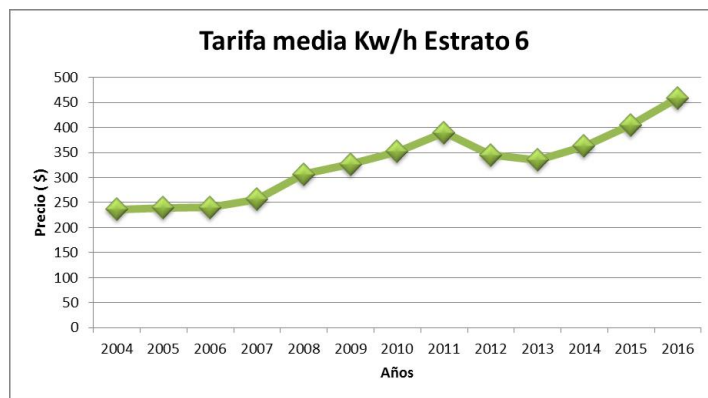
$$\$operacinkWh = \$\frac{Costoproyectado}{kWh} * km(ao) * \frac{0.15kWh}{km} \quad (3.5)$$

Para este cálculo, se consultó desde el 2004 hasta el 2016 el comportamiento del precio de la tarifa estrato 6 del operador de red que efectúa en la zona exclusiva a través del SUI (Sistema Único de Información de Servicios Públicos) mostrado en la gráfica 3.7

3.3. Variables de las tecnologías

¹⁹ . Posteriormente se determinó la distancia recorrida en los días dominicales a zonas habituales entre semana de la persona que reside en la zona y poblaciones cercanas al barrio exclusivo en estudio por medio de la herramienta Google maps mostrados en la tabla 3.18 , estableciendo un tope máximo de longitud en ida y vuelta de 178 Km que es lo que equivale a la autonomía del VE, ya que en el transcurso del recorrido no se cuenta con abastecimiento de energía para esta tecnología debido a su muy reciente llegada al país. En cuanto a la distancia recorrida en los días laborales, se tomó la misma de la tecnología VCI, pues los recorridos deben ser iguales ya que se está realizando una comparación entre ellas.

Figura 3.7: Tarifas históricas kWh Estrato 6.



Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios (SUI)

¹⁹ COLOMBIA. Sistema Único de información de servicios públicos SUI. Tarifa media kWh. [En línea]. SUI. 2017. (Recuperado el 20 de abril del 2017). Disponible en http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_com_094

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.18: Recorrido del VE en días dominicales

Recorrido 2 (Domingos y festivos)	Distancia2 D2 (km)
Ruitoque - Lebrija	31,3
Ruitoque - Mesa de los santos	16,4
Ruitoque - Aratoqa, piedecuesta, panachi	48,7
ruitoque - Panachi	39,9
Ruitoque - Rionegro	33,2
Ruitoque - Aeropuerto Palonegro	31
Ruitoque - Cepita	58,2
Ruitoque - Aratoqa	62,1
Ruitoque - Los Santos	49,7
Ruitoque - Berlin	73
Ruitoque - Tona	47,4
Ruitoque - Matanza	56,1
Ruitoque - Surata	63,3
Ruitoque - Charta	58,2
Ruitoque - California	71,8
Ruitoque - Santa Barbara	53,1
Ruitoque - Guaca	82,5
Ruitoque - Umpala	40,5
Ruitoque - Betulia	78,9
Ruitoque - Zapatoqa	55,7
Ruitoque - La corcova	34,7
Ruitoque - Chitota	26,8
Ruitoque - Torcoroma	54,9
Ruitoque - Zaragoza	54
Ruitoque - El aburrido	43,3
Ruitoque - Dos Colos	49,7
Ruitoque - El aventino	63,8
Ruitoque - Guarumales	37
Ruitoque - El cedro	48,5
Ruitoque - Villa Nueva	54,6
Ruitoque - San Cayetano	39,8
Ruitoque - El placer	39,9
Ruitoque - Santa isabel	42,1
Ruitoque - Portugal	43,2
Ruitoque - Los Angelinos	48,4
Ruitoque - Santa Ana	43,2
Ruitoque - Los Mirabeles	80,9
Ruitoque - Santa Clara	87,3
Ruitoque - Angosturas	76,2
Ruitoque - La macarena	84,9
Ruitoque - La pradera	85,2
Ruitoque - Los alpes	85,7
Ruitoque - El diamante	72,3
Ruitoque - Floridablanca	12,3
Ruitoque - Giron	21,9
Ruitoque - Piedecuesta	10
Ruitoque - Bucaramanga	18
PROMEDIO	51,26808511
RECORRIDO IDA Y VUELTA	102,5361702

Posteriormente, se obtiene el cálculo por año de operación kWh desde el 2004 hasta el 2016 mostrados en la tabla 3.19 A5, con la única diferencia del VCI que en los días laborales no hay restricción de circulación por la reglamentación del pico y placa para el VE, descartando la búsqueda de una alternativa de transporte para su lugar de trabajo de los residentes del barrio exclusivo en estudio, ya que según la resolución No 022 del 13 de enero de 2016, excluye de la medida a los vehículos automotores propulsados por

3.3. Variables de las tecnologías

motores eléctricos ²⁰. Finalmente se realizó la proyección de esta sub-variable hasta el 2037 por medio de la herramienta estadística Eviews mostrada en la tabla 3.20.

Tabla 3.19: Costo anual de kWh.

Año	$\$oK = \$P2 * Km/aOT(VE) * \frac{0.15Kwh}{km}$
2004	580282,3409
2005	580328,6713
2006	589654,2709
2007	628801,0353
2008	749807,8741
2009	800374,7301
2010	862896,7241
2011	938455,9368
2012	848171,1224
2013	817855,7272
2014	881518,9343
2015	993729,3315
2016	1114145,114

FUENTE: Elaboración propia basado en los datos históricos del SUI

Tabla 3.20: Valor proyectado de operación kWh

Año	Valor operación Kw/h VE
2017	\$ 1.081.217
2018	\$ 1.121.545
2019	\$ 1.161.873
2020	\$ 1.202.200
2021	\$ 1.242.528
2022	\$ 1.282.855
2023	\$ 1.323.183
2024	\$ 1.363.510
2025	\$ 1.403.838
2026	\$ 1.444.165
2027	\$ 1.484.493
2028	\$ 1.524.820
2029	\$ 1.565.148
2030	\$ 1.605.475
2031	\$ 1.645.803
2032	\$ 1.686.130
2033	\$ 1.726.458
2034	\$ 1.766.785
2035	\$ 1.807.113
2036	\$ 1.847.441
2037	\$ 1.887.768

²⁰COLOMBIA. Resolución 022 de 2016. Por el cual se implementan nuevas disposiciones reglamentarias de pico y placa. Bucaramanga. 2016.

3.3. Variables de las tecnologías

SOAT Según la circular externa de la superintendencia financiera de Colombia 032 de agosto 25 de 2009, señala que las entidades aseguradoras que las tarifas máximas anuales que pueden cobrar en la expedición del SOAT para vehículos eléctricos corresponderá a la determinada para el menor cilindraje dentro de la correspondiente categoría ²¹, que en este caso será de c.c <1500 para nuestro estudio. En la tabla 3.21 y 3.22 se muestran los datos históricos de esta categoría y la proyección a 2037 mediante eviews respectivamente ²².

Tabla 3.21: Valor histórico SOAT (c.c <1500).

VE (c.c <1500)	
Año	valor (\$)
2004	135000
2005	144300
2006	154200
2007	163800
2008	174200
2009	187500
2010	194200
2011	201900
2012	213600
2013	222100
2014	232000
2015	242600
2016	259500
2017	277500

FUENTE: SOAT a domicilio

²¹COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución 160 del 2017. Por la cual se reglamenta el registro y la circulación de los vehículos automotores tipo ciclomotor,1 tricimoto y cuadríciclo y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 2017

²²CARDENAS ALMOACID. Op. cit.

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.22: Proyección SOAT (c.c <1500).

Año	VALOR SOAT VE
2017	\$ 264.138
2018	\$ 274.126
2019	\$ 284.114
2020	\$ 294.102
2021	\$ 304.090
2022	\$ 314.078
2023	\$ 324.065
2024	\$ 334.053
2025	\$ 344.041
2026	\$ 354.029
2027	\$ 364.017
2028	\$ 374.005
2029	\$ 383.993
2030	\$ 393.981
2031	\$ 403.969
2032	\$ 413.957
2033	\$ 423.945
2034	\$ 433.933
2035	\$ 443.920
2036	\$ 453.908
2037	\$ 463.896

FUENTE: SOAT a domicilio

Finalmente, se calcula el costo final de operación de la tecnología VE mostrada en la tabla [3.23](#).

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.23: Costo final de Operación VE

Año	Valor operación Kw/h VE	VALOR SOAT VE	TOTAL (\$)
2017	1081217	264138	\$ 1.345.355
2018	1121545	274126	\$ 1.395.671
2019	1161873	284114	\$ 1.445.987
2020	1202200	294102	\$ 1.496.302
2021	1242528	304090	\$ 1.546.618
2022	1282855	314078	\$ 1.596.933
2023	1323183	324065	\$ 1.647.248
2024	1363510	334053	\$ 1.697.563
2025	1403838	344041	\$ 1.747.879
2026	1444165	354029	\$ 1.798.194
2027	1484493	364017	\$ 1.848.510
2028	1524820	374005	\$ 1.898.825
2029	1565148	383993	\$ 1.949.141
2030	1605475	393981	\$ 1.999.456
2031	1645803	403969	\$ 2.049.772
2032	1686130	413957	\$ 2.100.087
2033	1726458	423945	\$ 2.150.403
2034	1766785	433933	\$ 2.200.718
2035	1807113	443920	\$ 2.251.033
2036	1847441	453908	\$ 2.301.349
2037	1887768	463896	\$ 2.351.664

Mantenimiento

En materia de mantenimiento, sí se compara con los motores tradicionales, el de un eléctrico es un 56 por ciento más económico que uno de gasolina debido, en par-

3.3. Variables de las tecnologías

te, a que su menor componente mecánico no requiere operaciones rutinarias como la sustitución del aceite, filtro de aire o combustible, correa de distribución, entre otras. Estas y otras fueron las principales conclusiones reveladas por el estudio 'Vehículo y ahorro según motorización', que realizó la consultora europea experta en valoración de siniestros Audatex, con sede en España. Según el informe presentado por dicha entidad, con una distancia recorrida de 120 mil kilómetros, o a los seis años de uso, que es el tiempo promedio en que los vehículos comienzan a necesitar revisiones más periódicas y sustitución de piezas por desgaste, en los mantenimientos preventivos y correctivos, el costo anual de mantenimiento de un vehículo en promedio es de, 4.7 millones de pesos para los de gasolina y 2.7 millones de pesos para los eléctricos ²³

En la tabla 3.24 se muestra la proyección de los valores de mantenimiento de las dos tecnologías, adicionándole anualmente un factor de crecimiento producto del dólar al valor estudiado por la consultora europea.

²³REDACCIÓN MOTOR. El mantenimiento de un vehículo eléctrico es 3 veces mas barato que un híbrido.[En línea]. El tiempo. 2013. (Recuperado el 23 de marzo del 2017). Disponible en <http://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/mantenimiento-vehiculo-electrico-veces-barato-hibrido/15149>

3.3. Variables de las tecnologías

Tabla 3.24: Valor proyectado de mantenimiento VCI y VE.

Año	Valor Mantenimiento VCI	Valor Mantenimiento VE
2017	\$ -	\$ -
2018	\$ -	\$ -
2019	\$ -	\$ -
2020	\$ -	\$ -
2021	\$ -	\$ -
2022	\$ -	\$ -
2023	\$ 4.700.000	\$ 2.700.000
2024	\$ 4.722.132	\$ 2.712.714
2025	\$ 4.744.264	\$ 2.725.428
2026	\$ 4.764.384	\$ 2.736.986
2027	\$ 4.786.515	\$ 2.749.700
2028	\$ 4.808.647	\$ 2.762.414
2029	\$ 4.828.767	\$ 2.773.973
2030	\$ 4.850.899	\$ 2.786.687
2031	\$ 4.873.031	\$ 2.799.401
2032	\$ 4.893.151	\$ 2.810.959
2033	\$ 4.915.283	\$ 2.823.673
2034	\$ 4.937.414	\$ 2.823.673
2035	\$ 4.957.534	\$ 2.847.945
2036	\$ 4.979.666	\$ 2.860.659
2037	\$ 5.001.798	\$ 2.873.373

FUENTE: El tiempo.

4

Simulación de la red de distribución sin considerar vehículos eléctricos

Como se ha nombrado en varios ocasiones la intención de este proyecto es analizar el comportamiento de las redes de distribución, donde se observara gracias al programa de flujos de carga el estado actual y futuro de la red de distribución donde se evalué el comportamiento de la red en dos escenarios, en proyectar la demanda de energía y el ultimo también consiste en pronosticar demanda con la excepción que le agregaremos la proyección del vehículo eléctrico con el fin de hacer un comparativo de estos dos escenarios. Esta simulación me dará un análisis detallado año a año de los aspectos más representativos de la red, que en este caso se evidenciara la cargabilidad de los transformadores y conductores del sistema de distribución, con la finalidad de dar un dictamen anual de los cambios o recomendaciones técnicas que se deberían realizar para suplir y brindar un óptimo funcionamiento de la red.

Primeramente se revelara la información brindada por el operador de red nacional,

donde se mostrara el diagrama unifilar de la zona de estudio con sus diferentes calibres, distancias y capacidades de los transformadores 1, el diagrama unifilar cuenta con dos barrajes uno principal de 34,5 kV y otro barraje de 13.2 kV mostrado en la figura 4.1, con la presencia de 3 transformadores principales distribuidos de la siguiente manera.

Un transformador de 4MVA 4.1 con una relación de tensión de 34.5 / 13.2 kV, que alimenta los transformadores 59 y 60 siendo los únicos usuarios industriales de la zona, además este transformador abastece 7 transformadores con usuarios residenciales , donde se encuentran los 2 transformadores con mayor número de usuarios, se trata de los transformadores 56 y 57 cada uno con 322 usuarios alimentados por un transformador de 500 kVA, cabe resaltar que este circuito sale del barraje de 34.5 kV y se divide en 2 ramas.

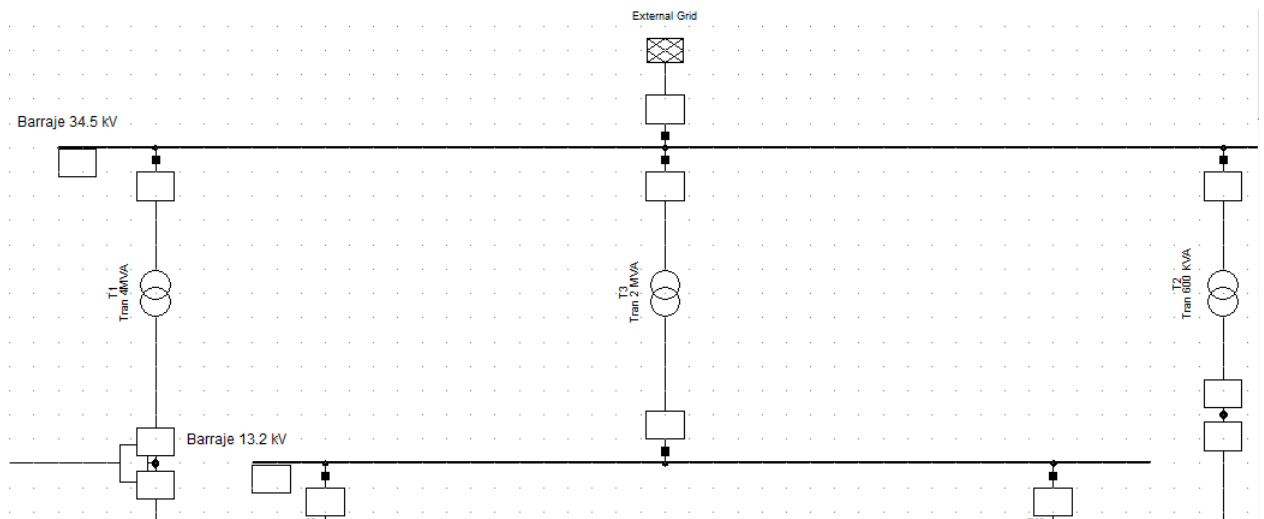
También hay un transformador de 2MVA 4.1 conectado entre los barrajes de 34.5kV y 13.2kV, del cual sale un circuito y este se divide en 2 ramas principales. Que abastecen la mayor parte de los usuarios residenciales, el alumbrado público y el total de los usuarios comerciales que existen en este sector residencial. Cabe aclarar que también este circuito se identifica por que la mayor parte de la ductería es de carácter subterráneo, exceptuando la distribución a los transformadores que hacen parte el alumbrado.

Y por ultimo se encuentra un transformador de 600kVA 4.1 conectado en el barraje de 34.5 kV, este transformador es única e exclusivamente para el bombeo de agua para la zona y lo conforman 4 transformadores de 112.5 kV.

Esta información hace parte de un sector exclusivo en Bucaramanga, donde se concentran usuarios residenciales estrato 6 lo cual fue muy satisfactorio para el estudio, ya que estos tipos de usuarios se prestan para el impacto que se quiere abordar y desarrollar en el proyecto.

Esta investigación fue hecha con el fin de saber el impacto futuro del vehículo eléc-

Figura 4.1: Barrajes y transformadores principales



FUENTE:A1

trico en la red y saber el comportamiento de esta en un periodo de 20 años debido a que en este tiempo el vehículo ya ha logrado un favorable estado de aceptación por los usuarios en la zona, por lo cual fue necesario establecer una metodología que nos brinde un panorama de los pasos que se requieren para la elaboración de esta investigación, a continuación se nombraran cada uno de estos que fueron identificados para la ejecución de esta tesis.

- Estado actual de la red de distribución a evaluar
- Estado de la red futura proyectada al 2036, y recomendaciones necesarias para suplir la demanda.
- Recomendaciones y conclusiones de la red simulada.

SECCIÓN 4.1

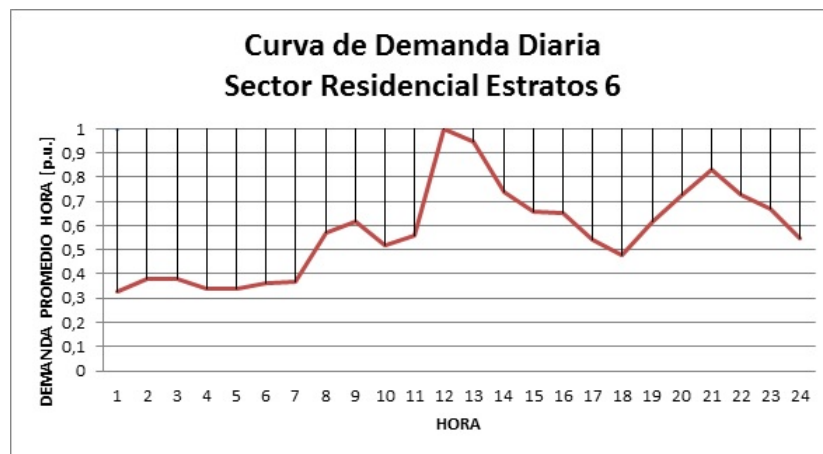
Estado actual

Para la evaluación y análisis de la red de distribución fue necesario trabajar con un modelo de simulación de flujos de carga, para saber de antemano el comportamiento de los transformadores y conductores que existen en la zona de estudio, es por esto que se simuló el diagrama unifilar en el programa Dig SILENT Power factory, donde este programa nos permite simular el estado de la red instantáneamente, para dicha investigación era necesario saber los datos de impedancia de los conductores, capacidad de corriente que soporta el conductor, datos nominales de los transformadores, potencia instantánea por transformador y el factor de potencia a trabajar.

Como se mencionó anteriormente el programa me pide un valor de potencia instantánea, por tal motivo para saber el estado actual de la red de distribución se escogió el valor de consumo de Diciembre del 2016, ya que era el último dato con el que se contaba del historial de consumo, aclarado esto, se decide hacer la conversión de consumo "*kWh/mes*" a potencia instantánea ósea a "*kW*", ante esto fue necesario utilizar el perfil de demanda en por unidad del operador de red local ESSA, este procedimiento consiste en buscar el área bajo la curva e identificar el punto máximo de potencia dependiendo del estrato socio económico del sector que en este caso se trabajó con un estrato 6 y de la misma manera para los usuarios comerciales que operan la zona [5.4](#) [5.3](#). Como caso de estudio se escogió tomar el valor máximo de potencia ya que la idea de este proyecto es simular en condiciones críticas, ya que sería fiable y razonable dar recomendaciones cuando se presenta este estado.

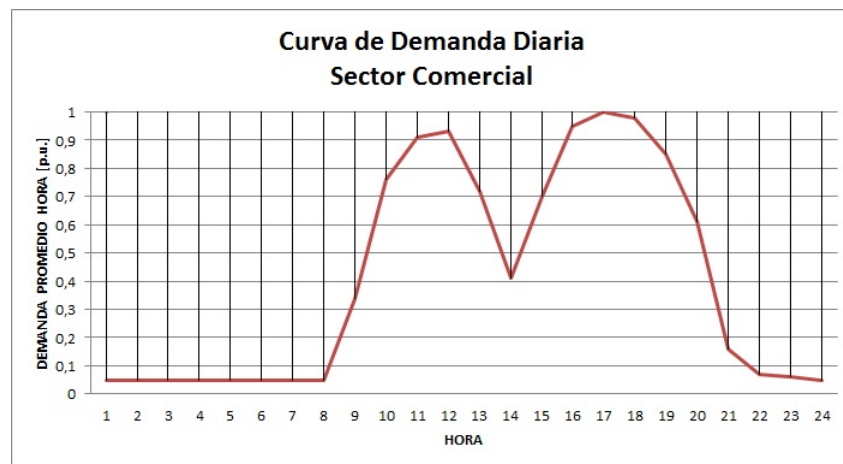
4.1. Estado actual

Figura 4.2: Curva de demanda horaria sector residencial estrato 6



FUENTE: [ELECTRIFICADORA DE SANTANDER GRUPO EPM]

Figura 4.3: Curva de demanda horaria sector comercial



FUENTE: [ELECTRIFICADORA DE SANTANDER GRUPO EPM]

Para el análisis de todas las simulaciones se trabajó con un factor de potencia de 0.9 en atraso inductivo, ya que es el mínimo valor que se debe respetar para la operación de cargas comerciales y residenciales como lo estipula la CREG 108 de 1997.

En el documento se validara solo las tablas donde la red y cualquier elemento del sistema se encuentre comprometido bajo lo que estipula la CREG 025 DEL 1995, la

4.1. Estado actual

cual habla que por regulación la tensión para barras o terminales debe estar entre los rangos 0.9a1.1 % del valor nominal, para los transformadores se basa bajo el criterio de la capacidad nominal en *MVA* y para las líneas de media tensión se escogió el criterio de la cargabilidad al 100 %. En los anexos se mostrara el comportamiento general, cabe aclarar que los elementos de la red son demasiados por lo cual en las tablas también solo se mostrara los aquellos elementos que incumplan lo que diga la norma.

A continuación se mostraran 4 tablas [4.1](#) [4.2](#) [4.3](#) [4.4](#) donde se refleja el comportamiento actual (o sea Diciembre del 2016) de la red de distribución , en estas se pueden observar el estado de los transformadores principales, transformadores de distribución, conductores utilizados en el sistema y regulación de tensión en todos los terminales. En este caso es el único caso que se muestra todo el comportamiento de la red para validar en qué estado inicial se encuentra.

Tabla 4.1: Transformadores Principales

Name	u, Magnitude LV-Side in p.u.	Loading %	Active Power LV-Side in MW	Active Power HV-Side in MW	Reactive Power LV-Side in Mvar	Reactive Power HV-Side in Mvar	Rated Power MVA
T1	0,9956504	37,95151	-1,399843	1,399843	-0,5700381	0,5873219	4
T2	0,9920376	66,09257	-0,3617116	0,3617116	-0,1546824	0,1625452	0,6
T3	0,9927474	81,79867	-1,557105	1,557105	-0,4616827	0,5018289	2

FUENTE: A [7](#)

4.1. Estado actual

Tabla 4.2: Transformadores de distribución

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
1.1	0,9919652	0,09040403	0,04378466	0,1004489	0,9	0,8928794	0,1125
1.2	0,9918719	0,09040402	0,04378467	0,1004489	0,9	0,8928794	0,1125
1.3	0,9917175	0,09040403	0,04378466	0,1004489	0,9	0,8928794	0,1125
1.4	0,9916581	0,09040403	0,04378466	0,1004489	0,9	0,8928794	0,1125
10	0,9921229	0,00226293	0,00109599	0,00251437	0,9000001	0,0335249	0,075
11	0,9921233	0,01273946	0,00617	0,01415495	0,9000001	0,1887328	0,075
12	0,9911835	0,00424579	0,00205633	0,00471754	0,9000001	0,1048344	0,045
13	0,9915182	0,01687205	0,0081715	0,01874672	0,9	0,4165939	0,045
14	0,9920948	0,0327586	0,01586571	0,03639844	0,9000001	0,3235418	0,1125
15	0,9913091	0,02733477	0,01323883	0,03037196	0,9	0,2699731	0,1125
16	0,9917314	0,01398468	0,00677309	0,01553853	0,9	0,2071805	0,075
17	0,992115	0,02988505	0,01447399	0,03320561	0,9	0,2951611	0,1125
18	0,9912931	0,03927202	0,0190203	0,04363557	0,9	0,2909039	0,15
19	0,9920561	0,08314174	0,04026737	0,09237971	0,9000001	0,6158649	0,15
2	0,9926934	0,0126633	0,00613311	0,01407033	0,9	0,9380222	0,015
20	0,9920742	0,05890803	0,02853045	0,06545336	0,9000001	0,290904	0,225
21	0,9917264	0,04139127	0,0200467	0,0459903	0,9	0,3066021	0,15
22	0,9910905	0,11159	0,0540455	0,1239889	0,9	0,3099723	0,4
23	0,9910844	0,00342193	0,00165732	0,00380215	0,9	0,05069533	0,075
24	0,9901087	0,04662594	0,02258197	0,0518066	0,9	0,4605033	0,1125
25	0,9870634	0,09858582	0,04774728	0,1095398	0,9	0,2190797	0,5
26	0,987095	0,00831051	0,00402497	0,0092339	0,9	0,2051979	0,045
27	0,98813	0,00521073	0,00252367	0,0057897	0,9	0,1286599	0,045
28	0,9868259	0,02888888	0,01399152	0,03209875	0,9	0,2139918	0,15
29	0,9879262	0,00378831	0,00183476	0,00420924	0,9	0,09353862	0,045
3	0,9926988	0,00388889	0,00188347	0,00432099	0,9	0,2880659	0,015
30	0,9875321	0,04396295	0,02129223	0,04884772	0,9	0,1628258	0,3
31	0,9892966	0,01114141	0,00539603	0,01237934	0,9	0,412645	0,03
32	0,9892964	0,0133367	0,00645925	0,01481855	0,9000001	0,4939519	0,03
33	0,9880088	0,00757575	0,0036691	0,0084175	0,9	0,1870557	0,045
34	0,9870836	0,00727272	0,00352234	0,0080808	0,9	0,1077441	0,075
35	0,9870806	0,00785439	0,00380406	0,0087271	0,9	0,1163614	0,075
36	0,9870881	0,041954	0,02031926	0,04661556	0,8999999	0,4143607	0,1125
37	0,9867765	0,08659	0,04193746	0,09621111	0,9	0,3207038	0,3
38	0,9866578	0,00862069	0,00417519	0,00957854	0,9	0,127714	0,075
39	0,9866696	0,0640397	0,03101585	0,07115523	0,8999999	0,3162456	0,225
4	0,9927175	0,00612458	0,00296627	0,00680509	0,9	0,4536725	0,015
40	0,9878984	0,04125477	0,01998061	0,04583864	0,8999999	0,4074547	0,1125
41	0,9879809	0,01072796	0,00519579	0,01191995	0,9	0,2648879	0,045
42	0,9880007	0,02701148	0,01308226	0,03001276	0,9	0,2000851	0,15
43	0,9880027	0,04768197	0,02309344	0,05297997	0,9	0,4709333	0,1125
44	0,9910869	0,0139727	0,00676729	0,01552522	0,9	0,2070031	0,075
45	0,9864961	0,06015322	0,02913354	0,06683691	0,8999999	0,2970531	0,225
46	0,9870927	0,2670706	0,1293482	0,2967451	0,9	0,5934905	0,5
47	0,9865053	0,02442527	0,0118297	0,02713919	0,8999999	0,1206187	0,225
48	0,9866654	0,00680555	0,00329608	0,00756173	0,8999999	0,1680384	0,045
49	0,9866622	0,00938697	0,00454632	0,01042997	0,8999999	0,2317771	0,045
5	0,9927305	0,00526936	0,00255207	0,00585484	0,9	0,390323	0,015
50	0,9956503	0,01685825	0,00816482	0,01873138	0,9	0,1248759	0,15
51	0,9956503	0,00545977	0,00264429	0,00606641	0,9	0,05392366	0,1125
52	0,9956503	0,00859191	0,00416125	0,00954657	0,9	0,08485838	0,1125
53	0,9910849	0,00190374	0,00092202	0,00211526	0,9	0,02820349	0,075
54	0,9956503	0,00215038	0,00104148	0,00238931	0,9	0,04778629	0,05
55	0,987095	0,00251437	0,00121776	0,00279374	0,8999999	0,02483326	0,1125
56	0,9914689	0,06466235	0,03131741	0,07184706	0,9	0,1436941	0,5
57	0,9913886	0,07484914	0,03625109	0,08316571	0,9	0,1663314	0,5
58	0,9914689	0,01559387	0,00755245	0,01732652	0,9	0,1540135	0,1125
59	0,9916864	0,8400893	0,4068739	0,9334326	0,9	0,9334326	1
6	0,9927375	0,01061616	0,00514164	0,01179573	0,9000001	0,7863823	0,015
60	0,9917537	0,3656296	0,1770826	0,4062551	0,9	0,5078189	0,8
7	0,9921253	0,01376676	0,00666754	0,0152964	0,9	0,3399201	0,045
8	0,9926988	0,0133973	0,00648861	0,01488589	0,9	0,4961965	0,03
9	0,991309	0,01050505	0,00508783	0,01167227	0,9	0,1556304	0,075

FUENTE: A7

4.1. Estado actual

Tabla 4.3: Comportamiento de las líneas de Distribución

Name	u, Magnitude Terminal i in p.u.	u, Magnitude Terminal j in p.u.	Loading %	Current, Magnitude Terminal i in kA	Nominal Current kA
1000 ml	0,9956504	0,9926345	23,69865	0,06478877	0,275
105 ml	0,9880089	0,9880007	1,022039	0,00128661	0,13
110 ml	0,9920327	0,991958	10,47618	0,01776322	0,17
111 ml	0,987095	0,9870634	3,733748	0,00480687	0,13
130	0,9921262	0,992115	1,126083	0,00141221	0,13
137 ml	0,9866696	0,9866627	0,627094	0,00079882	0,13
138 ml	0,9875495	0,9875321	1,664223	0,00210737	0,13
150 ml	0,9919565	0,9919353	2,685955	0,00695517	0,26
155	0,9919652	0,9918719	4,730489	0,01294885	0,275
165 ml	0,9917379	0,9917314	0,5271527	0,0006312	0,13
170 ml	0,9927305	0,9927175	0,587235	0,00159366	0,275
180 ml	0,9880089	0,9879809	1,94267	0,00249406	0,13
187 ml	0,9870847	0,9870806	0,2974646	0,00034845	0,13
195	0,9926988	0,9926934	0,2254346	0,00056305	0,275
195 ml	0,9865299	0,9864961	2,279496	0,00288429	0,13
20 ml	0,9866627	0,9866622	0,3556581	0,00045406	0,13
203 ml	0,9866627	0,9866578	0,3266257	0,0003825	0,13
216 ml	0,9913174	0,9912931	1,481013	0,00184169	0,13
220 ml	0,9875495	0,987095	26,35183	0,03418035	0,13
220 ml(1)	0,9866696	0,9866654	0,2578507	0,0003102	0,13
227 ml	0,9868332	0,9867765	3,280382	0,00417124	0,13
235 ml	0,9879263	0,9878984	1,561126	0,00193912	0,13
250 ml	0,991958	0,9917537	6,515192	0,01780951	0,275
250 ml(1)	0,9911836	0,9910905	4,76476	0,00610865	0,13
250 ml(2)	0,987095	0,9870847	0,5309496	0,00069023	0,13
265 ml	0,98813	0,9875495	27,91269	0,03619476	0,13
290 ml	0,9927175	0,9926988	0,5063353	0,00132866	0,275
294	0,9921262	0,9920561	3,133006	0,00395389	0,13
295 ml	0,9917175	0,9916581	1,611071	0,00431036	0,275
3 ml	0,9927474	0,9927454	5,663522	0,02593819	0,458
3 ml(1)	0,9921262	0,9921254	3,063623	0,00398199	0,13
3 ml(10)	0,987095	0,987095	0,3147349	0,00040787	0,13
3 ml(11)	0,987095	0,9870927	10,11449	0,01314753	0,13
3 ml(2)	0,9921254	0,9921253	0,5187331	0,00067305	0,13
3 ml(3)	0,9915183	0,9915182	0,6361295	0,00082567	0,13
3 ml(4)	0,9913091	0,991309	0,396157	0,00051371	0,13
3 ml(5)	0,9911836	0,9911835	0,1601339	0,00020689	0,13
3 ml(6)	0,9927474	0,992744	9,966978	0,04564785	0,458
3 ml(7)	0,9892966	0,9892966	0,4210085	0,00054602	0,13
3 ml(8)	0,98813	0,98813	0,1971338	0,00025499	0,13
3 ml(9)	0,9880089	0,9880088	0,2866433	0,00037135	0,13
304 ml	0,9921254	0,9920742	2,219773	0,00276701	0,13
310 ml	0,9901214	0,9892966	33,69454	0,04370306	0,13
310 ml(1)	0,98813	0,9880089	4,937555	0,00633141	0,13
320 ml	0,987095	0,9868332	10,28862	0,01328714	0,13
335 ml	0,9915183	0,9913174	7,584211	0,00976032	0,13
335 ml(1)	0,9868332	0,9866696	6,11559	0,00787229	0,13
337	0,9921262	0,9920948	1,234384	0,00148922	0,13
340	0,9917379	0,9915183	8,135336	0,01048149	0,13
350 ml	0,9920327	0,9916864	8,98893	0,04101835	0,458
350 ml(1)	0,9913174	0,9911836	4,857229	0,00620851	0,13
355 ml	0,9865299	0,9865053	0,9255822	0,00109656	0,13
375 ml	0,9914689	0,9913886	2,822422	0,0035223	0,13
385 ml	0,9918719	0,9917175	3,176876	0,00858676	0,275
3ml	0,9956504	0,9956503	0,949236	0,00161239	0,17
420 ml	0,9910905	0,9910849	0,3285087	0,00042706	0,13
425 ml	0,9927454	0,9921262	18,27346	0,02364281	0,13
430 ml	0,9879809	0,9879263	1,632898	0,00201672	0,13
45 ml	0,9880089	0,9880027	1,804149	0,00232625	0,13
450	0,9920327	0,9919565	1,518595	0,00688903	0,458
450 ml	0,9926345	0,9920327	25,13366	0,06517128	0,26
450 ml(1)	0,9919353	0,9918575	1,54732	0,00698348	0,458
450 ml(2)	0,9918575	0,9917561	3,700742	0,00708673	0,195
450 ml(3)	0,9892966	0,98813	32,89154	0,04261194	0,13
485	0,9921262	0,9917379	10,06355	0,01295468	0,13
5 ml	0,9879263	0,9879262	0,1433502	0,00018424	0,13
52 ml	0,9910849	0,9910844	0,1290741	0,00015251	0,13
55 ml	0,9927454	0,9927375	1,784499	0,00231161	0,13
550 ml	0,9921254	0,9921229	0,3924909	0,00051024	0,13
56 ml	0,9870847	0,9870836	0,275435	0,00033756	0,13
57 ml	0,987095	0,9870881	1,588888	0,00204153	0,13
58 ml	0,9921254	0,9921233	0,4800251	0,00060107	0,13
585 ml	0,9866696	0,9865299	3,045654	0,00381295	0,13
6 ml	0,9892966	0,9892964	0,5039633	0,00065257	0,13
650	0,9917561	0,9914689	5,728985	0,00721645	0,13
70 ml	0,9920376	0,9919652	13,36337	0,0173448	0,13
76 ml	0,9913174	0,9913091	1,425979	0,00182213	0,13
80 ml	0,9927375	0,9927305	0,6675843	0,00182764	0,275
88 ml	0,9868332	0,9868259	1,094374	0,00138685	0,13
91 ml	0,9910905	0,9910869	0,5270436	0,00065077	0,13
940 ml	0,992744	0,9901214	35,34147	0,04564877	0,13
95 ml	0,9901214	0,9901087	1,760443	0,00224896	0,13
97 ml	0,9917379	0,9917264	1,560253	0,00198807	0,13

FUENTE:A 7

4.1. Estado actual

Tabla 4.4: Regulación de tensión

Name	Nom.L-L Volt. kV	U1, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
Barraje 34.5 kV	34,5	34,5	1
Terminal	13,2	13,14259	0,9956504
Terminal(15)	13,2	13,14258	0,9956503
Barraje 13.2 kV	13,2	13,10427	0,9927474
Terminal(26)	13,2	13,10424	0,9927454
Terminal(9)	13,2	13,10422	0,992744
Terminal(21)	13,2	13,10414	0,9927375
Terminal(22)	13,2	13,10404	0,9927305
Terminal(23)	13,2	13,10387	0,9927175
Terminal(24)	13,2	13,10362	0,9926988
Terminal(25)	13,2	13,10355	0,9926934
Terminal(2)	13,2	13,10278	0,9926345
Terminal(27)	13,2	13,09607	0,9921262
Terminal(31)	13,2	13,09606	0,9921254
Terminal(34)	13,2	13,09605	0,9921253
Terminal(32)	13,2	13,09603	0,9921233
Terminal(35)	13,2	13,09602	0,9921229
Terminal(29)	13,2	13,09592	0,992115
Terminal(30)	13,2	13,09565	0,9920948
Terminal(33)	13,2	13,09538	0,9920742
Terminal(28)	13,2	13,09514	0,9920561
Terminal(1)	13,2	13,0949	0,9920376
Terminal(3)	13,2	13,09483	0,9920327
Terminal(16)	13,2	13,09394	0,9919652
Terminal(4)	13,2	13,09384	0,991958
Terminal(7)	13,2	13,09383	0,9919565
Terminal(10)	13,2	13,09355	0,9919353
Terminal(17)	13,2	13,09271	0,9918719
Terminal(11)	13,2	13,09252	0,9918575
Terminal(12)	13,2	13,09118	0,9917561
Terminal(5)	13,2	13,09115	0,9917537
Terminal(36)	13,2	13,09094	0,9917379
Terminal(38)	13,2	13,09085	0,9917314
Terminal(37)	13,2	13,09079	0,9917264
Terminal(18)	13,2	13,09067	0,9917175
Terminal(6)	13,2	13,09026	0,9916864
Terminal(19)	13,2	13,08989	0,9916581
Terminal(39)	13,2	13,08804	0,9915183
Terminal(40)	13,2	13,08804	0,9915182
Terminal(13)	13,2	13,08739	0,9914689
Terminal(14)	13,2	13,08633	0,9913886
Terminal(41)	13,2	13,08539	0,9913174
Terminal(42)	13,2	13,08528	0,9913091
Terminal(44)	13,2	13,08528	0,991309
Terminal(43)	13,2	13,08507	0,9912931
13.2	13,2	13,08362	0,9911836
Terminal(45)	13,2	13,08362	0,9911835
Terminal(46)	13,2	13,08239	0,9910905
Terminal(47)	13,2	13,08235	0,9910869
Terminal(49)	13,2	13,08232	0,9910849
Terminal(50)	13,2	13,08231	0,9910844
Terminal(20)	13,2	13,0696	0,9901214
Terminal(48)	13,2	13,06943	0,9901087
Terminal(51)	13,2	13,05872	0,9892966
Terminal(53)	13,2	13,05871	0,9892966
Terminal(52)	13,2	13,05871	0,9892964
Terminal(54)	13,2	13,04332	0,98813
Terminal(55)	13,2	13,04332	0,98813
Terminal(57)	13,2	13,04172	0,9880089
Terminal(59)	13,2	13,04172	0,9880088
Terminal(58)	13,2	13,04164	0,9880027
Terminal(60)	13,2	13,04161	0,9880007
Terminal(61)	13,2	13,04135	0,9879809
Terminal(62)	13,2	13,04063	0,9879263
Terminal(64)	13,2	13,04063	0,9879262
Terminal(63)	13,2	13,04026	0,9878984
Terminal(56)	13,2	13,03565	0,9875495
Terminal(65)	13,2	13,03542	0,9875321
Terminal(66)	13,2	13,02965	0,987095
Terminal(68)	13,2	13,02965	0,987095
Terminal(69)	13,2	13,02962	0,9870927
Terminal(70)	13,2	13,02956	0,9870881
Terminal(71)	13,2	13,02952	0,9870847
Terminal(72)	13,2	13,0295	0,9870836
Terminal(73)	13,2	13,02946	0,9870806
Terminal(67)	13,2	13,02924	0,9870634
Terminal(74)	13,2	13,0262	0,9868332
Terminal(76)	13,2	13,0261	0,9868259
Terminal(75)	13,2	13,02545	0,9867765
Terminal(77)	13,2	13,02404	0,9866696
Terminal(80)	13,2	13,02398	0,9866654
Terminal(79)	13,2	13,02395	0,9866627
Terminal(82)	13,2	13,02394	0,9866622
Terminal(78)	13,2	13,02388	0,9866578
Terminal(81)	13,2	13,02219	0,9865299
Terminal(84)	13,2	13,02187	0,9865053
Terminal(83)	13,2	13,02175	0,9864961

FUENTE:A 7

4.1. Estado actual

Para saber si el funcionamiento de la red de distribución es bueno en condiciones de operación y cumple con lo dicho en la CREG 025 del 1995, para corroborar este funcionamiento se debe revisar en la tabla 4.1 la columna de cargabilidad ya que es la que me indica que tanto porcentaje del transformador es utilizado, de igual manera para la tabla 4.2 se observa el comportamiento de los transformadores de distribución en la columna de factor de escala que muestra que porcentaje del transformador es el utilizado por los usuarios, en la tabla 4.3 se debe revisar la columna de cargabilidad que es la que me refleja que porcentaje de corriente es el utilizado por los conductores que existen en la red de distribución y por último en la tabla 4.4 se muestra la regulación de tensión para los terminales en el cual se encuentra conectados los componentes del sistema, donde se puede evidenciar en la última columna con el nombre u , *Magnitud $ep.u$* el cual no excede del 0.9 % ni sobre pasa el 1.1 %.

En estas tablas se puede evidenciar el estado actual de la red de distribución del caso de estudio , donde se ve reflejado que no existe ningún comportamiento irregular que comprometa el servicio, la vida útil de los elementos que conforman la red de distribución y cumple lo que dice la CREG. Cabe aclarar que el transformador 1 se conforma de 4 transformadores de 112.5kVA indicados en la tabla 4.2 como 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.

Para el caso de la simulación de los transformadores 59 y 60 se les dio un trato especial, ya que estos transformadores pertenecen a un usuario industrial y oficial respectivamente, el transformador 59 es un usuario industrial dedicado al sector avícola y el transformador 60 es un transformador utilizado como apoyo a un hospital cercano a la zona, por lo cual estos transformadores mantuvieron una demanda constante en el transcurso del periodo a evaluar, ya que la demanda futura del transformador 59 depende de la producción que este tenga en los periodos futuros y para el transformador 60 depende de cuándo y cuánto el usuario necesite suplir su demanda. Por lo cual a estos transformadores en la etapa de proyección se les asigno a trabajar a condiciones críticas ósea a modo nominal del transformador.

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

SECCIÓN 4.2

Simulación de la proyección de la demanda

Para el caso de estudio en la etapa de predicción de demanda, no se tomaron los pronósticos mensuales si no que se trabajó con la demanda máxima mensual del año correspondiente, con el fin de simular anualmente y no mensual , además se tomó de esta manera para adaptar esta proyección con la del vehículo eléctrico que pronostica la llega del vehículo a la zona año tras año.

Dadas estas restricciones se procederá a indicar cuales son los métodos utilizados para cada uno de los transformadores, donde esta tabla brindara el modelo aplicado por transformador, el comportamiento de la demanda hasta el año 2036 y el coeficiente de corrección R^2 como se muestra en la tabla4.5.

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Tabla 4.5: Tabla de pronósticos

Transformador	Modelo	Comportamiento	R^2
1	R. Potencial	100.63 a 117.7 %	0,2562
2	R. Potencial	58 a 53 %	0,1259
3	Holt	21 a 34 %	0,830832
4	HWM	36 a 53 %	0,2121
5	R. Logarítmica	28 a 23 %	0,2143
6	Holt	60 a 149 %	0,81763
7	R. Lineal	36,01 a 63,51 %	0,1758
8	R. Logarítmica	50 a 47 %	0,1076
9	HWA	21 a 52 %	0,8897
10	Simple	3 %	0,887
11	R. Logarítmica	23 a 18 %	0,1435
12	R. Lineal	13 a 58 %	0,83
13	R. Lineal	44 a 119 %	0,5456
14	Simple	31 a 33 %	0,1924
15	Simple	26 %	0,5781
16	R. Potencial	19,91 a 18,58 %	0,277
17	Simple	28,80 %	0,4869
18	R. Logarítmica	29 a 33 %	0,3819
19	R. Logarítmica	60 a 68 %	0,5743
20	Simple	30 a 39 %	0,15795
21	R. Logarítmica	29 a 28 %	0,1514
22	Simple	32 a 30 %	0,286
23	Simple	6 a 23 %	0,4
24	R. Logarítmica	45 a 41 %	0,177
25	Simple	23 %	0,3686
26	Simple	20,75 %	0,8817
27	R. Logarítmica	11 a 10 %	0,1354
28	R. Exponencial	22 a 5 %	0,123
29	Simple	10 a 19 %	0,129
30	Simple	16 %	0,7891
31	Simple	42,43 %	0,2278
32	Simple	33 %	0,8339
33	R. Logarítmica	17 a 13 %	0,47
34	Simple	7,30 %	0,8622
35	R. Potencial	11,68 a 12,96 %	0,213
36	Simple	43 a 50,7 %	0,219
37	Simple	33,13 %	0,2124
38	R. Lineal	12 a 22 %	0,2745
39	Simple	34 a 39 %	0,5230
40	Simple	39 a 51 %	0,5288
41	Simple	21 a 22 %	0,4977
42	HWM	25 a 82 %	0,5537
43	Simple	19,25 %	0,1722
44	Simple	20 %	0,89105
45	R. Logarítmica	34 a 39 %	0,4319
46	R. Potencial	65 a 114,17 %	0,6737
47	R. Lineal	13 a 65 %	0,8368
48	Simple	17 %	0,4882
49	R. Logarítmica	23 a 21 %	0,1373
50	R. Lineal	14 a 73 %	0,7585
51	R. Lineal	5 a 15 %	0,1794
52	Simple	8,40 %	0,8443
53	R. Lineal	5 a 38 %	0,9221
54	Simple	4,30 %	0,236
55	Simple	2,40 %	0,2145
56	R. Logarítmica	16 a 27 %	0,9627
57	R. Logarítmica	18 a 31 %	0,93
58	R. Logarítmica	19 a 31,52 %	0,896

FUENTE:A10

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Como se muestra en la tabla 4.5 se puede observar el comportamiento de los transformadores 1, 6, 13, 46 donde se observa que excede su capacidad nominal, su vida útil y incumpliendo lo que estipula la CREG 025 de 1995 acerca de la cargabilidad de los elementos, este detalle se validara en la simulación que se realizó de todo el sistema donde nos muestra el comportamiento anual de la red de distribución.

En el año 2017 el transformador 1, ya presenta en el primer año de planeación un exceso en la cargabilidad del transformador violando lo que estipula la CREG 025 del 1995, que habla que ningún elemento que haga parte de la red de distribución no puede estar sobrecargado, como se refleja en la tabla 4.6 que excede su capacidad nominal en un 100.6 %.

Tabla 4.6: Simulación sin VE en el año 2017

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
1.1	0,9907754	0,101892	0,04934856	0,1132134	0,9	1,006341	0,1125
1.2	0,9906701	0,101892	0,04934858	0,1132134	0,9	1,006341	0,1125
1.3	0,9904956	0,101892	0,04934856	0,1132134	0,9	1,006341	0,1125
1.4	0,9904286	0,101892	0,04934856	0,1132134	0,9	1,006341	0,1125

FUENTE: A8

En el 2026 el transformador 6 el cual hace parte del alumbrado público de la zona ya presenta una cargabilidad en el transformador en un porcentaje 103 %, debido al crecimiento de la demanda y la llegada de nuevos usuarios a la zona exclusiva del sector residencial violando lo que estipula la CREG 025 de 1995. En la tabla 4.7 se muestra el porcentaje de los transformadores de distribución afectados incluyendo la cargabilidad que presenta el transformador 1 en este año.

Además en este mismo año o sea en el 2026 el transformador principal de 2MVA excede su capacidad nominal a un porcentaje de 100.91 %, lo que indica que existiría un sobrecargo en este transformador afectando su vida útil y ocasionando irregularida-

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

des en el servicio como lo estipula la CREG 025 de 1995, ya que los usuarios conectados a este depende de su capacidad [4.8](#)

Tabla 4.7: Simulación sin VE en el año 2026

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
1.1	0,989551	0,1136308	0,05503391	0,1262565	0,9	1,12228	0,1125
1.2	0,9894333	0,1136308	0,05503393	0,1262565	0,9	1,12228	0,1125
1.3	0,9892383	0,1136308	0,05503391	0,1262565	0,9	1,12228	0,1125
1.4	0,9891634	0,1136308	0,05503391	0,1262565	0,9	1,12228	0,1125
6	0,9893833	0,0139127	0,00673822	0,01545855	0,9000002	1,030571	0,015

FUENTE: A8

Tabla 4.8: Transformadores principales en el año 2026

Name	u, Magnitude LV-Side in p.u.	Loading %	Active Power HV-Side in MW	Active Power LV-Side in MW	Reactive Power HV-Side in Mvar	Reactive Power LV-Side in Mvar	Rated Power MVA
T1	0,9934997	54,01243	1,972537	-1,972537	0,8813898	-0,8463817	4
T2	0,9896424	83,63842	0,4546763	-0,4546763	0,2123755	-0,1997838	0,6
T3	0,9893926	100,9149	1,880114	-1,880114	0,7339576	-0,6728547	2

FUENTE: A8

En el 2028 el transformador 46 presenta una cargabilidad del transformador, ya que sobrepasa el valor de la capacidad nominal del transformador ocasionando irregularidades en la disponibilidad del servicio violando incumpliendo la CREG 025 de 1995 y además se puede evidenciar en esta misma tabla [4.9](#) la sobrecarga del transformador 1 y 6 en este año.

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Tabla 4.9: Transformadores de distribución 2028

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
1.1	0,9894058	0,115017	0,05570526	0,1277966	0,9	1,135971	0,1125
1.2	0,9892866	0,115017	0,05570527	0,1277966	0,9	1,135971	0,1125
1.3	0,9890893	0,115017	0,05570526	0,1277966	0,9	1,135971	0,1125
1.4	0,9890134	0,115017	0,05570526	0,1277966	0,9	1,135971	0,1125
6	0,9889414	0,01517777	0,00735092	0,01686419	0,9000002	1,12428	0,015
46	0,9814085	0,4523526	0,2190845	0,5026141	0,8999999	1,005229	0,5

FUENTE: A8

Avanzando con la simulación en el 2031 el sistema de distribución opera con el avance de las sobrecargas de los transformadores mencionados anteriormente, en el 2032 el transformador 13 presenta una sobrecarga de su capacidad nominal incumpliendo lo que dice la CREG 025 de 1995, y además se puede evidenciar en esta misma tabla 4.10 la sobrecarga del transformador 1, 6 y 46.

Tabla 4.10: Transformadores de distribución en el año 2032

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	0,9880922	0,01770792	0,00857632	0,01967546	0,9000003	1,311699	0,015
1.1	0,989165	0,1173132	0,05681736	0,130348	0,9	1,158649	0,1125
1.2	0,9890435	0,1173132	0,05681738	0,130348	0,9	1,158649	0,1125
1.3	0,9888421	0,1173132	0,05681737	0,130348	0,9	1,158649	0,1125
1.4	0,9887647	0,1173132	0,05681737	0,130348	0,9	1,158649	0,1125
46	0,9800839	0,4855481	0,2351618	0,5394979	0,8999999	1,078997	0,5
13	0,986521	0,04192029	0,02030291	0,0465781	0,9000002	1,03507	0,045

FUENTE: A8

También es necesario aclarar que el transformador principal de 2MVA en el año 2032 ya se encuentra sobrecargado en un 110.17% como se muestra en la tabla 4.11.

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Tabla 4.11: Transformadores principales en el año 2032

Name	u, Magnitude LV-Side in p.u.	Loading %	Active Power HV-Side in MW	Active Power LV-Side in MW	Reactive Power HV-Side in Mvar	Reactive Power LV-Side in Mvar	Rated Power MVA
T1	0,9933103	55,41831	2,022506	-2,022506	0,9073982	-0,870544	4
T2	0,9892595	86,42898	0,4694162	-0,4694162	0,2203801	-0,2069342	0,6
T3	0,9881025	110,1786	2,043361	-2,043361	0,8248661	-0,7520302	2

FUENTE: A8

Y por último se hizo una simulación en el último periodo de estudio en el 2036, donde se resumirá el estado de la red en general donde se resaltara los transformadores principales y de distribución que se sobrecargaron y se revelara que el comportamiento de los conductores de la red suplen completamente la demanda proyectada. Por lo tanto se dará a conocer en la tabla 4.12 4.13 4.14 4.15 el balance general de la simulación sin la llegada del vehículo eléctrico.

Tabla 4.12: Transformadores principales en el año 2036

Name	u, Magnitude LV-Side in p.u.	Loading %	Active Power HV-Side in MW	Active Power LV-Side in MW	Reactive Power HV-Side in Mvar	Reactive Power LV-Side in Mvar	Rated Power MVA
T1	0,9931988	56,2457	2,051902	-2,051902	0,9227279	-0,8847649	4
T2	0,9890651	87,84426	0,476887	-0,476887	0,2244481	-0,2105582	0,6
T3	0,9872847	116,0345	2,146269	-2,146269	0,8826866	-0,8019026	2

FUENTE: A8

Tabla 4.13: Transformadores de distribución en el año 2036

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	0,9872738	0,02023806	0,00980172	0,02248673	0,9000003	1,499117	0,015
13	0,9856272	0,04832527	0,02340497	0,05369473	0,9000002	1,193218	0,045
1.1	0,9889691	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.2	0,9888455	0,1191796	0,0577213	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.3	0,9886409	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.4	0,9885623	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
46	0,9788163	0,5137948	0,2488423	0,5708831	0,8999999	1,141768	0,5

FUENTE: A8

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Tabla 4.14: Tabla de conductores en el año 2036

Name	u, Magnitude Terminal i in p.u.	u, Magnitude Terminal j in p.u.	Loading %	Current, Magnitude Terminal j in kA	Nominal Current kA
940 ml	0,9872797	0,983423	52,89538	0,06876399	0,13
310 ml	0,983423	0,982188	51,40361	0,06682469	0,13
450 ml(3)	0,982188	0,9804211	50,76363	0,06599272	0,13
265 ml	0,9804211	0,9795314	43,14585	0,05608961	0,13
220 ml	0,9795314	0,9788208	41,55112	0,05401645	0,13
450 ml	0,988926	0,9880715	35,71158	0,0928501	0,26
1000 ml	0,9931988	0,988926	33,69772	0,09266873	0,275
425 ml	0,9872823	0,9864833	23,74719	0,03087135	0,13
110 ml	0,9880715	0,9879234	20,7797	0,03532549	0,17
3 ml(11)	0,9788208	0,9788163	19,62255	0,02550931	0,13
Line	0,9890651	0,9889691	17,75488	0,02308135	0,13
320 ml	0,9788208	0,9784345	15,34183	0,01994438	0,13
3 ml(6)	0,9872847	0,9872797	14,93572	0,06840558	0,458
485	0,9864833	0,985952	13,88535	0,01805096	0,13
250 ml	0,9879234	0,9875192	12,88473	0,035433	0,275
340	0,985952	0,9856276	12,14035	0,01578246	0,13
335 ml(1)	0,9784345	0,9781233	11,82542	0,01537305	0,13
650	0,9875291	0,9869789	11,02367	0,01433076	0,13
335 ml	0,9856276	0,985354	10,40526	0,01352684	0,13
350 ml	0,9880715	0,9876989	9,668821	0,0442832	0,458
585 ml	0,9781233	0,9777647	7,927929	0,01030631	0,13
310 ml(1)	0,9804211	0,9802473	7,753553	0,01007962	0,13
3 ml	0,9872847	0,9872823	7,248476	0,03319802	0,458
450 ml(2)	0,987726	0,9875291	7,218183	0,01407546	0,195
350 ml(1)	0,985354	0,9851756	6,516546	0,00847151	0,13
155	0,9889691	0,9888455	6,287506	0,01729064	0,275
250 ml(1)	0,9851756	0,9850648	5,6911	0,00739843	0,13
150 ml	0,9879207	0,9878784	5,293886	0,01376441	0,26
375 ml	0,9869789	0,9868278	5,289838	0,00687679	0,13
355 ml	0,9776647	0,9776282	5,050685	0,00656589	0,13
3 ml(1)	0,9864833	0,9864822	4,306102	0,00559793	0,13
105 ml	0,9802473	0,9802131	4,269238	0,00555001	0,13
385 ml	0,9888455	0,9886409	4,215471	0,01159255	0,275
111 ml	0,9788208	0,9787866	4,031521	0,00524098	0,13
3ml	0,9931988	0,9931981	3,611905	0,00614024	0,17
294	0,9864833	0,9864048	3,50644	0,00455837	0,13
227 ml	0,9784345	0,9783754	3,418638	0,00444423	0,13
195 ml	0,9777647	0,9777194	3,049699	0,00396461	0,13
450 ml(1)	0,9878784	0,987726	3,037878	0,01391348	0,458
304 ml	0,9864822	0,9864122	3,031342	0,00394074	0,13
450	0,9880715	0,9879207	2,995018	0,01371718	0,458
180 ml	0,9802473	0,9802121	2,449383	0,0031842	0,13
76 ml	0,985354	0,9853402	2,376033	0,00308884	0,13
430 ml	0,9802121	0,9801384	2,212947	0,00287683	0,13
295 ml	0,9886409	0,9885623	2,130515	0,00585892	0,275
235 ml	0,9801384	0,9801029	1,989844	0,0025868	0,13
57 ml	0,9788208	0,9788123	1,962204	0,00255086	0,13
55 ml	0,9872823	0,9872738	1,914577	0,00248895	0,13
45 ml	0,9802473	0,9802461	1,901937	0,00247252	0,13
3 ml(3)	0,9856276	0,9856272	1,83289	0,00238276	0,13
216 ml	0,985354	0,9853261	1,701667	0,00221217	0,13
138 ml	0,9795314	0,9795135	1,70161	0,00221209	0,13
95 ml	0,983423	0,9834113	1,61461	0,00209899	0,13
97 ml	0,985952	0,9859414	1,43439	0,00186471	0,13
3 ml(4)	0,9853402	0,9853399	1,342018	0,00174462	0,13
337	0,9864833	0,9864504	1,292505	0,00168026	0,13
420 ml	0,9850648	0,9850273	1,177085	0,00153021	0,13
130	0,9864833	0,9864723	1,108659	0,00144126	0,13
3 ml(2)	0,9864822	0,986482	0,9759906	0,00126879	0,13
3 ml(5)	0,9851756	0,9851754	0,8985202	0,00116808	0,13
137 ml	0,9781233	0,978114	0,8588793	0,00111654	0,13
203 ml	0,978114	0,978105	0,5849746	0,00076047	0,13
80 ml	0,9872738	0,9872679	0,5649445	0,0015536	0,275
91 ml	0,9850648	0,9850612	0,527329	0,00068553	0,13
170 ml	0,9872679	0,9872564	0,5185912	0,00142613	0,275
250 ml(2)	0,9788208	0,9788114	0,4932598	0,00061565	0,13
165 ml	0,985952	0,9859461	0,4755204	0,00061818	0,13
58 ml	0,9864822	0,9864802	0,4709391	0,00061222	0,13
3 ml(7)	0,982188	0,9821879	0,4362753	0,00056716	0,13
290 ml	0,9872564	0,9872411	0,4143812	0,00113955	0,275
550 ml	0,9864822	0,9864797	0,3899404	0,00011186	0,13
6 ml	0,982188	0,9821879	0,3430271	0,00044594	0,13
187 ml	0,9788114	0,9788068	0,3342767	0,00043456	0,13
20 ml	0,978114	0,9781135	0,3339156	0,00043409	0,13
3 ml(10)	0,9788208	0,9788207	0,3209657	0,00041726	0,13
5 ml	0,9801384	0,9801383	0,2963466	0,00038525	0,13
88 ml	0,9784345	0,9784326	0,2852057	0,00037077	0,13
220 ml(1)	0,9781233	0,978119	0,2644235	0,00034375	0,13
3 ml(9)	0,9802473	0,9802472	0,2072894	0,00026948	0,13
52 ml	0,9850273	0,9850265	0,201702	0,00026221	0,13
56 ml	0,9788114	0,9788106	0,1896015	0,00024648	0,13
3 ml(8)	0,9804211	0,980421	0,1548929	0,00020136	0,13
195	0,9872411	0,987238	0,1291775	0,00035524	0,275

FUENTE: A8

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

Tabla 4.15: Regulación de tensión año 2036

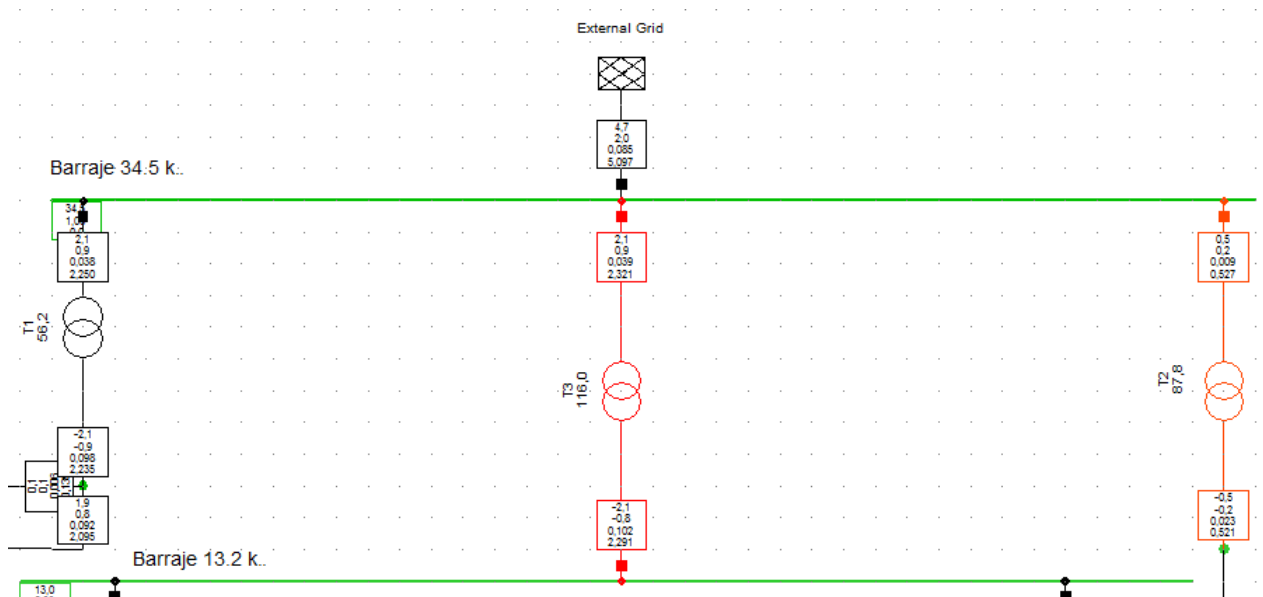
Name	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
Barraje 34.5 kV	34.5	34.5	1
Terminal	13.2	13.11022	0.9931988
Terminal(15)	13.2	13.11021	0.9931981
Terminal(1)	13.2	13.05566	0.9890651
Terminal(16)	13.2	13.05439	0.9889691
Terminal(2)	13.2	13.05382	0.988926
Terminal(17)	13.2	13.05276	0.9888455
Terminal(18)	13.2	13.05006	0.9886409
Terminal(19)	13.2	13.04902	0.9885623
Terminal(3)	13.2	13.04254	0.9880715
Terminal(4)	13.2	13.04059	0.9879234
Terminal(7)	13.2	13.04055	0.9879207
Terminal(10)	13.2	13.03999	0.9878784
Terminal(11)	13.2	13.03798	0.987726
Terminal(6)	13.2	13.03762	0.9876989
Terminal(12)	13.2	13.03538	0.9875291
Terminal(5)	13.2	13.03525	0.9875192
Barraje 13.2 kV	13.2	13.03216	0.9872847
Terminal(26)	13.2	13.03213	0.9872823
Terminal(9)	13.2	13.03209	0.9872797
Terminal(21)	13.2	13.03201	0.9872738
Terminal(22)	13.2	13.03194	0.9872679
Terminal(23)	13.2	13.03178	0.9872564
Terminal(24)	13.2	13.03158	0.9872411
Terminal(25)	13.2	13.03154	0.987238
Terminal(13)	13.2	13.02812	0.9869789
Terminal(14)	13.2	13.02613	0.9868278
Terminal(27)	13.2	13.02158	0.9864833
Terminal(31)	13.2	13.02157	0.9864822
Terminal(34)	13.2	13.02156	0.986482
Terminal(32)	13.2	13.02154	0.9864802
Terminal(35)	13.2	13.02153	0.9864797
Terminal(29)	13.2	13.02143	0.9864723
Terminal(30)	13.2	13.02115	0.9864504
Terminal(33)	13.2	13.02064	0.9864122
Terminal(28)	13.2	13.02054	0.9864048
Terminal(36)	13.2	13.01457	0.9859552
Terminal(38)	13.2	13.01449	0.9859461
Terminal(37)	13.2	13.01443	0.9859414
Terminal(39)	13.2	13.01028	0.9856276
Terminal(40)	13.2	13.01028	0.9856272
Terminal(41)	13.2	13.00667	0.985354
Terminal(42)	13.2	13.00649	0.9853402
Terminal(44)	13.2	13.00649	0.9853399
Terminal(43)	13.2	13.0063	0.9853261
13.2	13.2	13.00432	0.9851756
Terminal(45)	13.2	13.00432	0.9851754
Terminal(46)	13.2	13.00286	0.9850648
Terminal(47)	13.2	13.00281	0.9850612
Terminal(49)	13.2	13.00236	0.9850273
Terminal(50)	13.2	13.00235	0.9850265
Terminal(20)	13.2	12.98118	0.983423
Terminal(48)	13.2	12.98103	0.9834113
Terminal(51)	13.2	12.96488	0.982188
Terminal(53)	13.2	12.96488	0.9821879
Terminal(52)	13.2	12.96488	0.9821879
Terminal(54)	13.2	12.94156	0.9804211
Terminal(55)	13.2	12.94156	0.980421
Terminal(57)	13.2	12.93926	0.9802473
Terminal(59)	13.2	12.93926	0.9802472
Terminal(58)	13.2	12.93925	0.9802461
Terminal(60)	13.2	12.93881	0.9802131
Terminal(61)	13.2	12.9388	0.9802121
Terminal(62)	13.2	12.93783	0.9801384
Terminal(64)	13.2	12.93783	0.9801383
Terminal(63)	13.2	12.93736	0.9801029
Terminal(56)	13.2	12.92981	0.9795314
Terminal(65)	13.2	12.92958	0.9795135
Terminal(66)	13.2	12.92043	0.9788208
Terminal(68)	13.2	12.92043	0.9788207
Terminal(69)	13.2	12.92037	0.9788163
Terminal(70)	13.2	12.92032	0.9788123
Terminal(71)	13.2	12.92031	0.9788114
Terminal(72)	13.2	12.9203	0.9788106
Terminal(73)	13.2	12.92025	0.9788068
Terminal(67)	13.2	12.91998	0.9787866
Terminal(74)	13.2	12.91533	0.9784345
Terminal(76)	13.2	12.91531	0.9784326
Terminal(75)	13.2	12.91455	0.9783754
Terminal(77)	13.2	12.91123	0.9781233
Terminal(80)	13.2	12.91117	0.978119
Terminal(79)	13.2	12.9111	0.978114
Terminal(82)	13.2	12.9111	0.9781135
Terminal(78)	13.2	12.91099	0.978105
Terminal(81)	13.2	12.90649	0.9777647
Terminal(83)	13.2	12.9059	0.9777194
Terminal(84)	13.2	12.90469	0.9776282

FUENTE: A8

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

De este balance se puede decir que el comportamiento del transformador principal 2MVA es relativamente normal 4.4, ya que como se muestra en la tabla 4.12 en el estado actual se contaba con un porcentaje del 81%, ósea tuvo un incremento del 35.04% en un periodo de 20 años, sabiendo que el periodo que tuvo la irregularidad el transformador fue en el 2026 con un porcentaje del 100.91%, ante esto sería prudente hacer una repotenciación del transformador capaz de abastecer la demanda producida por el circuito que hacen parte de este.

Figura 4.4: Comportamiento de los transformadores principales año 2036



FUENTE: Anexo A3

Los transformadores 1, 6, 13 y 46 son los transformadores que sobrepasan su capacidad nominal en la proyección, el transformador 1 hace parte del bombeo de agua de la zona, el exceso de la capacidad de este transformador presenta un comportamiento normal ya que este transformador se encontraba en el estado actual con un porcentaje de utilización de 89% y en el 2036 con un porcentaje del 117.7% o sea un crecimiento del 28%, lo cual su crecimiento se debe a la construcción de nuevas casas residenciales en el sector, ya que devenga mas potencia para distribuir el servicio de agua, sin embargo es necesario repotenciar y/o reposición del transformador. También el transformador 6

4.2. Simulación de la proyección de la demanda

el cual hace parte del alumbrado público de la zona terminando con un porcentaje de cargabilidad de 149,9117 %, ante es necesario que el operar de red haga una necesaria repotenciación y/ó reposición del transformador con el fin de abastecer el servicio. Y los transformadores 13 y 46 son usuarios comerciales que presentaron crecimiento elevado en la demanda de energía impactando la capacidad nominal de los transformadores, por lo cual se debe hacer una repotenciar y/0 reposición de los transformadores que suplen esta demanda, teniendo en cuenta que estos transformadores presenta un crecimiento elevado de la demanda futura.

En el caso de los conductores no se presenta ninguna sobrecarga en ningún tramo que hace parte de la red de distribución de 13.2 kV 4.14 como se muestra en la tabla , lo que concluye que los conductores implementados en la red han sido sobre dimensionados para suplir una demanda futura.

En el caso de la regulación de tensión se puede observar en la tabla 4.15, que no se presenta ningún inconveniente en la tensión en *p.u* en los terminales y se encuentra entre los rangos establecidos de la CREG 025 de 1995.

Simulación de la red de distribución considerando vehículos eléctricos

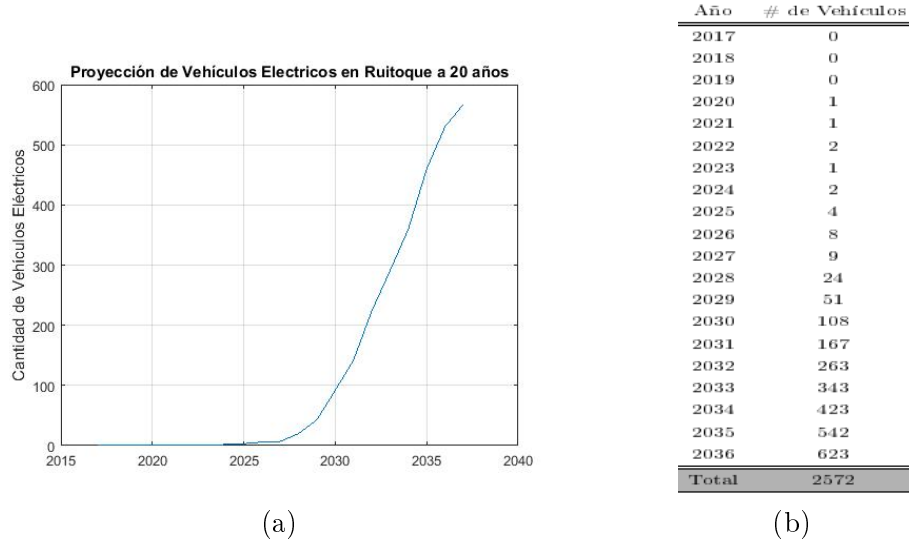
SECCIÓN 5.1

Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona

Respecto a la proyección del vehículo eléctrico que se hizo en capítulos anteriores, se conoce de antemano el número de vehículos anuales que llegaran a la zona de estudio como se muestra en la figura 5.1, por lo cual es necesario hacer una distribución uniforme de los vehículos que llegarían a los usuarios residenciales que en este caso se cuenta con 1647 usuarios residenciales en la zona, de tal modo que no se podía hacer la repartición de los vehículos aleatoriamente ya que se estimó que primeramente el vehículo llegaría a los transformadores que contaran con más usuarios residenciales conectados a la red de distribución y que a medida que transcurría los años pues incrementaba el grado de aceptación de los usuarios por tener este medio de transporte.

5.1. Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona

Figura 5.1: Proyección de vehículos eléctricos en la zona



(a)

(b)

Lo que quiere decir que a transcurso que avance los años pues incrementa el número de vehículos en la zona, de esta manera se planteó una formula donde se explica cuántos vehículos llegan por transformador, por lo tanto se organizó primeramente los transformadores que contienen solo usuarios residenciales y se clasificaron los transformadores desde los que tienen mayor número de usuarios hasta los que tienen menor número de usuarios, con el fin de hacer la masificación del vehículo uniformemente. Por lo cual se organizó primeramente los transformadores de usuarios residenciales para hacerle su respectiva repartición dependiendo del número de usuarios conectados al transformador como se indica en la siguiente tabla 5.1 , cabe aclarar que el sector que se escogió para hacer el estudio es un condominio residencial estrato 6 que cuenta en la mayor parte por usuarios residenciales divididos en conjuntos y otra parte de usuarios comerciales. Esta aclaración es debido a que se puede diferenciar los transformadores de carácter residencial porque es una zona exclusiva de conjuntos.

Bajo esto se dio a conocer el porcentaje de proporción $\%FP$ que gracias a esta ecuación puedo conocer de manera aproximada que vehículos llegan por transformador, esta

5.1. Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona

proporción la da el número de vehículos que llegan a la zona en el 2036 sobre el número de usuarios residenciales que existen como se muestra en la siguiente ecuación 5.1

$$\%FP = \frac{\#devehculosenlazona}{\#deusuariosresidenciales} \quad (5.1)$$

Dada esta fórmula se aplicó y se hizo la proporción del vehículo dependiendo del número de usuarios que contiene cada transformador como lo muestra la tabla 5.1

Ya con el factor de proporción $\%FP$, y con la proyección del vehículo eléctrico anual, se hace la distribución de los 2572 vehículos que llegan a la zona dependiendo de la cantidad de vehículos que pueden llegar por año como lo muestra la tabla 5.1, con base esto se hace la distribución de vehículos que se utilizara para la adopción al sistema de potencia explicada en la siguiente tabla 5.2

5.1. Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona

Tabla 5.1: Vehículos Eléctricos Totales en un horizonte de 20 años

Numero	Transformadores	# de usuarios	# de VE	Aproximación	Restantes	Total VE
1	56	322	502,8439587	503	1	504
2	57	322	502,8439587	503	1	504
3	22	158	246,7370978	247	1	248
4	37	142	221,7510625	222	1	223
5	39	80	124,9301761	125	1	126
6	20	63	98,38251366	98	1	99
7	45	56	87,45112325	87	0	87
8	21	47	73,39647845	73	0	73
9	18	43	67,14996964	67	0	67
10	43	39	60,90346084	61	0	61
11	14	36	56,21857923	56	0	56
12	19	36	56,21857923	56	0	56
13	15	32	49,97207043	50	0	50
14	17	30	46,84881603	47	0	47
15	24	29	45,28718883	45	0	45
16	40	29	45,28718883	45	0	45
17	36	28	43,72556163	44	0	44
18	47	25	39,04068002	39	0	39
19	50	16	24,98603522	25	0	25
20	16	15	23,42440801	23	0	23
21	42	15	23,42440801	23	0	23
22	41	13	20,30115361	20	0	20
23	35	11	17,17789921	17	0	17
24	55	10	15,61627201	16	0	16
25	38	8	12,49301761	12	0	12
26	7	6	9,369763206	9	0	9
27	10	6	9,369763206	9	0	9
28	44	6	9,369763206	9	0	9
29	48	5	7,808136005	8	0	8
30	58	4	6,246508804	6	0	6
31	23	3	4,684881603	5	0	5
32	26	3	4,684881603	5	0	5
33	27	2	3,123254402	3	0	3
34	29	2	3,123254402	3	0	3
35	49	1	1,561627201	1	0	1
36	51	1	1,561627201	1	0	1
37	52	1	1,561627201	1	0	1
38	53	1	1,561627201	1	0	1
39	54	1	1,561627201	1	0	1
Total		1647		2566	6	2572

5.1. Distribución espacial de los vehículos eléctricos en la zona

Tabla 5.2: Distribución anual de los VE

Transformador	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	Total
56	0	0	0	1	0	1	0	0	2	2	2	4	10	20	30	45	80	93	110	104	504
57	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	2	4	10	21	30	45	70	92	115	110	504
22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3	7	14	21	30	30	32	59	49	248
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	5	10	14	27	25	30	45	62	223
39	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	4	8	13	20	25	28	11	12	126
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	3	6	9	15	10	25	9	18	99
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	6	9	17	8	5	13	23	87
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	4	6	10	10	10	12	16	73
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	6	10	10	12	8	13	67
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	5	10	12	7	14	61
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	9	12	7	8	56
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	8	12	10	13	56
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	10	8	12	50
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	9	9	7	10	47
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	4	4	12	20	45
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	15	19	45
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	13	20	44
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	13	15	39
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	7	11	25
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	7	10	23
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	8	10	23
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	7	8	20
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8	6	17
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	8	16
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	12
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	9
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	9
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	9
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	8
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	6
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	5
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	0	0	0	1	1	2	1	2	4	8	9	24	51	108	167	263	343	423	542	623	2572

Ya con la llegada de los vehículos eléctricos al sistema se procede hacer su conexión a la red, este paso depende del tipo de recarga que se requiera implementar ya que varia

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

el valor de potencia necesario para la demanda propuesta por el vehículo eléctrico. En el capítulo de la metodología de la proyección de la demanda se hizo la caracterización del vehículo eléctrico y se escogió la recarga lenta como caso de estudio, lo cual en la simulación se trabajó con una potencia de 3.7 kW como lo muestra la tabla 2.2 además se escogió un factor de potencia de 0.9 en atraso ya que es el mínimo valor permitido por el operador de red. De esta manera se hace la vinculación del vehículo a la red con una potencia y un factor de potencia establecido, con base a esto se da inicio a la etapa de simulación de la red con la llegada del vehículo eléctrico al sistema de distribución.

Y por último para la simulación del vehículo eléctrico fue necesario aplicar un factor de diversidad por transformador, para los usuarios residenciales estrato 6 debido a que no todos los vehículos van a estar conectados al mismo tiempo de lo contrario la simulación reflejaría un colapso en la red de distribución en un periodo muy cercano, esta ecuación fue sacada de la norma técnica de la electrificadora de Santander EPM.

$$F_d = \frac{1}{(0.3+0.7*e^{(\frac{1-N}{6})})} \quad (5.2)$$

SECCIÓN 5.2

Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Esta es la sección más importante del proyecto ya que se evaluará el comportamiento de la red de distribución con la llegada masiva del vehículo eléctrico a la zona , donde se revisará el estado de los usuarios residenciales ya que a estos se le atribuirá el impacto de la energía producida por los vehículos eléctricos. Bajo esta aclaración se simulará año tras año el comportamiento de la red de distribución, cabe aclarar que los transfor-

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

madores 1, 6, 13, 46 obtuvieron sobrecargas en la capacidad nominal del transformador debido al crecimiento de la demanda de energía en la simulación anterior, por lo cual en este caso no se reportara sus cambios debido a que estos transformadores son usuarios comerciales lo cual se va comportar de la misma manera porque no poseen ningún porcentaje de participación de esta nueva carga, solo se resaltara su comportamiento en el balance general.

Ya especificado lo anterior se comenzó con la simulación, donde se partió buscando en que año existía un sobrecargo en los transformadores y conductores del sistema para especificar en que momento se presentarían alguna irregularidad, bajo la simulación nos lleva al escenario del 2024 donde ya existe un sobrecargo por los transformadores comerciales 1, 6 13, 46 analizados anteriormente, en este periodo los demás componentes de la red de distribución se encuentran en un perfecto estado de operación ya que no existen sobrecargas en el sistema, teniendo en cuenta que en este año la zona ya cuenta con 7 vehículos eléctricos amparados por la red de distribución.

Con el avance del año se llega al 2025 donde el transformador principal de $2MVA$ ya presenta sobrecarga en la capacidad nominal del transformador, debido a la llegada de 4 vehículos eléctricos mas a la red de distribución comprometiendo la vida útil del transformador, la suplencia de energía a los usuarios conectados a estos circuitos y violando lo que dice la CREG 025 del 1995. En la tabla 5.3 se evidencia el exceso de demanda por suplir del transformador de $2MVA$ con un porcentaje de utilización del 101.3364 %.

Tabla 5.3: Transformadores principales en el año 2025

Name	Voltage, Magnitude	Loading	Active Power	Active Power	Reactive Power	Reactive Power	Rated Power
	LV-Side in p.u.	%	HV-Side in MW	LV-Side in MW	HV-Side in Mvar	LV-Side in Mvar	MVA
T1	0,9935058	53,96805	1,970964	-1,970964	0,8805584	-0,8456078	4
T2	0,9897229	83,05139	0,451574	-0,451574	0,2106944	-0,1982789	0,6
T3	0,9900299	101,3364	1,904871	-1,904871	0,6921659	-0,6305515	2

FUENTE: A9

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Ya con el crecimiento de la demanda de energía y la aceptación del vehículo eléctrico por los usuarios de la zona, nos trasladamos al escenario de estudio del año 2035 osea 9 años después que se presento la falla en el transformador principal de 2MVA debido al crecimiento de la demanda y la llegada de 11 vehículos eléctricos a la zona, en el 2035 ya existen 1938 vehículos eléctricos más en la zona de estudio debido a que el grado de aceptación ha llegado a tener un despliegue muy favorable para el medio ambiente, ante esto el transformador principal a llegado a tener un sobrecargo del 194.0386 % de du capacidad nominal infringiendo lo establecido en la CREG 025 de 1995 como se evidencia en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Transformadores principales en el año 2035

Name	Voltage, Magnitude	Loading	Active Power	Active Power	Reactive Power	Reactive Power	Rated Power
	LV-Side in p.u.	%	HV-Side in MW	LV-Side in MW	HV-Side in Mvar	LV-Side in Mvar	MVA
T1	0,9896705	82,41431	2,979383	-2,979383	1,410911	-1,329405	4
T2	0,9891104	87,51412	0,4751446	-0,4751446	0,2234987	-0,209713	0,6
T3	0,9768627	194,0386	3,518336	-3,518336	1,637593	-1,411687	2

FUENTE: A9

En el 2035 no solamente fue el comportamiento irregular del transformador principal, si no que los transformadores de distribución de carácter residencial también fueron afectados con la masiva llegada de los vehículos eléctricos en la zona, se trata de los transformadores 56, 57, 39, 43 y 19 ya que en este año su capacidad nominal del transformador a sido vulnerada por la proyección de demanda y el numero de vehículos eléctricos conectados a cada uno de los transformadores residenciales.

El transformador 56 presenta una sobrecarga excesiva del 125.7% debido a la llega del vehículo eléctrico a la zona, siendo uno de los dos transformadores que tienen mas numero de vehículos eléctricos conectados al transformador con la llegada de 400 vehículos eléctricos a este sector, influyendo en la cargabilidad del transformador y en el abastecimiento total de la demanda de energía e incumpliendo la CREG 025 de 1995, como se evidencia en la tabla 5.5.

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

El transformador 57 es un caso similar al transformador 56 ya que presentan características iguales como el mismo número de usuarios residenciales y el mismo transformador de $500kVA$ para abastecer la demanda, pero sin embargo este transformador presenta una sobrecarga del 127.95 % debido a los 394 vehículos eléctricos que hacen parte del transformador residencial en ese año, ocasionando un exceso de la capacidad nominal del transformador afectando su vida útil y suplencia de la demanda total del transformador indicados en la tabla 5.5.

El transformador 39 en el año 2035 presenta un sobrecarga en la capacidad del transformador del 101.63 % , debido a los 114 vehículos eléctricos que habitan el entorno de este transformador, que perjudica la vida útil del transformador y el suministro total de la demanda de energía como se muestra en la tabla 5.5.

El transformador 43 comporta una sobrecarga del 100.99 % en el 2035, por la llegada de 47 vehículos eléctricos que conforman el transformador 43 en este año, afectando la vida útil y el abastecimiento de la demanda total que este transformador puede abarcar, esta información puede ser corroborada en la tabla 5.5.

Y por último el transformador 19 igual que los demás presenta exceso de la capacidad nominal que puede entregar el transformador en un porcentaje de 103.94 % , con la presencia de 43 vehículos eléctricos en el conjunto residencial del que hace parte este transformador, donde este exceso demanda está afectando considerablemente la vida útil del transformador y la disponibilidad del servicio a todos los usuarios que están en la zona residencial como lo ilustra la tabla 5.5.

En esta tabla también se subraya el comportamiento de los transformadores 1, 6, 13 y 46 que se comportan de la misma manera que la simulación anterior 5.5.

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Tabla 5.5: Transformadores de distribución en el año 2035

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	0,9768492	0,01960537	0,00949519	0,02178369	0,9000023	1,452263	0,015
57	0,976966	0,5758174	0,2788811	0,6397971	0,9	1,279595	0,5
56	0,9775968	0,5656743	0,2739687	0,628527	0,8999999	1,257055	0,5
1.1	0,9890148	0,1187443	0,05751046	0,1319381	0,9	1,172783	0,1125
1.2	0,9888917	0,1187443	0,05751048	0,1319381	0,9	1,172783	0,1125
1.3	0,9886878	0,1187443	0,05751046	0,1319381	0,9	1,172783	0,1125
1.4	0,9886095	0,1187443	0,05751046	0,1319381	0,9	1,172783	0,1125
13	0,9734102	0,04672358	0,02262906	0,051915	0,9000016	1,153681	0,045
46	0,9642449	0,507097	0,2455985	0,5634413	0,8999998	1,126899	0,5
19	0,9750878	0,140327	0,06796273	0,1559186	0,9000019	1,03947	0,15
39	0,962893	0,2058061	0,09967672	0,2286736	0,8999995	1,016342	0,225
43	0,966236	0,1022575	0,04952551	0,1136194	0,9000002	1,009965	0,1125

FUENTE: 9

Por ultimo se analizo el ultimo año del pronóstico total de la demanda ósea del 2036, con la adopción del vehículo eléctrico a la red contando ya con una compatibilidad satisfactoria entre el vehículo y los usuarios logrando la llegada de 623 vehículos mas a la zona en comparación con el 2035, llegando a una flota total de 2572 vehículos eléctricos distribuidos uniformemente en este exclusivo sector residencial.

Esta simulación contara con el balance general de la simulación donde se observó todos los componentes técnicos que hacen parte de la red de distribución, aclarando que en este año también se presentan sobrecargas en la capacidad nominal del transformador, donde llegan 5 transformadores más que presentan esta situación debido a la llegada de esta nueva carga, que en este caso se trata de los transformadores residenciales 22, 37, 40, 36, 42 y 7.

Primeramente se hablo del transformador 22 que presenta una sobrecarga del 106.79 % de la capacidad nominal capaz de brindar el transformador violando lo dicho en la norma CREG 025 de 1995, esta situación es ocasionada por que la llegada del vehículo

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

eléctrico a este transformador le ha provocado un aumento en la demanda total, en este caso con la llegada total de 248 vehículos eléctricos en este año afectan el funcionamiento y la vida útil del transformador como se muestra en la tabla 5.6.

El transformador 37 en el año 2036 presenta un exceso de la capacidad del transformador del 124.8 %, debido a que la llegada de 223 vehículos eléctricos a la zona residencial ha causado que el transformador no de abasto con la demanda total que abarca la llegada de esta nueva carga, generando irregularidades al transformador y la disponibilidad del servicio a los usuarios, este comportamiento puede ser evidenciado en la tabla 5.6.

El transformador 40 comporta una sobrecarga del 101.94 %, que excede la capacidad que el transformador puede suplir para los usuarios conectados, este escenario es causado a la llegada de 19 vehículos eléctricos mas que el año anterior, con un total de 45 vehículos afectando desfavorablemente el transformador y el abastecimiento total de la demanda, como se muestra en la tabla 5.6.

El transformador 36 presenta un sobre dimensionamiento de su capacidad debido a la llegada de 44 vehículos eléctricos a la zona residencial que hace parte este transformador, con un porcentaje de utilización del 100.23 % de su capacidad nominal perjudicando la vida útil del transformador y la suplencia de la demanda total de los usuarios conectados a este transformador, evidenciado en la tabla 5.6.

El transformador de distribución 42 presenta una cargabilidad de 101.3 % de la capacidad nominal, este incremento se debe a la llegada de 23 vehículos como carga al transformadores perjudicando su vida útil y suplencia del suministro de energía a los usuarios que lo conforman, como se observa en la tabla 5.6.

Y por ultimo el transformador 7 que se comporta similar a los transformadores an-

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

teriores que exceden la potencia nominal con un porcentaje del 113.27% de utilización, en este caso depende tanto de la cantidad de vehículos que llegan esta zona que para este caso es de 9 vehículos, como de la capacidad que este transformador tiene para suplir la demanda ocasionándole irregularidades y afectaciones que comprometen la vida útil del transformador y el suministro de energía a los usuarios que hacen parte de este, como se muestra en la tabla 5.6.

Ademas de revisar estos transformadores se hizo un balance del sistema en el 2036 año que culmina la proyección planteada, donde este incluye el estado general de los conductores, transformadores principales y de distribución evidenciados en las tablas

Tabla 5.6: Transformadores de distribución año 2036

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
57	0,9740988	0,699078	0,338579	0,7767534	0,9	1,553509	0,5
56	0,9748671	0,6821208	0,3303663	0,7579121	0,8999999	1,515826	0,5
6	0,9723641	0,02023776	0,00980135	0,02248629	0,9000042	1,499117	0,015
37	0,9566468	0,3369939	0,1632141	0,3744379	0,8999995	1,24816	0,3
13	0,9683867	0,04832442	0,02340417	0,05369361	0,9000003	1,193218	0,045
1.1	0,9889691	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.2	0,9888455	0,1191796	0,0577213	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.3	0,9886409	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
1.4	0,9885623	0,1191796	0,05772128	0,1324217	0,9	1,177083	0,1125
43	0,9600579	0,1178604	0,05708218	0,1309559	0,9000006	1,164083	0,1125
19	0,9703337	0,1551044	0,07511891	0,1723375	0,9000036	1,148942	0,15
46	0,9578158	0,513782	0,2488361	0,5708689	0,8999999	1,141768	0,5
7	0,9704648	0,04587456	0,02221759	0,05097153	0,9000036	1,132725	0,045
39	0,9562284	0,2196424	0,1063781	0,2440473	0,8999994	1,084684	0,225
22	0,966858	0,3844648	0,186202	0,4271819	0,9000026	1,067979	0,4
42	0,960029	0,1432476	0,06937772	0,1591639	0,9000006	1,06112	0,15
40	0,9597642	0,1032136	0,04998852	0,1146818	0,9000005	1,01942	0,1125
36	0,9578032	0,1014813	0,04914966	0,112757	0,8999999	1,002311	0,1125

FUENTE: A9

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Tabla 5.7: Transformadores principales 2036

Name	Voltage, Magnitude LV-Side in p.u.	Loading %	Active Power HV-Side in MW	Active Power LV-Side in MW	Reactive Power HV-Side in Mvar	Reactive Power LV-Side in Mvar	Rated Power MVA
T1	0,9886001	90,31052	3,258091	-3,258091	1,560265	-1,462393	4
T2	0,9890651	87,84426	0,476887	-0,476887	0,2244481	-0,2105582	0,6
T3	0,9723786	224,8562	4,043806	-4,043806	1,967678	-1,664316	2

FUENTE: A9

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Tabla 5.8: Tabla de conductores en el sistema en el año 2036

Name	u, Magnitude Terminal i in p.u.	u, Magnitude Terminal j in p.u.	Loading %	Current, Magnitude Terminal j in kA	Nominal Current kA
940 ml	0,9723699	0,9656564	92,08194	0,1197065	0,13
310 ml	0,9656564	0,9635274	88,58489	0,1151603	0,13
450 ml(3)	0,9635274	0,9604637	87,92682	0,1143049	0,13
265 ml	0,9604637	0,9590034	71,29553	0,09268419	0,13
220 ml	0,9590034	0,9578204	69,62748	0,09051572	0,13
450 ml	0,9817029	0,9803209	57,79241	0,1502603	0,26
425 ml	0,9723729	0,9704676	57,68995	0,07499693	0,13
650	0,9775874	0,9748671	54,70288	0,07111374	0,13
1000 ml	0,9886001	0,9817029	54,57284	0,1500753	0,275
320 ml	0,9578204	0,956875	38,16032	0,04960842	0,13
450 ml(2)	0,9785713	0,9775874	36,3287	0,07084097	0,195
485	0,9704676	0,9691496	35,05589	0,04557265	0,13
340	0,9691496	0,9683872	28,96134	0,03764974	0,13
335 ml	0,9683872	0,967683	27,19873	0,03535834	0,13
150 ml	0,979555	0,9793388	27,10414	0,07047076	0,26
375 ml	0,9748671	0,9740988	26,82809	0,03487652	0,13
3 ml(6)	0,9723786	0,9723699	26,05904	0,1193504	0,458
335 ml(1)	0,956875	0,9562284	24,90595	0,03237773	0,13
110 ml	0,9803209	0,9801716	20,94488	0,0356063	0,17
3 ml(11)	0,9578204	0,9578158	20,04884	0,02606349	0,13
350 ml(1)	0,967683	0,9671919	18,19532	0,02365391	0,13
Line	0,9890651	0,9889691	17,75488	0,02308135	0,13
250 ml(1)	0,9671919	0,966858	17,35852	0,02256608	0,13
3 ml	0,9723786	0,9723729	16,88922	0,07735264	0,458
310 ml(1)	0,9604637	0,9600737	16,26022	0,02113829	0,13
450 ml(1)	0,9793388	0,9785713	15,42681	0,07065477	0,458
450	0,9803209	0,979555	15,37334	0,07040992	0,458
585 ml	0,9562284	0,9556135	13,6585	0,01775605	0,13
227 ml	0,956875	0,9566468	13,16611	0,01711594	0,13
250 ml	0,9801716	0,9797642	12,98654	0,03571298	0,275
3 ml(1)	0,9704676	0,9704652	10,14285	0,01318571	0,13
350 ml	0,9803209	0,9799454	9,745194	0,04463299	0,458
304 ml	0,9704652	0,9702956	7,315145	0,00950969	0,13
355 ml	0,9556135	0,9554259	6,93268	0,00901248	0,13
195 ml	0,9556135	0,9555109	6,89807	0,00896749	0,13
155	0,9889691	0,9888455	6,287506	0,01729064	0,275
180 ml	0,9600737	0,9599895	5,993752	0,00779188	0,13
294	0,9704676	0,9703337	5,975117	0,00776765	0,13
105 ml	0,9600737	0,960029	5,577048	0,00725016	0,13
3ml	0,9886001	0,9885991	4,905824	0,0083399	0,17
430 ml	0,9599895	0,9598362	4,632952	0,00602284	0,13
216 ml	0,967683	0,967607	4,611662	0,00599516	0,13
76 ml	0,967683	0,9676563	4,591617	0,0059691	0,13
45 ml	0,9600737	0,9600579	4,588515	0,00596507	0,13
97 ml	0,9691496	0,9691156	4,587938	0,00596432	0,13
385 ml	0,9888455	0,9886409	4,215471	0,01159255	0,275
111 ml	0,9578204	0,9577855	4,119103	0,00535483	0,13
235 ml	0,9598362	0,9597642	4,019498	0,00522535	0,13
57 ml	0,9578204	0,9578032	3,960059	0,00514808	0,13
337	0,9704676	0,9703721	3,724619	0,00484201	0,13
95 ml	0,9656564	0,9656302	3,620035	0,00470605	0,13
130	0,9704676	0,9704361	3,173714	0,00412583	0,13
295 ml	0,9886409	0,9885623	2,130515	0,00585892	0,275
55 ml	0,9723729	0,9723641	1,986078	0,0025819	0,13
137 ml	0,9562284	0,9562079	1,917175	0,00249233	0,13
3 ml(3)	0,9683872	0,9683867	1,865328	0,00242493	0,13
138 ml	0,9590034	0,9589847	1,776595	0,00230957	0,13
3 ml(2)	0,9704652	0,9704648	1,767005	0,00229711	0,13
165 ml	0,9691496	0,9691283	1,691214	0,00219858	0,13
250 ml(2)	0,9578204	0,9577906	1,526309	0,0019842	0,13
203 ml	0,9562079	0,9561848	1,497185	0,00194634	0,13
187 ml	0,9577906	0,9577707	1,402425	0,00182315	0,13
3 ml(4)	0,9676563	0,967656	1,366393	0,00177631	0,13
420 ml	0,966858	0,9668152	1,342686	0,00174549	0,13
91 ml	0,966858	0,9668489	1,315055	0,00170957	0,13
220 ml(1)	0,9562284	0,9562112	1,033292	0,00134328	0,13
3 ml(5)	0,9671919	0,9671916	0,9151223	0,00118966	0,13
3 ml(10)	0,9578204	0,9578202	0,9065816	0,00117856	0,13
550 ml	0,9704652	0,97043	0,8624394	0,00112117	0,13
5 ml	0,9598359	0,9598359	0,6883429	0,00089485	0,13
80 ml	0,9723641	0,9723579	0,5918955	0,00162771	0,275
170 ml	0,9723579	0,9723458	0,5455618	0,00150029	0,275
3 ml(8)	0,9604637	0,9604636	0,5436166	0,0007067	0,13
20 ml	0,9562079	0,9562071	0,4861105	0,00063194	0,13
58 ml	0,9704652	0,9704631	0,4786665	0,00062227	0,13
3 ml(7)	0,9635274	0,9635273	0,4446596	0,00057806	0,13
290 ml	0,9723458	0,9723295	0,4402226	0,00121061	0,275
6 ml	0,9635274	0,9635273	0,3496191	0,0004545	0,13
88 ml	0,956875	0,9568731	0,2915676	0,00037904	0,13
3 ml(9)	0,9600737	0,9600737	0,2116075	0,00027509	0,13
52 ml	0,9668152	0,9668144	0,2054738	0,00026712	0,13
56 ml	0,9577906	0,9577898	0,1937218	0,00025184	0,13
195	0,9723295	0,9723264	0,1311422	0,00036064	0,275

FUENTE: A9

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

Tabla 5.9: Regulación de tensión año 2036

Name	Nom.L-L Volt. kV	UI, Magnitude kV	u, Magnitude p.u.
Barraje 34.5 kV	34.5	34.5	1
Terminal(1)	13.2	13.05566	0.9890651
Terminal(16)	13.2	13.05439	0.9889691
Terminal(17)	13.2	13.05276	0.9888455
Terminal(18)	13.2	13.05006	0.9886409
Terminal	13.2	13.04952	0.9886001
Terminal(15)	13.2	13.04951	0.9885991
Terminal(19)	13.2	13.04902	0.9885623
Terminal(2)	13.2	12.95848	0.9817029
Terminal(3)	13.2	12.94024	0.9803209
Terminal(4)	13.2	12.93827	0.9801716
Terminal(6)	13.2	12.93528	0.9799454
Terminal(5)	13.2	12.93289	0.9797642
Terminal(7)	13.2	12.93013	0.9795555
Terminal(10)	13.2	12.92727	0.9793388
Terminal(11)	13.2	12.91714	0.9785713
Terminal(12)	13.2	12.90415	0.9775874
Terminal(13)	13.2	12.86825	0.9748671
Terminal(14)	13.2	12.8581	0.9740988
Barraje 13.2 kV	13.2	12.8354	0.9723786
Terminal(26)	13.2	12.83532	0.9723729
Terminal(9)	13.2	12.83528	0.9723699
Terminal(21)	13.2	12.83521	0.9723641
Terminal(22)	13.2	12.83512	0.9723579
Terminal(23)	13.2	12.83496	0.9723458
Terminal(24)	13.2	12.83475	0.9723295
Terminal(25)	13.2	12.83471	0.9723264
Terminal(27)	13.2	12.81017	0.9704676
Terminal(31)	13.2	12.81014	0.9704652
Terminal(34)	13.2	12.81014	0.9704648
Terminal(32)	13.2	12.81011	0.9704631
Terminal(29)	13.2	12.80976	0.9704361
Terminal(35)	13.2	12.80968	0.97043
Terminal(30)	13.2	12.80891	0.9703721
Terminal(28)	13.2	12.8084	0.9703337
Terminal(33)	13.2	12.8079	0.9702956
Terminal(36)	13.2	12.79277	0.9691496
Terminal(38)	13.2	12.79249	0.9691283
Terminal(37)	13.2	12.79233	0.9691156
Terminal(39)	13.2	12.78271	0.9683872
Terminal(40)	13.2	12.7827	0.9683867
Terminal(41)	13.2	12.77341	0.967683
Terminal(42)	13.2	12.77306	0.9676563
Terminal(44)	13.2	12.77306	0.967656
Terminal(43)	13.2	12.77241	0.967607
13.2	13.2	12.76693	0.9671919
Terminal(45)	13.2	12.76693	0.9671916
Terminal(46)	13.2	12.76253	0.966858
Terminal(47)	13.2	12.76241	0.9668489
Terminal(49)	13.2	12.76196	0.9668152
Terminal(50)	13.2	12.76195	0.9668144
Terminal(20)	13.2	12.74666	0.9656564
Terminal(48)	13.2	12.74632	0.9656302
Terminal(51)	13.2	12.71856	0.9635274
Terminal(53)	13.2	12.71856	0.9635273
Terminal(52)	13.2	12.71856	0.9635273
Terminal(54)	13.2	12.67812	0.9604637
Terminal(55)	13.2	12.67812	0.9604636
Terminal(57)	13.2	12.67297	0.9600737
Terminal(59)	13.2	12.67297	0.9600737
Terminal(58)	13.2	12.67276	0.9600579
Terminal(60)	13.2	12.67238	0.960029
Terminal(61)	13.2	12.67186	0.9599895
Terminal(62)	13.2	12.66984	0.9598362
Terminal(64)	13.2	12.66983	0.9598359
Terminal(63)	13.2	12.66889	0.9597642
Terminal(56)	13.2	12.65884	0.9590034
Terminal(65)	13.2	12.6586	0.9589847
Terminal(66)	13.2	12.64323	0.9578204
Terminal(68)	13.2	12.64323	0.9578202
Terminal(69)	13.2	12.64317	0.9578158
Terminal(70)	13.2	12.643	0.9578032
Terminal(71)	13.2	12.64284	0.9577906
Terminal(72)	13.2	12.64282	0.9577898
Terminal(67)	13.2	12.64277	0.9577855
Terminal(73)	13.2	12.64257	0.9577707
Terminal(74)	13.2	12.63075	0.956875
Terminal(76)	13.2	12.63072	0.9568731
Terminal(75)	13.2	12.62774	0.9566468
Terminal(77)	13.2	12.62221	0.9562284
Terminal(80)	13.2	12.62199	0.9562112
Terminal(79)	13.2	12.62194	0.9562079
Terminal(82)	13.2	12.62193	0.9562071
Terminal(78)	13.2	12.62164	0.9561848
Terminal(81)	13.2	12.6141	0.9556135
Terminal(83)	13.2	12.61274	0.9555109
Terminal(84)	13.2	12.61162	0.9554259

FUENTE: Anexo A9

5.2. Estado de la red futura con la llegada del vehículo eléctrico

En este balance puede reflejarse que el transformador principal de 2MVA como se muestra en la figura 5.7 es el mayor afectado con la llegada del vehículo eléctrico ya que es el encargado de suplir toda la potencia que los usuarios conectados al circuito necesiten, de este modo se analizó que en el año 2025 ya el transformador principal presentaría irregularidades con un porcentaje de utilización del 101,3364% y llegando a la etapa final de la proyección ósea 10 años después presentó una irregularidad técnica en el transformador arrojando un porcentaje de sobrecarga del 224,8562% de su capacidad nominal infringiendo en la CREG 025 de 1995, es claro que es obligatorio realizar una repotenciación y/ó reposición del transformador antes del año 2025 teniendo en cuenta que el cambio que se haga sea sustancial, por que la demanda de los usuarios conectados a este transformador en la mayor parte son de carácter residencial, lo que hace que a medida que trascurren los años la demanda incrementa y el grado de aceptación de los vehículos también tiende a crecer, como queda evidenciado en la etapa 2025 – 2036 donde el incremento estuvo en el orden de los 123.51% de la capacidad nominal del transformador.

Además los transformadores de distribución 56,57,22, 37, 39, 43, 19, 40, 42, 36, 7 son los que presentan una sobrecarga en su capacidad nominal desobedeciendo la CREG 025 de 1995, debido al alto grado de aceptación de vehículos que obtuvieron en los años 2035 y 2036, donde los que obtuvieron un impacto superior son los transformadores 56 y 57 debido al número de usuarios que abastece este transformador y el número de vehículos que llegan a este conjunto residencial, siendo los transformadores con el mayor porcentaje de utilización logrando 151.5% 155.35% de su capacidad nominal. Concluyendo que con la llegada de estos vehículos eléctricos a la zona, los transformadores y conductores son los que asumen este impacto, para este caso es necesario hacer repotenciación y/ó reposición en todos los transformadores y observar el comportamiento de los demás transformadores ya que van a tender a comportarse de la misma manera debido al impacto de los vehículos eléctricos en la zona.

5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

En el caso de los conductores no se presenta ninguna sobrecarga en ningún tramo que hace parte de la red de distribución de 13.2 kV, es evidente que para la parte de la acometida principal que abastece la energía a los usuarios finales puede que se presente irregularidades en un periodo futuro, ya que esta carga especial presenta un consumo elevado que impactaría los conductores. Donde se concluye que los conductores implementados han sido sobre dimensionados para suplir demandas futuras.

En el caso de la regulación de tensión se puede observar en la tabla 5.9, que no se presenta ningún inconveniente en la tensión en *p.u* en los terminales y se encuentra entre los rangos establecidos de la CREG 025 de 1995.

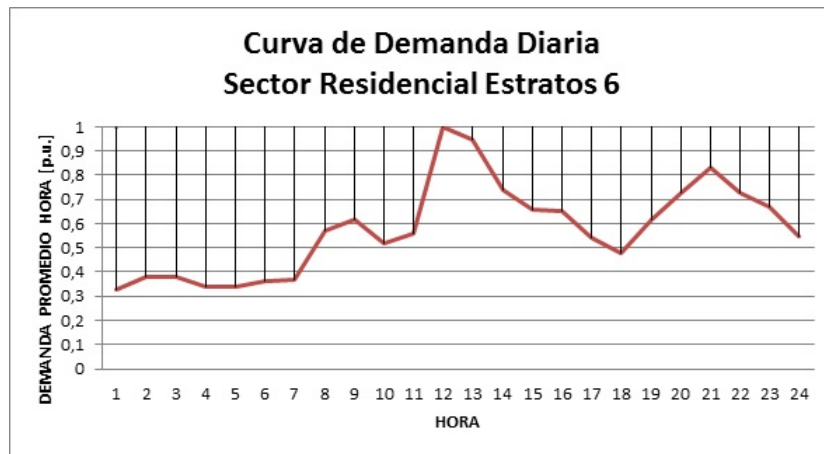
SECCIÓN 5.3

Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

Inicialmente se analizó en realizar el comportamiento de la red en un horizonte de planeación de 20 años, evaluándolo en un escenario crítico ósea donde el comportamiento de la red presentara la máxima potencia, que en el caso del estrato 6 se presenta al medio día y para usuarios comerciales a las 17:00 horas, esta información fue extraída de la norma de la Electrificadora de Santander la cual nos brinda la curva de demanda horaria que fue mencionada en capítulos anteriores.

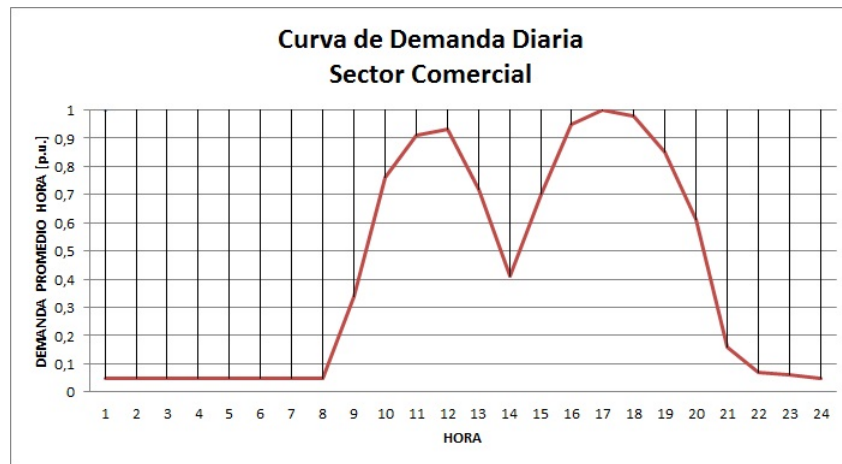
5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

Figura 5.2: Curva de demanda horaria sector residencial estrato 6



FUENTE: [ELECTRIFICADORA DE SANTANDER GRUPO EPM]

Figura 5.3: Curva de demanda horaria sector comercial



FUENTE: [ELECTRIFICADORA DE SANTANDER GRUPO EPM]

Sin embargo en este análisis se quiere analizar el comportamiento de la red en diferentes escenarios con el fin de evaluar el comportamiento de la red de distribución no necesariamente en condiciones críticas, si no de lo contrario revisar que ocurría en el periodo en el que el consumo de energía no es tan elevado, es por el cual que se analizo el estado de la red en un hora de la madrugada "periodo valle ", ya que es el periodo del día en el que se presenta un menor consumo de energía.

5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

También se escogió este horario "valle" debido a que se quiere analizar la red de distribución cuando el vehículo eléctrico llega a casa y es conectado para cargarlo única y exclusivamente en horas valle, ósea en horas donde la demanda de energía no presente picos que comprometan la cargabilidad de los transformadores de distribución.

Es por esto que se escogió una hora de la madrugada que para este caso se eligió las 2:00, que es una de las horas que presenta el menor consumo del día y sería ideal evaluar el comportamiento de la red de distribución cuando el vehículo se encuentra cargando las baterías en esta franja horaria. Se aclara que tanto para los usuarios residenciales y comerciales se eligió este periodo.

5.3.1 Simulación de la red sin considerar el vehículo eléctrico.

En este análisis solo se analizó el comportamiento en la etapa de proyección, partiendo de la simulación en el horizonte de los 20 años. Es claro resaltar que también se empleó las características técnicas de conexión y vinculación del vehículo eléctrico en la red como se emplearon en las simulaciones anteriores.

Primeramente se analizó la proyección de la demanda sin considerar la proyección de los vehículos eléctricos en la red. Donde se puede evidenciar el comportamiento de la red de distribución año tras año, esta simulación solo cuenta con una sobrecarga en un transformador de distribución y es por que este hace parte de los transformadores del alumbrado público ya que en el 2026 ya presenta una cargabilidad del 103.05% violando lo que estipula la CREG 025 de 1995, donde en la tabla 5.10 se puede observar dicho comportamiento.

5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

Tabla 5.10: Transformadores principales 2026

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	1,000524	0,01391271	0,00673823	0,01545856	0,9	1,030571	0,015

FUENTE: A11

Como explico el único elemento de la red de distribución que presenta sobrecargas en el sistema es el transformador de distribución 6, de lo contrario ningún elemento que hace parte de la red de distribución se encuentra comprometido en el año 2036, donde se presente problemas por cargabilidad y regulación mostrados a continuación: .

Tabla 5.11: Transformadores principales 2036

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	1,000004	0,02023809	0,00980175	0,02248676	0,9	1,499117	0,015

FUENTE: A11

Se puede observar en la tabla 5.10 que el transformador 6 en el año 2036 ya presenta una cargabilidad del 149 %, debido al crecimiento de la proyección de la demanda, es necesario aclarar que los transformadores del alumbrado público fueron los únicos que tuvieron un comportamiento de la demanda normal, ya que la simulación que hizo fue hecha en horas de la madrugada y en esta franja es el funcionamiento de estos transformadores. Ante el incumplimiento de la cargabilidad estipulado por la CREG 025 de 1995, es necesario hacer una repotenciación y/ó reposición del transformador para suplir en el horizonte planeado el servicio de energía.

De los demás elementos de la red se puede concluir que no presenta ninguna irregularidad y problemas por regulación que comprometan el servicio de energía como lo estipula la CREG 025 de 1995.

5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

5.3.2 Simulación de la red considerando el vehículo eléctrico.

Esta simulación consiste en simular la red de distribución considerando la llegada del vehículo eléctrico en la zona exclusiva en un horizonte de planeación de 20 años, bajo lo establecido acerca del periodo simulación.

En esta simulación no se analizara el comportamiento del transformador 6, debido a que el comportamiento de este es similar al anterior ya que este transformador hace parte del alumbrado público y no se le agregara la llegada de ningún vehículos al transformador, solo se señalara en la tabla correspondiente su cargabilidad.

Aclarado la situación, se procede analizar el comportamiento de la red de distribución la cual hasta en el 2035 presenta una cargabilidad en los transformadores 56 y 57 debido a que estos son los dos usuarios residenciales que contienen el mayor numero de vehículos eléctricos por transformador, con un total de 400 y 394 vehículos eléctricos conectados al transformador respectivamente como se muestra en la tabla 5.12.

Tabla 5.12: Transformadores de distribución 2035

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	0,9892571	0,01960553	0,00949538	0,02178392	0,9000002	1,452263	0,015
56	0,979803	0,490276	0,2374516	0,5447512	0,9	1,089503	0,5
57	0,9792675	0,4900068	0,2373211	0,544452	0,9	1,088905	0,5

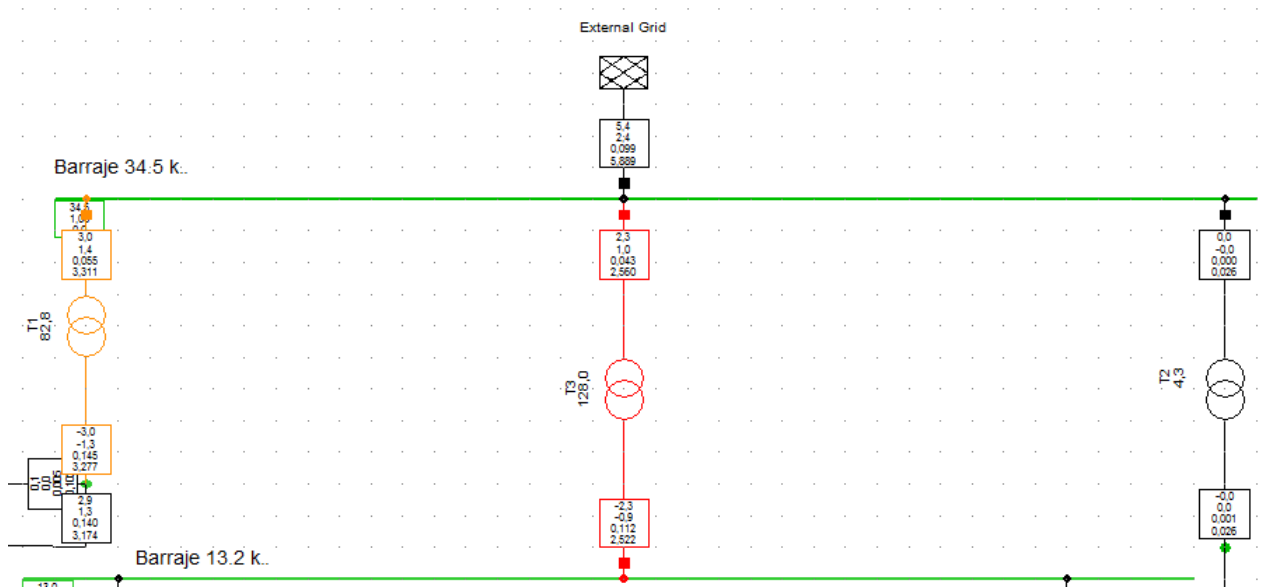
FUENTE: A12

En el 2036 el transformador principal de 2MVA presenta una cargabilidad del 128 % como se muestra en la tabla 5.13, debido a los 2572 vehículos que llegan a la zona violando lo que estipula la CREG 025 de 1995, donde se recomienda al operador de red hacer un cambio en la repotenciación y/ó reposición del transformador. En esta simulación se puede comprobar que el cambio de potencia máxima a hora "valle" fue

5.3. Simulación de la red de distribución en un escenario valle.

muy drástico ya que en la simulación sin considerar el vehículo eléctrico se presento un exceso en la cargabilidad de este transformador en el 2026 y considerando el vehículo en el 2025. Por lo cual es muy útil emplear este tipo de recarga inteligente ya que el cambio es demasiado notorio y gratificante para el operador de red, por que la inversión tecnica necesaria es mas prolongada en hacerla en comparación de las demás simulaciones y no sobrecargan la red en horas donde la demanda es muy elevada.

Figura 5.4: Transformadores Principales 2036



FUENTE:A12

Tabla 5.13: Transformadores principales en el 2036

Name	u, Magnitude	Loading	Active Power	Active Power	Reactive Power	Reactive Power	Rated Power
	LV-Side in p.u.	%	HV-Side in MW	LV-Side in MW	HV-Side in Mvar	LV-Side in Mvar	MVA
T1	0,9896249	82,77157	2,99218	-2,99218	1,417277	-1,335063	4
T2	1,000463	4,261257	0,02383639	-0,02383639	-0,00924803	0,00928071	0,6
T3	0,9850818	128,0153	2,341209	-2,341209	1,036294	-0,9379665	2

FUENTE: A12

En el año 2036 se presento también una cargabilidad del transformador 37 con un porcentaje de utilización de 104.28% como lo indica la tabla 5.14, debido a la llegada

5.4. Comparación de escenarios

de 223 vehículos al conjunto que hace parte el transformador afectando la vida útil y suplencia del servicio. Por lo cual es necesario hacer una repotenciación y/ó reposición del transformador.

Tabla 5.14: Transformadores de distribución 2036

Name	u, Magnitude p.u.	Active Power MW	Reactive Power Mvar	Apparent Power MVA	Power Factor	Scale Factor	App.Pow. MVA
6	0,9850712	0,02023805	0,00980171	0,02248671	0,9000004	1,499117	0,015
57	0,9764444	0,6125481	0,2966706	0,680609	0,9	1,361219	0,5
56	0,9771159	0,6060987	0,2935471	0,6734431	0,8999999	1,346887	0,5
37	0,9772067	0,2815584	0,136365	0,3128427	0,8999999	1,042812	0,3

FUENTE: A12

De los demás elementos de la red se puede concluir que no presenta ninguna irregularidad y problemas por regulación que comprometan el servicio de energía como lo estipula la CREG 025 de 1995.

SECCIÓN 5.4

Comparación de escenarios

En esta sección se compara el desempeño de la red de distribución eléctrica bajo estudio, considerando los cinco escenarios desarrollados en las secciones previas: comportamiento actual de la red, comportamiento de la red con las proyecciones de demanda sin considerar la carga de vehículos eléctricos, desempeño de la red con las proyecciones de demanda considerando el caso de masificación del vehículo eléctrico, comportamiento de la red de distribución con la proyección de la demanda sin considerar el vehículo eléctrico en una franja horaria "valle ", y el rendimiento de la red con la proyección de demanda considerando el vehículo eléctrico en un periodo "valle" determinado para los dos últimos escenarios.

El comportamiento de la red, se evalúa a partir de la cargabilidad de los transformado-

5.4. Comparación de escenarios

res, la cargabilidad de las líneas que conforman la red de distribución y la regulación de tensión en los distintos tramos de la red. Los cambios registrados la red para las variables mencionadas, para los escenarios planteados, se pueden observar en las tablas [5.15](#), [5.16](#) [5.17](#) y [5.18](#).

Tabla 5.15: Comparación transformadores principales

Name	ACTUAL Loading %	SIN VE Loading %	CON VE Loading %	SIN VE VALLE Loading %	CON VE VALLE Loading %
T1	37,95151	56,2457	90,31052	48,86809	82,77157
T2	66,09257	87,84426	87,84426	4,261257	4,261257
T3	81,79867	116,0345	224,8562	28,09899	128,0153

FUENTE: [A7](#), [8](#), [9](#), [11](#), [12](#)

5.4. Comparación de escenarios

Tabla 5.16: Comparación transformadores de distribución

Name	ACTUAL	SIN VE	CON VE	SIN VE VALLE	CON VE VALLE
	Scale Factor	Scale Factor	Scale Factor	Scale Factor	Scale Factor
1.1	0,8928794	1,177083	1,177083	0,05885413	0,05885413
1.2	0,8928794	1,177083	1,177083	0,05885413	0,05885413
1.3	0,8928794	1,177083	1,177083	0,05885413	0,05885413
1.4	0,8928794	1,177083	1,177083	0,05885413	0,05885413
10	0,0335249	0,03364163	0,3317229	0,01279485	0,3108761
11	0,1887328	0,1841088	0,1841088	0,00920544	0,00920544
12	0,1048344	0,5846723	0,5846723	0,02923362	0,02923362
13	0,4165939	1,193218	1,193218	0,0596609	0,0596609
14	0,3235418	0,3368518	0,9549725	0,1281141	0,7462348
15	0,2699731	0,26944	0,8248831	0,1024756	0,6579186
16	0,2071805	0,1857999	0,6496017	0,0706649	0,5344667
17	0,2951611	0,2889436	0,8137729	0,1098933	0,6347226
18	0,2909039	0,3322367	0,8842977	0,1263589	0,6784199
19	0,6158649	0,6853512	1,148942	0,2606581	0,7242487
2	0,9380222	0,5345544	0,5345544	0,5345544	0,5345544
20	0,290904	0,3949969	0,9377047	0,1502283	0,6929362
21	0,3066021	0,2802272	0,8811051	0,1065782	0,7074561
22	0,3099723	0,3033125	1,067979	0,1153582	0,8800249
23	0,05069533	0,07873747	0,07873747	0,02994606	0,2496361
24	0,4605033	0,4195044	0,9236622	0,1595492	0,6637071
25	0,2190797	0,2345732	0,2345732	0,01172866	0,01172866
26	0,2051979	0,2075106	0,5736607	0,07892205	0,4450722
27	0,1286599	0,1003045	0,3449258	0,03814858	0,2827699
28	0,2139918	0,05529557	0,05529557	0,00276478	0,00276478
29	0,09353862	0,1918511	0,4364724	0,07296631	0,3175876
3	0,2880659	0,3465259	0,3465259	0,3465259	0,3465259
30	0,1628258	0,1651353	0,168831	0,00825676	0,00825676
31	0,412645	0,4245424	0,4245424	0,02122712	0,02122712
32	0,4939519	0,3338019	0,3338019	0,01669009	0,01669009
33	0,1870557	0,1342114	0,1342114	0,00671057	0,00671057
34	0,1077441	0,07354802	0,07354802	0,0036774	0,0036774
35	0,1163614	0,1296686	0,532427	0,04931659	0,452075
36	0,4143607	0,5074373	1,002311	0,1929925	0,6878664
37	0,3207038	0,3313824	1,24816	0,126034	1,042812
38	0,127714	0,2267537	0,5674709	0,08624075	0,426958
39	0,3162456	0,3940147	1,084684	0,1498548	0,8405245
4	0,4536725	0,5387682	0,5387682	0,5387682	0,5387682
40	0,4074547	0,5152623	1,01942	0,1959686	0,7001265
41	0,2648879	0,2211386	0,9423822	0,08410515	0,8053488
42	0,2000851	0,8292192	1,06112	0,3153752	0,5472761
43	0,4709333	0,4925705	1,164083	0,1873383	0,8588504
44	0,2070031	0,2058582	0,5039394	0,07829361	0,3763748
45	0,2970531	0,393896	0,8709011	0,1498096	0,6268147
46	0,5934905	1,141768	1,141768	0,05708842	0,05708842
47	0,1206187	0,6522807	0,8751946	0,2480805	0,4709944
48	0,1680384	0,1708338	0,6527598	0,06497286	0,5468988
49	0,2317771	0,2157275	0,3070855	0,08204717	0,1734052
5	0,390323	0,2317768	0,2317768	0,2317768	0,2317768
50	0,1248759	0,7343262	0,9792521	0,2792847	0,5242107
51	0,05392366	0,156082	0,1926253	0,05936235	0,09590556
52	0,08485838	0,08485838	0,1214016	0,03227401	0,06881721
53	0,02820349	0,387288	0,4421028	0,1472964	0,2021112
54	0,04778629	0,04350355	0,1257258	0,01654561	0,09876784
55	0,02483326	0,02483326	0,2915643	0,00944478	0,2761758
56	0,1436941	0,2726258	1,515826	0,1036872	1,346887
57	0,1663314	0,3103086	1,553509	0,118019	1,361219
58	0,1540135	0,3152155	0,4740845	0,1198852	0,2787542
59	0,9334326	1	1	1	1
6	0,7863823	1,499117	1,499117	1,499117	1,499117
60	0,5078189	1	1	1	1
7	0,3399201	0,6359229	1,132725	0,2418592	0,7386613
8	0,4961965	0,4702484	0,5091642	0,02351242	0,02351242
9	0,1556304	0,5240428	0,5240427	0,02620214	0,02620214

FUENTE: A7, 8, 9,11, 12

5.4. Comparación de escenarios

Tabla 5.17: Comparación de conductores de la red de distribución

Name	ACTUAL Loading %	SIN VE Loading %	CON VE Loading %	SIN VE VALLE Loading %	CON VE VALLE Loading %
97 ml	1,560253	1,43439	4,587938	0,5380802	3,632861
95 ml	1,760443	1,61461	3,620035	0,6043768	2,558653
940 ml	35,34147	52,89538	92,08194	10,37124	44,7916
91 ml	0,5270436	0,527329	1,315055	0,1976918	0,9680021
88 ml	1,094374	0,2852057	0,2915676	0,0631201	0,06166056
80 ml	0,6675843	0,5649445	0,5918955	0,3761848	0,379836
76 ml	1,425979	2,376033	4,591617	0,4532374	2,602867
70 ml	13,36337	17,75488	17,75488	0,8602228	0,8602228
650	5,728985	11,02367	54,70288	4,112438	47,5963
6 ml	0,5039633	0,3430271	0,3496191	0,01686375	0,0171754
585 ml	3,045654	7,927929	13,6585	2,858975	8,337557
58 ml	0,4800251	0,4709391	0,4786665	0,04053601	0,03996147
57 ml	1,588888	1,962204	3,960059	0,7317124	2,661929
56 ml	0,275435	0,1896015	0,1937218	0,04007599	0,03917214
550 ml	0,3924909	0,3899404	0,8624394	0,412284	0,797433
55 ml	1,784499	1,914577	1,986078	1,458717	1,482488
52 ml	0,1290741	0,201702	0,2054738	0,07561512	0,642063
5 ml	0,1433502	0,2963466	0,6883429	0,1106371	0,491133
485	10,06355	13,88535	35,05589	3,752157	24,69449
450 ml(3)	32,89154	50,76363	87,92682	9,840087	42,46641
450 ml(2)	3,700742	7,218183	36,3287	2,634065	31,59106
450 ml(1)	1,54732	3,037878	15,42681	1,09933	13,4098
450 ml	25,13366	35,71158	57,79241	32,20839	54,19053
450	1,518595	2,995018	15,37334	1,082883	13,35663
45 ml	1,804149	1,901937	4,588515	0,710112	3,319872
430 ml	1,632898	2,212947	4,632952	0,7905068	3,123104
425 ml	18,27346	23,74719	57,68995	7,138174	40,3636
420 ml	0,3285087	1,177085	1,342686	0,4371107	1,145236
3ml	0,949236	3,611905	4,905824	1,372338	2,654465
385 ml	3,176876	4,215471	4,215471	0,2460629	0,2460629
375 ml	2,822422	5,289838	26,82809	2,007248	23,45108
355 ml	0,9255822	5,050685	6,93268	1,881956	3,651217
350 ml(1)	4,857229	6,516546	18,19532	2,048305	13,98727
350 ml	8,98893	9,668821	9,745194	9,654251	9,729943
340	8,135336	12,14035	28,96134	3,087286	19,87227
337	1,234384	1,292505	3,724619	0,4850402	2,871408
335 ml(1)	6,11559	11,82542	24,90595	4,191879	16,71796
335 ml	7,584211	10,40526	27,19873	3,019262	19,87919
320 ml	10,28862	15,34183	38,16032	5,347381	27,2955
310 ml(1)	4,937555	7,753553	16,26022	2,591466	8,830948
310 ml	33,69454	51,40361	88,58489	9,834529	42,3603
304 ml	2,219773	3,031342	7,315145	1,137545	5,332928
3 ml(9)	0,2866433	0,2072894	0,2116075	0,01017498	0,0103761
3 ml(8)	0,1971338	0,1548929	0,5436166	0,05783813	0,4371344
3 ml(7)	0,4210085	0,4362753	0,4446596	0,02144789	0,02184432
3 ml(6)	9,966978	14,93572	26,05904	2,932306	12,63226
3 ml(5)	0,1601339	0,8985202	0,9151223	0,04428744	0,04509938
3 ml(4)	0,396157	1,342018	1,366393	0,06615437	0,06734608
3 ml(3)	0,6361295	1,83289	1,865328	0,09037031	0,09195634
3 ml(2)	0,5187331	0,9759906	1,767005	0,3662676	1,136826
3 ml(11)	10,11449	19,62255	20,04884	0,9619758	0,9818677
3 ml(10)	0,3147349	0,3209657	0,9065816	0,11969	0,6889345
3 ml(1)	3,063623	4,306102	10,14285	1,403738	7,015393
3 ml	5,663522	7,248476	16,88922	2,436759	11,82664
295 ml	1,611071	2,130515	2,130515	0,1132398	0,1132398
294	3,133006	3,50644	5,975117	1,315825	3,715783
290 ml	0,5063353	0,4143812	0,4402226	0,2150507	0,2163614
265 ml	27,91269	43,14585	71,29553	7,36602	33,76334
250 ml(2)	0,5309496	0,4932598	1,526309	0,3441279	1,108111
250 ml(1)	4,76476	5,6911	17,35852	2,046849	14,02003
250 ml	6,515192	12,88473	12,98654	12,8653	12,96621
235 ml	1,561126	1,989844	4,019498	0,7428643	2,706903
227 ml	3,280382	3,418638	13,16611	1,274455	10,77073
220 ml(1)	0,2578507	0,2644235	1,033292	0,1548176	0,8475275
220 ml	26,35183	41,55112	69,62748	7,31777	33,77877
216 ml	1,481013	1,701667	4,611662	0,6380562	3,487552
203 ml	0,3266257	0,5849746	1,497185	0,218038	1,102779
20 ml	0,3556581	0,3339156	0,4861105	0,1244612	0,2687264
195 ml	2,279496	3,049699	6,89807	1,136428	4,859031
195	0,2254346	0,1291775	0,1311422	0,1275333	0,1294633
187 ml	0,2974646	0,3342767	1,402425	0,1438713	1,166333
180 ml	1,94267	2,449383	5,993752	0,9121135	4,246803
170 ml	0,587235	0,5185912	0,5455618	0,3267513	0,3298567
165 ml	0,5271527	0,4755204	1,691214	0,1783824	1,372256
155	4,730489	6,287506	6,287506	0,3300539	0,3300539
150 ml	2,685955	5,293886	27,10414	1,912241	23,55147
138 ml	1,664223	1,70161	1,776595	0,1028157	0,1020275
137 ml	0,627094	0,8588793	1,917175	0,334015	1,306885
130	1,126083	1,108659	3,173714	0,416053	2,442205
111 ml	3,733748	4,031521	4,119103	0,1976358	0,2017213
110 ml	10,47618	20,7797	20,94488	20,74819	20,9119
105 ml	1,022039	4,269238	5,577048	1,59394	2,820706
1000 ml	23,69865	33,69772	54,57284	30,38606	51,1675

FUENTE: A7, 8, 9,11, 12

5.4. Comparación de escenarios

Tabla 5.18: Comparación de la regulación de tensión año 2036

Name	Actual Magnitudud p.u	SIN VE Magnitudud p.u	CON VE Magnitudud p.u	SIN VE VALLE Magnitudud p.u	CON VE VALLE Magnitudud p.u
13.2	0.9911836	0.9851756	0.9671919	0.9994013	0.9813817
Barraje 13.2 kV	0.9927474	0.9872847	0.9723786	1.000011	0.9850818
Barraje 34.5 kV	1	1	1	1	1
Terminal	0.9956504	0.9931988	0.9886001	0.9941904	0.9896249
Terminal (1)	0.9920376	0.9890651	0.9890651	1.000463	1.000463
Terminal (10)	0.9919353	0.9878784	0.9793388	0.9894948	0.9810063
Terminal (11)	0.9918575	0.987726	0.9785713	0.9894398	0.9803389
Terminal (12)	0.9917561	0.9875291	0.9775874	0.9893675	0.9794831
Terminal (13)	0.9914689	0.9869789	0.9748671	0.9891608	0.9771159
Terminal (14)	0.9913886	0.9868278	0.9740988	0.9891037	0.9764444
Terminal (15)	0.9956503	0.9931981	0.9885991	0.9941901	0.9896244
Terminal (16)	0.9919652	0.9889691	0.9889691	1.000459	1.000459
Terminal (17)	0.9918719	0.9888455	0.9888455	1.000453	1.000453
Terminal (18)	0.9917175	0.9886409	0.9886409	1.000445	1.000445
Terminal (19)	0.9916581	0.9885623	0.9885623	1.000441	1.000441
Terminal (2)	0.9926345	0.988926	0.9817029	0.9903339	0.983156
Terminal (20)	0.9901214	0.983423	0.9656564	0.9992256	0.9818312
Terminal (21)	0.9927375	0.9872738	0.9723641	1.000004	0.9850712
Terminal (22)	0.9927305	0.9872679	0.9723579	1	0.9850675
Terminal (23)	0.9927175	0.9872564	0.9723458	0.9999936	0.9850606
Terminal (24)	0.9926988	0.9872411	0.9723295	0.9999862	0.9850531
Terminal (25)	0.9926934	0.987238	0.9723264	0.9999832	0.98505
Terminal (26)	0.9927454	0.9872823	0.9723729	1.000011	0.9850778
Terminal (27)	0.9921262	0.9864833	0.9704676	0.9997683	0.9837363
Terminal (28)	0.9920561	0.9864048	0.9703337	0.9997391	0.9836531
Terminal (29)	0.992115	0.9864723	0.9704361	0.9997642	0.9837121
Terminal (3)	0.9920327	0.9880715	0.9803209	0.989563	0.98186
Terminal (30)	0.9920948	0.9864504	0.9703721	0.9997562	0.9836628
Terminal (31)	0.9921254	0.9864822	0.9704652	0.999768	0.9837347
Terminal (32)	0.9921233	0.9864802	0.9704631	0.9997679	0.9837346
Terminal (33)	0.9920742	0.9864122	0.9702956	0.9997419	0.9836111
Terminal (34)	0.9921253	0.986482	0.9704648	0.9997679	0.9837344
Terminal (35)	0.9921229	0.9864797	0.97043	0.9997677	0.9837022
Terminal (36)	0.9917379	0.985952	0.9691496	0.9996242	0.9828029
Terminal (37)	0.9917264	0.9859414	0.9691156	0.9996203	0.982776
Terminal (38)	0.9917314	0.9859461	0.9691283	0.9996221	0.9827857
Terminal (39)	0.9915183	0.9856276	0.9683872	0.9995401	0.9822769
Terminal (4)	0.991958	0.9879234	0.9801716	0.9894151	0.981711
Terminal (40)	0.9915182	0.9856272	0.9683867	0.9995401	0.9822769
Terminal (41)	0.9913174	0.985354	0.967683	0.9994588	0.9817602
Terminal (42)	0.9913091	0.9853402	0.9676563	0.9994562	0.9817451
Terminal (43)	0.9912931	0.9853261	0.967607	0.9994484	0.9817028
Terminal (44)	0.991309	0.9853399	0.967656	0.9994562	0.9817451
Terminal (45)	0.9911835	0.9851754	0.9671916	0.9994013	0.9813817
Terminal (46)	0.9910905	0.9850648	0.966858	0.9993606	0.9811116
Terminal (47)	0.9910869	0.9850612	0.9668489	0.9993593	0.9811049
Terminal (48)	0.9901087	0.9834113	0.9656302	0.9992213	0.9818126
Terminal (49)	0.9910849	0.9850273	0.9668152	0.9993471	0.9810752
Terminal (5)	0.9917537	0.9875192	0.9797642	0.9890115	0.9813042
Terminal (50)	0.9910844	0.9850265	0.9668144	0.9993468	0.9810726
Terminal (51)	0.9892966	0.982188	0.9635274	0.9989795	0.9808197
Terminal (52)	0.9892964	0.9821879	0.9635273	0.9989795	0.9808197
Terminal (53)	0.9892966	0.9821879	0.9635273	0.9989795	0.9808197
Terminal (54)	0.98813	0.9804211	0.9604637	0.9986223	0.9793518
Terminal (55)	0.98813	0.980421	0.9604636	0.9986223	0.9793517
Terminal (56)	0.9875495	0.9795314	0.9590034	0.9984648	0.9786526
Terminal (57)	0.9880089	0.9802473	0.9600737	0.9985607	0.979168
Terminal (58)	0.9880027	0.9802461	0.9600579	0.9985602	0.9791659
Terminal (59)	0.9880088	0.9802472	0.9600737	0.9985607	0.9791679
Terminal (6)	0.9916864	0.9876989	0.9799454	0.9891909	0.9814851
Terminal (60)	0.9880007	0.9802131	0.960029	0.9985479	0.9791454
Terminal (61)	0.9879809	0.9802121	0.9599895	0.9985482	0.9791078
Terminal (62)	0.9879263	0.9801384	0.9598362	0.9985216	0.9790042
Terminal (63)	0.9878984	0.9801029	0.9597642	0.9985084	0.9789557
Terminal (64)	0.9879262	0.9801383	0.9598359	0.9985215	0.979004
Terminal (65)	0.9875321	0.9795135	0.9589847	0.998464	0.9786517
Terminal (66)	0.987095	0.9788208	0.9578204	0.9983348	0.9780729
Terminal (67)	0.9870634	0.9787866	0.9577855	0.9983331	0.9780712
Terminal (68)	0.987095	0.9788207	0.9578202	0.9983348	0.9780727
Terminal (69)	0.9870927	0.9788163	0.9578158	0.9983346	0.9780726
Terminal (7)	0.9919565	0.9879207	0.979555	0.9895096	0.9811942
Terminal (70)	0.9870881	0.9788123	0.9578032	0.9983316	0.9780613
Terminal (71)	0.9870847	0.9788114	0.9577906	0.9983329	0.9780511
Terminal (72)	0.9870836	0.9788106	0.9577898	0.9983329	0.978051
Terminal (73)	0.9870806	0.9788068	0.9577707	0.9983312	0.9780345
Terminal (74)	0.9868332	0.9784345	0.956875	0.9981968	0.9773933
Terminal (75)	0.9867765	0.9783754	0.9566468	0.9981749	0.9772067
Terminal (76)	0.9868259	0.9784326	0.9568731	0.9981968	0.9773933
Terminal (77)	0.9866696	0.9781233	0.9562284	0.9980838	0.9769565
Terminal (78)	0.9866578	0.978105	0.9561848	0.9980773	0.9769255
Terminal (79)	0.9866627	0.978114	0.9562079	0.9980805	0.9769424
Terminal (80)	0.9866654	0.978119	0.9562112	0.9980823	0.9769424
Terminal (81)	0.9865299	0.9777647	0.9556135	0.9979525	0.9765796
Terminal (82)	0.9866622	0.9781135	0.9562071	0.9980803	0.976942
Terminal (83)	0.9864961	0.9777194	0.9555109	0.9979357	0.9765074
Terminal (84)	0.9865053	0.9776282	0.9554259	0.9979019	0.976481
Terminal (9)	0.992744	0.9872797	0.9723699	1.00001	0.9850776

FUENTE: A7, 8, 9,11, 12

Conclusiones

Este trabajo de grado se planteó dada la gran expectativa existente por la llegada de los vehículos eléctricos y el impacto que puedan ocasionar sobre las redes de distribución eléctrica por su uso masivo.

El trabajo se centró en el impacto del vehículo sobre las redes eléctricas de uso residencial y abarcó dos problemas principales: la proyección de la demanda de energía eléctrica en un horizonte de planeación de 20 años, y la proyección del número de vehículos eléctricos que serán adquiridos y usados en el horizonte de planeación.

El estudio se desarrollo sobre una red de distribución residencial urbana real, la cual sirve a un sector exclusivo de la ciudad de Bucaramanga, donde hay buenas oportunidades para la introducción del vehículo eléctrico.

Basados en los objetivos propuestos para el trabajo de grado, se puede concluir lo siguiente:

1. Los datos obtenidos por el operador de red fueron relevantes en la proyección

de demanda que se realizó, ya que no se contó con la información suficiente y robusta para lograr dar un panorama más acertado del pronóstico de la demanda en la red de distribución. Por lo cual la proyección hecha no sera lo suficientemente precisa y confiable, sin embargo se logró dar el mejor trato posible a la información facilitada, donde el método escogido por transformador fue el mas adaptable de los 9 modelos propuestos bajo los criterios establecidos de elección.

2. Se puede evidenciar que la estrategia de implementar la recarga de los vehículos en horas valle es muy satisfactoria, la cual nos brinda un menor impacto en las redes de distribución y es una óptima estrategia en mitigar sobrecargas en periodos donde la curva de demanda presenta un elevado consumo de energía.
3. Seria bueno implementar un sistema de tarifa horaria, donde se premie al usuario que traslade sus hábitos de consumo de energía a periodos "valle" con un pago reducido del kWh consumido en esta franja, y se penalice con un mayor valor el kWh si la recarga es hecha en una hora pico.
4. Este trabajo sirvió como escenario para evaluar el comportamiento del vehículo eléctrico como carga para el sistema de distribución, pero lo ideal de esta tecnología sería no implementarla siempre como una carga si no de lo contrario emplearla como una fuente de generación aprovechando el almacenamiento de las baterías para consumo propio o comercialización de la misma.
5. Los avances en investigación que permitan mejorar las características de autonomía y costo inicial, son aspectos fundamentales para aumentar las ventas de EV ya que son una barrera para la masificación de esta tecnología en el mercado colombiano
6. Ha sido evidenciado el apoyo del gobierno colombiano en cuanto a la introducción de esta nueva tecnología al país con el decreto 2909 y el boletín 061, pero aun así los aranceles e impuestos siguen siendo factor clave para la comercialización del VE en Bucaramanga.

-
7. Es notorio el ahorro al momento de invertir en el precio del combustible de un vehículo de combustión con respecto al de un vehículo eléctrico de hasta un 50 % del valor monetario que se invierte anualmente con los impuestos que hay actualmente en Colombia, previendo así el incremento de la tarifa kW/ h debido a la masificación que se realizara en 20 años en nuestro país, producto del bajo costo del combustible que tiene el VE en la actualidad.
 8. Este trabajo sirvió como escenario para conocer las metodologías que pueden utilizarse para estimar como será la masificación del vehículo eléctrico en el tiempo, con el fin de adaptar las redes de distribución y mitigar los impacto que sobre estas se puedan generar.

Bibliografía

- [1] ANDERSON, D. R., SWEENEY, D. J., AND WILLIAMS, T. A. *Estadística para negocios y economía*. Cengage Learning, 2012.
- [2] ANDERSON, D. R., SWEENEY, D. J., WILLIAMS, T. A., AND POZO, V. G. *Estadística para administración y economía*. International Thomson, 2001.
- [3] ARIZA RAMÍREZ, A. M. Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución.
- [4] CAMPILLO FRAIJA, OSCAR EDUARDO; GARCIA GUERRERO, J. L. Diseño de un sistema de transporte con base en vehículos eléctricos ligeros para el parque tecnológico de guatiguará en la sede uis de piedecuesta., 2014.
- [5] EPM. Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos, 2016.
- [6] GIRALDO GUTIÉRREZ, G. A. Estudio del impacto de los vehículos eléctricos en las redes de distribución de energía eléctrica, 2015.
- [7] MATEO, A. R. Evaluación del impacto de los vehículos eléctricos en las redes de distribución. *Master's thesis, Universidad Pontificia Comillas, Escuela Tecnica Superior de ingenieria (ICAI) (2010)*.
- [8] MORALES QUINTANA, B., ET AL. *Modelo de masificación vehículos eléctricos en Bogotá DC*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2014.

- [9] MORENO HERRERO, J. Impacto del vehículo eléctrico sobre las redes de distribución.
- [10] NIÑO LÓPEZ, JAVIER ALEXI; PEDRAZA VELANDIA, D. G. Caracterización de cargas residenciales especiales: el vehículo eléctrico, 2015.
- [11] ZAPATA, R. S., AND CARDONA, C. J. F. Impacto en la demanda de energía eléctrica en colombia debido a la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos. *Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia* (2009).

Anexos

Anexos

- A1. Datos del operador de red.
- A2. Proyección de la demanda de energía.
- A3. Proyección del vehículo eléctrico en un escenario de 20 años en una zona exclusiva de Bucaramanga.
- A4. Proyección de las variables del modelo de masificación del vehículo eléctrico.
- A5. Calculo del costo de operación.
- A6. Tablas implementadas en el documento, pertenecientes a la proyección del vehículo eléctrico.
- A7. Simulación del estado actual de la red de distribución.
- A8. Simulación de la proyección de demanda de energía a 20 años.
- A9. Simulación de la proyección de demanda, considerando el vehículo eléctrico a 20 años.
- A10. Tablas implementadas en la proyección de demanda de energía.
- A11. Simulación en el periodo valle, sin considerar el vehículo eléctrico.
- A12. Simulación en el periodo valle considerando el vehículo eléctrico.