

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE ESTACIONES DE CARGA PARA
AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR**

Presentado por:

EDWARD ERNESTO CRUZ CABRERA

OSCAR BLADIMIR GARCÍA VIDAL

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**DISEÑO DE ESTACIONES DE CARGA PARA
AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR**

Presentado por:

EDWARD ERNESTO CRUZ CABRERA

OSCAR BLADIMIR GARCÍA VIDAL

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA

SAN SALVADOR, FEBRERO DE 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

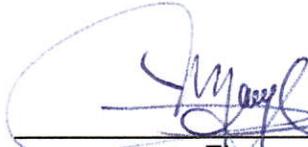
ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, miércoles 29 de enero 2020, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 2:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA
(Docente Asesor)

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN


Firma


Firma


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DISEÑO DE ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMOVILES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- CRUZ CABRERA EDWARD ERNESTO

- GARCÍA VIDAL OSCAR BLADIMIR

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 7.0

(Siete punto cero)

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y realización del presente trabajo de graduación, primeramente agradecerle a Dios por haberme dado la vida y las fuerzas para llegar hasta este punto de mi vida, a mi madre Rosa Delmy Cabrera Quintanilla que siempre me ha apoyado incondicionalmente en todo lo que he llegado a necesitar o realizar, a mi tía Ana Patricia Cabrera Quintanilla que siempre ha estado a mi lado cuando he necesitado apoyo, a mi abuela María Guadalupe Quintanilla, mi tía Silvia Maricela Cabrera Quintanilla, así como al resto de mi familia la cual ha estado como pilar de mi crecimiento y formación como persona.

Agradecerle a la ingeniera Ana María Figueroa que estuvo en todo el proceso de formación del presente trabajo de graduación, a Reina Vides secretaria de la escuela de ingeniería eléctrica que siempre nos ha apoyado como estudiantes en lo que hemos necesitado, así como a todos los demás ingeniero/as y profesore/as que estuvieron en el proceso de formación académica de mi persona.

Y por último, agradecerles a todos mis amigos que me han brindado su ayuda y apoyo incondicional, como son algunos de ellos Oscar Bladimir García Vidal, Fidel Ernesto Cortez, Rubén Alexander Henríquez, Cristian Daniel, Antonio Santos Muñoz, Erick Acosta Pleitez, Job Nehemías Acosta, Iván Urbina Navarro, entre otros muchos amigos más.

Edward Ernesto Cruz Cabrera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Elia América Vidal de García y Manuel de Jesús García Ramos, por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, y especialmente estos años en la universidad, les agradezco que creyeran en mí y me dieran fuerzas para poder continuar con mi carrera universitaria hasta llegar al punto final de esta parte de mi vida, he igual, agradezco que me sigan apoyando en el rumbo al cual dirijo mi vida.

Agradezco a todos mis familiares cercanos, los cuales desde un inicio me han estado brindando su apoyo en todo lo posible, y dándome ánimos a seguir, especialmente a mis hermanos, que siempre han estado allí cuando más los he necesitado.

Le agradezco en gran medida a la Ing. Ana María Figueroa, por haber tomado a estos dos jóvenes para guiarlos en la realización del presente trabajo aun sabiendo que los objetivos de investigación tomados eran totalmente diferente a los rumbos tomados anteriormente, y arriesgarse con nosotros en tomar este tema, el cual es nuevo en el país. También le agradezco a Reina Vides, Secretaria de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por su ayuda y apoyo en los procesos llevados a cabo en la finalización de nuestra carrera. También agradecerles a los técnicos encargados del taller.

Oscar Bladimir García Vidal

INDICE

LISTA DE FIBURAS -----	1
LISTA DE TABLAS -----	5
LISTA DE GRAFICAS -----	6
EPÍGRAFE -----	8
INTRODUCCIÓN -----	8
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA -----	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA -----	10
1.2 LIMITACIONES -----	10
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN -----	10
Objetivo General:-----	10
Objetivos Específicos:-----	10
1.4 JUSTIFICACIÓN -----	11
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN -----	12
2.1 ANTECEDNETES DE LA INVESTIGACIÓN -----	12
El salvador se prepara para los automóviles eléctricos:-----	12
Entrevista a Hyundai: Vendedor encargado para la venta de un Ioniq Evo a la UCA-----	13
Entrevista a UCA: Ingeniero encargado del proyecto cero emisiones.-----	13
Entrevista al DELSUR: Ingeniero encargado del proyecto de electromovilidad.-----	14
2.2 BASES TEÓRICAS O MARCO TEÓRICO -----	15
2.2.1 TECNOLOGÍA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS-----	15
2.2.1.1 DEFINICIÓN DE AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.-----	15
2.2.1.2 PRINCIPALES COMPONENTES QUE FORMAN LA ESTRUCTURA INTERNA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS-----	15
2.2.1.3 PARÁMETROS DE LOS VEHÍCULOS ELECTRICOS (EV): CAPACIDAD, ESTADO DE CARGA, RANGO, CONSUMO DE ENERGÍA, POTENCIA, PAR.-----	16
2.2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS-----	17
2.2.1.5 PARÁMETROS DE LA BATERÍA.-----	20
2.2.1.6 TIPOS DE CONECTORES PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS-----	21
2.2.1.7 MODOS DE CARGA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS-----	22
2.2.1.8 TECNOLOGÍA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MÁS ÓPTIMA, TANTO PARA LA ECONOMÍA DE LOS SALVADOREÑOS COMO PARA EL MEDIO AMBIENTE QUE SE PUEDA INSERTAR AL PAÍS-----	23
2.2.2 ECONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS-----	25
2.2.2.1 PRECIO DE LOS DIFERENTES MODELOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA DIFERENTES PROVEEDORES EN DISTINTAS PARTES DEL MUNDO-----	25
2.2.2.2 PRECIO POR kWh PARA LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO-----	26
2.2.2.3 PRECIO DE IMPORTACIÓN, ADUANA, ARANCELES, ENTRE OTROS TANTO PARA TRANSPORTE TERRESTRE COMO MARÍTIMO PARA DIFERENTES PARTES DEL MUNDO-----	29

2.2.2.4 MEJOR OPCIÓN ECONÓMICA DE IMPORTACIÓN PARA LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR -----	29
2.2.3 POLÍTICAS APLICADAS A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS-----	30
2.2.3.1 LEYES Y NORMATIVAS APLICABLES A FAVOR DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS -----	30
2.2.3.2 LEYES Y NORMATIVAS APLICADAS A LAS ESTACIONES DE CARGA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS-----	32
2.2.3.3 LEYES O NORMATIVAS QUE PUEDAN SER APLICADAS A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON RESPECTO AL CUIDADO Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE -----	33
2.3 METODOLOGÍA APLICADA -----	33
2.4 POBLACIÓN, MUESTRA, VARIABLES E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS-----	33
2.5 PERSPECTIVA DE LOS SALVADOREÑOS SOBRE LA INTRODUCCIÓN DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS AL PAÍS EN UN SENTIDO TECNOLÓGICO -----	35
2.6 POSIBILIDAD ECONOMICA DEL PUEBLO SALVADOREÑO AL MOMENTO DE ADQUIRIR VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A FUTURO -----	35
2.7 CON POLÍTICAS A FUTURO QUE FAVORECIERAN LA ADQUISICIÓN DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS, SE CREARÍA INTERÉS DE COMPRA POR PARTE DE LOS SALVADOREÑOS -----	35
2.8 LA INTRODUCCIÓN DE AUTOMOVILES ELECTRICOS AL PAÍS CONTRIBUIRA A LA REDUCCIÓN EN BUENA MEDIDA DE LOS GASES NOCIVOS PARA EL MEDIO AMBIENTE COMO LO SON EL CO2 Y LOS NOx -----	36
<i>CAPÍTULO III: LEYES Y NORMATIVAS APLICABLES A LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS -----</i>	<i>37</i>
3.1 NORMATIVA APLICABLE AL CONECTOR:-----	38
Norma IEC 62196 -----	38
3.2 NORMATIVAS APLICABLES AL USO DE LOS CARGADORES DE EV: -----	39
3.3 LEYES APLICABLES A LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA: -----	40
3.4 LEYES APLICABLES AL USO DE LOS CENTROS DE CARGA: -----	40
3.5 LEYES APLICABLES PARA LA SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE RECARGA: -----	40
<i>CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS -----</i>	<i>42</i>
4.1 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES: -----	42
4.2 ÁREA DE COBERTURA:-----	47
4.3 APLICACIÓN PARA CELULAR INDICADORA DE LA LOCALIDAD DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCRICOS:-----	49
<i>CAPÍTULO V: INFRAESTRUCTURA DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS-----</i>	<i>53</i>
5.1 DISEÑO DE RED DE TIERRA -----	53
5.2 CALCULO DE PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN-----	63
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES-----	66
5.3 CALCULO DE ALAMBRADO DE LA SUBESTACIÓN-----	70

5.4	CALCULOS DE CAÍDAS DE TENSIÓN EN EL SISTEMA:-----	76
5.5	DISEÑO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA: -----	78
5.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: -----	91
5.7	LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EN LAS ESTACIONES DE CARGA:-----	96
<i>CAPITULO VI: DISEÑO DE LA ESTACION DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS PARA EL CASO DE ESTAR AISLADO DE LA RED ELÉCTRICA. -----</i>		102
6.1	DISEÑO DE LA RED DE TIERRA: -----	102
6.2	DISEÑO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA: -----	106
6.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:-----	114
6.4	LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EN LAS ESTACIONES DE CARGA:-----	116
6.5	CALCULO DE PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN: -----	117
6.6	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES: -----	121
6.7	CALCULO DE ALAMBRADO Y DUCTERÍA DE LA SUBESTACIÓN:-----	122
<i>CAPÍTULO VII: MODOS DE CARGA PARA LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS -----</i>		124
7.1	ALTERNATIVA DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS: -----	127
<i>CAPÍTULO VIII: COSTO POR kWh CONSUMIDO -----</i>		131
8.1	COSTOS DE LA TIERRA PARA LAS DIFERENTES LOCALIDADES DE LA ESTACIÓN DE CARGA: -----	131
8.2	COSTOS DE LA INSTALACIÓN ELECTRICA DE LA ESTACIÓN DE CARGA:-----	131
8.3	COSTOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE LA ESTACIÓN DE CARGA: -----	134
8.4	COSTOS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: -----	137
8.5	CALCULO DE TIEMPOS DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN: -----	145
	Recargo a adicionar por kWh vendido: -----	146
	Costos de la energía por kWh vendido:-----	146
8.6	PRECIO DE VENTA PARA EL KWH EN ESTACIÓN AISLADA:-----	148
<i>CONCLUSIONES -----</i>		151
<i>RECOMENDACIONES -----</i>		153
<i>REFERENCIAS -----</i>		154
<i>ANEXOS -----</i>		157

LISTA DE FIBURAS

Figura 1: Tipos de vehículos eléctricos -----	19
Figura 2: Conectores de corriente alterna. -----	21
Figura 3: Conectores de corriente continua. -----	22
Figura 4: Modos de conexión de vehículos eléctricos.-----	23
Figura 5: Ubicación de las estaciones de carga en España y Portugal -----	26
Figura 6: Mapa proporcionado por la CNE de la irradiancia de El Salvador. -----	42
Figura 7: Mapa de radiación de El Salvador. -----	43
Figura 8: Mapa demográfico de el salvador. -----	43
Figura 9: Mapa de las carreteras principales de El Salvador. -----	44
Figura 10: Punto para estación de carga en Acajutla. -----	45
Figura 11: Punto para estación de carga ubicada en el municipio de Antiguo Cuscatlán. --	45
Figura 12: Punto para estación de carga en la zona de San Salvador. -----	46
Figura 13: Punto para estación de carga ubicada en ciudad de San Miguel. -----	46
Figura 14: Cobertura de 100 km para la estación de carga ubicada en plaza malta -----	47
Figura 15: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en Acajutla. -----	47
Figura 16: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en San Miguel. -----	48
Figura 17: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en Santa Tecla. -----	48
Figura 18: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en San Salvador. -----	48
Figura 19: Interfaz principal de la aplicación para celular. -----	49
Figura 20: Interfaz de la aplicación que muestra las cuatro estaciones de carga. -----	50
Figura 21: Interfaz de la estación de carga de San Salvador. -----	50
Figura 22: Interfaz de la estación de carga de San Miguel. -----	51
Figura 23: Interfaz de la estación de carga de Acajutla. -----	51
Figura 24: Interfaz de la estación de carga de Santa Tecla. -----	52
Figura 25: Localización del área para estación de carga para EVs en Acajutla (60x46m). --	54
Figura 26: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.-----	54
Figura 27: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra. -----	55
Figura 28: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de Acajutla. -----	55
Figura 29: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de Acajutla. -----	56
Figura 30: Soldadura exotérmica para red de tierra -----	56
Figura 31: Localización del área para estación de carga para EVs en Santa Tecla (37.5x36.5m) -----	57

Figura 32: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.-----	57
Figura 33: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra. -----	58
Figura 34: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de Santa Tecla. -----	58
Figura 35: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de Santa Tecla.-----	58
Figura 36: Localización del área para estación de carga para EVs en SAN SALVADOR (33.5x25.5m). -----	59
Figura 37: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.-----	59
Figura 38: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra. -----	60
Figura 39: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de San Salvador.-----	60
Figura 40: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de San Salvador. -----	60
Figura 41: Localización del área para estación de carga para EVs en San Miguel (50x50m). -----	61
Figura 42: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.-----	61
Figura 43: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra. -----	62
Figura 44: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de San Miguel. -----	62
Figura 45: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de San Miguel. -----	62
Figura 46: Diagrama unifilar de la subestación y las estaciones de carga. -----	63
Figura 47: Coordinación de protecciones partiendo desde la entrada del cargador.-----	67
Figura 48: Coordinación de protecciones partiendo desde el subtablero. -----	68
Figura 49: Coordinación de protecciones partiendo desde el tablero principal. -----	68
Figura 50: Coordinación de protecciones partiendo desde la salida del inversor -----	69
Figura 51: Coordinación de protecciones partiendo desde el tablero del transformador de 25 kVA -----	69
Figura 52: Análisis de flujo de carga del circuito mostrando las tensiones a plena carga.--	76
Figura 53: Análisis de flujo de carga del circuito mostrando las tensiones a plena carga con corrección del TAP -----	77
Figura 54: Extracto de la hora de datos del panel fotovoltaico-----	79
Figura 55: Vista frontal de la estación de carga ubicada en Acajutla. -----	81
Figura 56: Vista de planta de la estación de carga en Acajutla.-----	81
Figura 57: Vista de perfil de la estación de carga de Acajutla. -----	81
Figura 58: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Acajutla. -----	82
Figura 59: Conexión de los paneles fotovoltaicos en sus respectivos STRING. -----	82
Figura 60: Vista frontal de la estación de carga ubicada en San Miguel. -----	83

Figura 61: Esquema del estudio de sobras para los paneles fotovoltaicos ubicados en San Miguel.-----	84
Figura 62: Separación mínima de los paneles fotovoltaicos.-----	84
Figura 63: Vista de planta de la estación de carga en San Miguel.-----	84
Figura 64: Vista de perfil de la estación de carga de San Miguel.-----	85
Figura 65: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Acajutla.-----	85
Figura 66: Conexión de los paneles fotovoltaicos en sus respectivos STRING.-----	86
Figura 67: Vista frontal de la estación de carga ubicada en Santa Tecla.-----	86
Figura 68: Vista de planta de la estación de carga en Santa Tecla.-----	87
Figura 69: Vista de perfil de la estación de carga de Santa Tecla.-----	87
Figura 70: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Santa Tecla.-----	87
Figura 71: Conexión de los paneles fotovoltaicos con sus respectivos STRING-----	88
Figura 72: Vista frontal de la estación de carga ubicada en San Salvador.-----	89
Figura 73: Vista de planta de la estación de carga en San Salvador.-----	89
Figura 74: Vista de perfil de la estación de carga de San Salvador.-----	89
Figura 75: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de San Salvador.-----	90
Figura 76: Conexión de los paneles fotovoltaicos con sus respectivos STRING.-----	90
Figura 77: Método de la esfera rodante.-----	92
Figura 78: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.-----	92
Figura 79: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.-----	92
Figura 80: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.-----	92
Figura 81: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.-----	93
Figura 82: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.-----	93
Figura 83: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.-----	93
Figura 84: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.-----	94
Figura 85: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.-----	94
Figura 86: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.-----	94
Figura 87: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.-----	95
Figura 88: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.-----	95
Figura 89: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.-----	95
Figura 90: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de Acajutla.-----	96
Figura 91: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de San Miguel.-----	96
Figura 92: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de Santa Tecla.-----	97
Figura 93: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de San Salvador.-----	97

Figura 94: Vista general de línea de alimentación. -----	98
Figura 95: Detalle de la acometida. -----	98
Figura 96: Vista general de la línea de alimentación. -----	98
Figura 97: vistas 3D de estación Acajutla -----	100
Figura 98: Vistas 3D estación San Miguel-----	101
Figura 99: Localización del área para estación de carga aislada para EVs en Acajutla (60x46m). -----	102
Figura 100: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.-----	102
Figura 101: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra. -----	103
Figura 102: Malla para puesta a tierra para la estación de carga aislada en Acajutla. ----	103
Figura 103: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga aislada en Acajutla. -----	103
Figura 104: Vista de planta de la red de tierra, para la estación de carga aislada del sistema eléctrico.-----	104
Figura 105: Vista de perfil de la red de tierra de la estación de carga para el caso aislado de la red eléctrica. -----	104
Figura 106: Representación en 3D del voltaje de toque de la red de tierra en el programa ASPIX. -----	104
Figura 107: Representación en 2D del voltaje de toque de la red de tierra en el programa ASPIX. -----	105
Figura 108: Representación en 3D del voltaje de paso de la red de tierra en el programa ASPIX. -----	105
Figura 109: Representación en 2D del voltaje de paso de la red de tierra en el programa ASPIX. -----	105
Figura 110: Datos del inversor-----	106
Figura 111: Extracto de la hora de datos del panel fotovoltaico -----	107
Figura 112: Esquema del estudio de sobras para los paneles fotovoltaicos ubicados en la tienda de conveniencia.-----	111
Figura 113: Dibujo representativo de la separación entre filas de paneles ubicadas en el Convini. -----	111
Figura 114: Vista de perfil de la estación de carga y la distribución de los elementos en la misma. -----	111
Figura 115: Visa de perfil de la estación de carga asilada. -----	112
Figura 116: Esquema de la conexión de los paneles fotovoltaicos con los inversores.----	114
Figura 117: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal. -----	115
Figura 118: Ubicaciones de puntas Franklin, vista en planta. -----	115
Figura 119: Vista de perfil de la ubicación de las puntas Franklin. -----	115
Figura 120: Diagrama unifilar de la estación de carga -----	118
Figura 121: Sistema de carga 1-----	119
Figura 122: Sistema de carga 2-----	120

Figura 123: Multicluster Box 12	120
Figura 124: Modos de carga 3 y 4 para vehículos eléctricos.	124
Figura 125: Conector SAE 1772 DC Level 2 para EVs.	124
Figura 126: Conector CHAdeMO para EVs.	125
Figura 127: Modo de carga rápida por inductivo para EV's.	128
Figura 128: Sistema de carga rápida por inductivo de un vehículo eléctrico.	128
Figura 129: Prototipo de carga dinámica por inducción.	129
Figura 130: BMW Wireless Charging con carga lenta por inducción.	129
Figura 131: Vista interna de un BMW Wireless Charging por medio de inducción lenta	129
Figura 132: Cargador lento por medio de inducción.	130
Figura 133: Kia Soul con capacidad de recibir carga inductiva.	130
Figura 134: Riel de sujeción.	134
Figura 135: Soporte de paneles fotovoltaicos Acajutla y Santa Tecla	134
Figura 136: Vista en planta de una estructura de la estación San Salvador.	135
Figura 137: Vista lateral estructura San Salvador.	135
Figura 138: Vista en planta de una estructura de la estación San Miguel.	136
Figura 139: Vista lateral estructura San Miguel.	137
Figura 140: Área de asfalto y grava a utilizar en Acajutla.	138
Figura 141: Área de asfalto y grava a utilizar en San Miguel.	139
Figura 142: Área de asfalto y grava a utilizar en Santa Tecla.	140
Figura 143: Área de asfalto y grava a utilizar en San Salvador.	141
Figura 144: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en San Miguel.	142
Figura 145: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en Acajutla.	142
Figura 146: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en San Salvador.	143
Figura 147: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en Santa Tecla.	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de precios de diferentes vehículos eléctricos.	25
Tabla 2: Costo por kWh en diferentes tarifas para España.	26
Tabla 3: Precio del kW para la energía en diferentes tarifas	27
Tabla 4: Resumen del DAI e IVA según la aduana de El Salvador.	31
Tabla 5: "Tabla 310.16 del NEC 2008 versión español"	71
Tabla 6: "Tabla 250.122 del NEC 2008 versión español"	73
Tabla 7: "Tabla C.10 perteneciente al anexo C del NEC 2008 versión español"	74
Tabla 8: "Tabla C.1 perteneciente al anexo C del NEC 2008 versión español"	75
Tabla 9: datos del inversor	78
Tabla 10: Nivel de protección y radio de esfera rodante.	91
Tabla 11: Resultados de la red de tierra con el programa ASPIX.	106
Tabla 12: Nivel de protección y radio de esfera rodante.	114
Tabla 13: Cálculo de costos de la tierra.	131

Tabla 14: Materiales y costos de la red eléctrica-----	132
Tabla 15: Tableros, protecciones y transformadores -----	132
Tabla 16: Materiales y costos de red de tierra Acajutla. -----	133
Tabla 17: Materiales y costos de red de tierra Santa Tecla. -----	133
Tabla 18: Materiales y costos de red de tierra San Salvador. -----	133
Tabla 19: Materiales y costos de red de tierra San Miguel. -----	133
Tabla 20: Materiales y costos del sistema fotovoltaico Acajutla y Santa Tecla.-----	135
Tabla 21: Materiales y costos del sistema fotovoltaico San Salvador. -----	136
Tabla 22: Materiales y costos del sistema fotovoltaico San Miguel. -----	137
Tabla 23: Materiales de construcción Acajutla. -----	144
Tabla 24: Materiales de construcción San Miguel. -----	144
Tabla 25: Materiales de construcción Santa Tecla. -----	144
Tabla 26: Materiales de construcción San Salvador. -----	144
Tabla 27: Costos por la instalación -----	145
Tabla 28: Costo total de las instalaciones.-----	145
Tabla 29: Costo por kWh suministrado según distribuidora en dólares estadounidenses. -----	147
Tabla 30: Precio de venta por kWh en dólares estadounidenses. -----	147
Tabla 31: Precio de venta por kWh en dólares estadounidenses. -----	147
Tabla 32: Precio del terreno-----	148
Tabla 33: Precio del terreno -----	149
Tabla 34: Costos por materiales de construcción-----	149
Tabla 35: Costos por la instalación. -----	150
Grafica 5-368: Demanda Promedio en día de fin de semana -----	192

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1: Costo de electricidad residencial por kWh para algunos países de Latinoamérica, 2011 -----	28
Gráfica 2: Costo por litro de gasolina en algunos países de Latinoamérica, 2012. -----	28
Gráfica 3: Precio de energía por kilómetro. -----	28
Gráfica 4: Fusible y transformador 225 kVA-----	64
Gráfica 5: Protección y transformador de 25 kVA -----	66
Gráfica 6: Camino de protecciones desde el transformador 225 kVA hasta el cargado.----	67
Gráfica 7: Curva de daño del cable y punto Inrush del transformador -----	72
Gráfica 8: Coordinación entre fusible principal e interruptor termo magnético.-----	122
Gráfica 9: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	158

Gráfica 10: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	158
Gráfica 11: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	159
Gráfica 12: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	159
Gráfica 13: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	160
Gráfica 14: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	160
Gráfica 15: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	161
Gráfica 16: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	161
Gráfica 17: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	162
Gráfica 18: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	162
Gráfica 19: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres. -----	163
Gráfica 20: Gráfico de barras del total de la muestra. -----	163

RESUMEN

El presente proyecto de graduación trata sobre el diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos (utilizando como alternativa paneles fotovoltaicos) en El Salvador, el cual resume una temática de mucha importancia en la actualidad a nivel mundial, no solo en el ámbito tecnológico, sino que en la preservación de la naturaleza y el medio ambiente, debido que en la actualidad el tema de la contaminación es una temática de mucha importancia, ya que a medida transcurre el tiempo el dióxido de carbono (CO₂) y los gases de efecto invernadero van en un incremento exponencial dañando y degradando el medio que nos rodea (como lo indica la OMS y el MARN), es por ello que el presente trabajo de investigación trata de transmitir y aportar en una pequeña fracción a la reducción de la contaminación del planeta y al mismo tiempo incentivar al consumo de vehículos eléctricos en el país con estaciones de carga ubicadas en diferentes localidades, existiría la posibilidad de que las personas se animaran a adquirir un vehículo eléctrico, ayudando a la reducción de gases nocivos en el medio ambiente y la preservación de la naturaleza. Es por ello que en consecuencia el presente informe se dividirá en las siguientes unidades: leyes y normas aplicables a las estaciones de carga para EVs, ubicación óptima de las estaciones de carga, infraestructura de las estaciones de carga, diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos para el caso de estar aislada de la red eléctrica, modos de carga y costo por kWh consumido, siendo esto en conjunto los temas primordiales para la construcción de las estaciones de carga para automóviles eléctricos en nuestro país.

EPIGRAFE

Diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos en El Salvador.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas de los siglos XX y XXI se ha visto una gran problemática con respecto a la contaminación mundial del medio ambiente (según lo afirma la OMS y el MARN), en gran medida por los gases de efecto invernadero como los NO_x y el dióxido de carbono (CO₂), que son causantes de enfermedades pulmonares y cardiovasculares, y causantes de aproximadamente 2,4 millones de muertes por año a nivel mundial debido a las enfermedades anteriormente mencionadas (según nos indica la OMS), es por ello que las autoridades de los países primermundistas han creado leyes y normativas que favorecen la compra y adquisición de automóviles eléctricos y con ello la construcción de estaciones de carga, esto con la finalidad de poder reducir en gran medida la huella de carbono existente; si no se hace algo al respecto entre los años 2030 a 2040 el planeta va a llegar a un punto donde la contaminación será irreversible, es por ello que el presente proyecto de graduación trata sobre el diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos en El Salvador (integrando en estos el uso de paneles fotovoltaicos), esto con la finalidad de poder incentivar a la población salvadoreña a la compra de automóviles eléctricos,

reduciendo con esto en una pequeña parte la contaminación del medio. Los EVs representarían una excelente solución para la reducción de los gases nocivos del medio ambiente; desafortunadamente uno de los obstáculos que se presentan es la falta de interés por parte del gobierno salvadoreño hacia el tema de automóviles eléctricos y con ello las estructuras de estaciones de carga, debido a lo mencionado anteriormente, no han existido leyes regulatorias para incentivar la adquisición de dichos automóviles y la construcción de estructuras de carga. Hasta diciembre de 2019 que se ha visto un poco de interés por parte del gobierno salvadoreño, reduciendo con esto los aranceles aplicados a dichos automóviles, sin embargo, aún existen vacíos que cubrir. Otro obstáculo importante de mencionar son los costos excesivos tanto para los automóviles eléctricos como la construcción de estaciones de carga, al ser un país en vía de desarrollo, la población salvadoreña no cuenta con recursos económicos para su adquisición y construcción. Finalmente, se puede mencionar la falta de interés o información por parte de la población salvadoreña sobre el tema, lo que ocasiona una reducción en el consumo futuro de EVs, la población desconoce sobre los beneficios que conlleva el poseer un vehículo eléctrico; es por ello que el presente trabajo de investigación trata sobre el diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos utilizando una alternativa fotovoltaica, con sus respectivos elementos y normativas, basándose en leyes internacionales.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la falta de estructuras de estaciones de carga para automóviles eléctricos que presenta El Salvador (electrolinera), así como la sobrecarga de energía eléctrica que se puede presentar en las horas pico (según la Curva de demanda diaria presentada por la UT, mostrado en grafica 5-7 y grafica 5-8 de anexos), se ha creado el siguiente trabajo de graduación que está constituido por el diseño de estaciones de carga para automóviles eléctricos utilizando paneles fotovoltaicos y energía de la red eléctrica, así como estaciones completamente aisladas de la red eléctrica, esto con la finalidad de incentivar la compra de dichos automóviles y de reducir en una pequeña parte la contaminación del planeta, ya que en los últimos años se ha presentado una alta tasa de contaminación por CO₂ y otros gases nocivos para el medio ambiente como los NO_x presentados por el MARN y la OMS.

1.2 LIMITACIONES

Dado el precario historial y desarrollo que posee El Salvador sobre el tema de automóviles eléctricos y estaciones de carga, así como la falta de diseños, estructuras y estudios previos, se tienen limitantes en la recolección de información sobre dicho tema, además uno de los obstáculos que presenta el desarrollo del presente trabajo de graduación es la falta de presupuesto, ya que nos restringe sobre la implementación de algún prototipo representativo debido a los excesivos costos. Finalmente se puede mencionar que la falta de acceso a la información regulatoria sobre estaciones de carga para automóviles eléctricos nos delimita en la creación del trabajo de graduación.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

- Diseñar estaciones de carga para automóviles eléctricos para cuatro regiones óptimas en El Salvador.

Objetivos Específicos:

- Evaluar el costo total por kWh de las estaciones de carga híbrido (conectadas a la red eléctrica y al sistema fotovoltaico) para automóviles eléctricos.

- Evaluar la factibilidad de implementación de paneles fotovoltaicos en conjunto con la red eléctrica para la alimentación de las estaciones de carga para los automóviles eléctricos.
- Diseñar la red de tierra para las cuatro estaciones de carga para automóviles eléctricos.
- Diseño y coordinación de protecciones para las cuatro estaciones de carga para automóviles eléctricos por medio del software de computadora ETAP.
- Evaluar el tiempo retorno en el cual se empiezan a obtener ganancias económicas debido a las estaciones de carga.
- Realizar el diseño de una estación de carga aislada (separada de la red eléctrica) e identificar sus componentes.
- Evaluar el costo de una estación de carga aislada de la red, y comparar el precio de venta del kWh de la estación con el de una estación de carga híbrida (conectada a la red eléctrica y sistema fotovoltaico).

1.4 JUSTIFICACIÓN

La escasez de los recursos no renovables, así como la alta tasa de contaminación por CO₂ y gases nocivos para el medio ambiente como los NO_x, que se presentan en El Salvador según lo estipula el MARN, se hace más notable conforme avanza el tiempo, ya que actualmente se ha visto un incremento en la degradación de la salud en la población salvadoreña (enfermedades respiratorias y cardiovasculares), las cuales reducen el tiempo de vida de las personas como lo indica la OMS, es por ello que existen nuevas tecnologías capaces de reducir la contaminación del medio ambiente; para el caso del siguiente trabajo de graduación se analizará la implementación de paneles fotovoltaicos en estaciones de carga para automóviles eléctricos, esto con la finalidad de no sobrecargar el sistema eléctrico al momento de la implementación de las estaciones de carga en las horas pico de El Salvador (según SIGET y UT), además de que ayudara a incentivar la compra de automóviles eléctricos, generando con esto una reducción en la contaminación del medio ambiente.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDNETES DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad El Salvador no cuenta con la construcción de estructuras de estaciones de carga para automóviles eléctricos (electrolineras), simplemente se tienen tres estaciones de carga prefabricadas las cuales están ubicadas en las oficinas centrales de DELSUR (en la parte de anexos se encuentra la hoja de datos de la estación de carga), la universidad José Simeón Cañas (UCA) y la más reciente en plaza Malta, adquiridas (a excepción de la que se encuentra en plaza Malta) el 15 de mayo del 2018 importadas desde México, donde la marca de las estacones de carga son eHome modelo T1C16N.

Además, en El Salvador el tema de automóvil eléctrico o electromovilidad es un tema muy poco hablado, y las investigaciones al respecto son muy pocas por no decir nulas, es por ello que en la parte de antecedentes de la investigación solamente se colocara un resumen de una noticia que presento El Diario de Hoy sobre un automóvil eléctrico y algunos datos obtenidos por DELSUR debido a la estación de carga instalada en la plaza MALTA (en la parte de anexos se puede visualizar en la Gráfica 5-4 una gráfica de barra que resume el consumo de kWh diario de la estación de carga en las fechas del 16 de septiembre hasta el 15 de octubre, así como en la Tabla 5-5 que muestra los kWh consumidos en los meses de septiembre y octubre, y el monto económico que se obtuvo).

La noticia del Diario de Hoy dice lo siguiente:

El salvador se prepara para los automóviles eléctricos:

La primera empresa privada en invertir en los EVs ha sido DelSur, con una inversión de \$50,000 para la adquisición de un EV, y con esto, el inicio de la inserción de El Salvador en la tendencia mundial de los automóviles 100% eléctricos. El EV adquirido, de marca Nissan, ha sido traído desde México, siendo el primer paso del proyecto de electromovilidad impulsado por DelSur.

El objetivo de DelSur es ofrecer una red de estaciones de carga en diferentes puntos de El Salvador, distribuidas en agencias de la empresa, así como centros comerciales y gasolineras, además de brindar el servicio de instalaciones en hogares por un precio que ronda los \$700.

Gracias a ésta adquisición, se sabe que, por falta de leyes y regulaciones, los EVs tienen que pagar un 30% de su valor en aranceles. Un empleado de DelSur ha indicado que hay empresas interesadas en traer más EVs al país, solo se está a la espera que DelSur instale su red de estaciones de carga en el país.

Actualmente DelSur propone que se modifiquen las regulaciones y aranceles, siendo estos cambios estudiados por la empresa privada y la academia.

Según Isaza, trabajador del grupo EPM, del cual pertenece DelSur, en Colombia ya se ha avanzado mucho en el tema de la electromovilidad y la formación de ofertas de estaciones de carga, lo cual le ha costado a EPM una década de trabajo y alrededor de 10 millones de dólares de inversión. En el caso de El Salvador, el proceso será menos costoso ya que cuenta con los ejemplos de Costa Rica, Guatemala y Panamá.

Para más información, en la parte de anexos se encuentra la noticia completa que realizó el Diario de Hoy a DELSUR.

También se presenta un resumen de entrevistas que se realizaron a: DELSUR, UCA y una concesionaria de Hyundai con respecto a automóviles eléctricos, las entrevistas completas con sus respectivas preguntas y respuestas se encuentran en la parte de anexos.

Entrevista a Hyundai: Vendedor encargado para la venta de un Ioniq Evo a la UCA

Se hizo una entrevista al vendedor encargado del proceso de venta de un Ioniq Evo encargado por la UCA al Grupo Q, de la cual se obtuvo lo siguiente:

El precio de venta del EV al consumidor final fue de \$47,200 de los cuales se pagaron entre \$7,000 y \$8,000 en los costos de importación, siendo \$6,000 solo de la introducción del automóvil al país. El país origen del EV es Corea, aunque el automóvil llegó al continente americano a través de Costa Rica. Grupo Q como tal no realizó pruebas de mayor importancia que el de manejo y carga del vehículo, siendo cargado en un tomacorriente de 220V en las oficinas de Hyundai. Por el momento la concesionaria no tiene planes de importación de más EVs a corto plazo, pero tiene previsto tener en venta para el 2030, y considera que un precio competitivo en El Salvador sería entre \$23,000 y \$25,000.

Entrevista a UCA: Ingeniero encargado del proyecto cero emisiones.

Se hizo una entrevista al ingeniero coordinador del proyecto Cero Emisiones llevado a cabo en la UCA, de lo cual se obtuvo lo siguiente:

Según los datos obtenidos en la entrevista, los costos por la compra del vehículo no fueron manejados por la universidad, sino por USAID a través de ISED. La universidad aún no ha hecho estudios sobre las estaciones de carga ni al posible estrés generado en la red eléctrica nacional por el uso de los EVs, pero se tiene pensado hacerse a futuro, así como los estudios al propio EV en cuanto a la autonomía y la degeneración de las baterías. Otro estudio que tiene a futuro es uno socio-económico para el posible impuesto que tendrían las estaciones de carga. Un punto importante a tener en cuenta en la normalización de los EVs en el país es el tipo de conector en la estación de carga, la cual consideran óptima el conector tipo americano, así como los tomas a 220V los cuales pueden ser actualmente de cualquier tipo, y no hay ley que los regule, siendo esto un posible problema a futuro. UCA espera hacer éstos y más estudios al vehículo una vez tengan a disposición la instrumentación necesaria, la cual ya está en proceso de compra. Un punto a tener en cuenta para que la idea de los automóviles ecológicos es que los procesos de generación de energía

en el país también tienen que ser 100% renovables, y de esta forma el uso de los EVs tenga realmente un motivo ambiental.

Entrevista al DELSUR: Ingeniero encargado del proyecto de electromovilidad.

La entrevista se realizó en la instalación central de DELSUR ubicada en final 17a AV. Norte y calle al Boquerón, Santa Tecla, La Libertad, en la cual dos personas encargadas del proyecto de electromovilidad nos atendieron, en esta entrevista se realizaron una cierta cantidad de preguntas de las cuales nos respondieron lo siguiente: el proyecto de electromovilidad surgió como una iniciativa para incentivar el incremento de consumo de energía por parte de la población salvadoreña y generar con esto mayores beneficios económicos a la empresa, y a la vez reducir en gran medida la contaminación del planeta; este proyecto se generó por parte de algunos trabajadores de la empresa que estaban interesados en el tema de electromovilidad, luego de esto se realizó un estudio en el cual se verificaba el mejor precio de compra y el modelo más óptimo para su adquisición, en este punto se presentó el primer problema en la adquisición del automóvil, el cual era que ninguna de las concesionarias de ningún país le quería vender un automóvil por motivos legales, es por ello que la única concesionaria que les vendió el automóvil Nissan Leaf fue una Nissan ubicada en México, la cual se los vendió con la condición de que se comprara como un automóvil usado, ya que como nuevo no se los podía vender, luego de esto se mandó a traer y el tiempo de exportación fue de aproximadamente de 6 meses, para que después surgiera otro problema el cual era que no existen leyes o normas que regulen la importación de dichos automóviles eléctricos, es por ello que a DELSUR le toco pagar el impuesto más alto en aranceles como por ejemplo el DAI que le aplicaron el 30%, entre otros; el precio total pagado fue 52,011 dólares de los cuales 26,593 dólares correspondían al costo del automóvil y 25,418 dólares en impuestos, además el desglose del precio de los impuestos queda como los costos de exportación en México son de 9,860 dólares y los impuestos aplicados en El Salvador son de 15,557 dólares, la vía en que se trajo el vehículo fue marítima; luego de esto se le aplicaron pruebas al automóvil con la finalidad de estudiar su comportamiento en el país, las pruebas realizadas son de recorrido y de carga; luego de esto los encargados nos hablaron sobre características técnicas del vehículo, las cuales se detallaran en la parte de anexos donde se ubican todas las preguntas y respuestas que se realizaron, una de las partes importantes que se mencionaron del automóvil es que posee frenos regenerativos y posee un panel solar en la parte del techo, por último nos mencionaron que se le realizaran más pruebas al vehículo en un futuro y que actualmente se está realizando un estudio sobre las mejores ubicaciones de las bases de cargas de los automóviles eléctricos.

Además, en la parte de marco teórico se colocará una investigación que se realizó sobre la viabilidad de introducción de automóviles eléctricos a El Salvador.

Por último es importante mencionar que a mediados de diciembre de 2019, se ha aprobado la ley que elimina el 30% de aranceles al momento de importar automóviles eléctricos al país, siendo un incentivo para la compra de los vehículos eléctricos.

2.2 BASES TEÓRICAS O MARCO TEÓRICO

2.2.1 TECNOLOGÍA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

2.2.1.1 DEFINICIÓN DE AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.

El automóvil eléctrico es todo vehículo capaz de transportar personas y mercancía e impulsar el mecanismo a través de un motor eléctrico (puede ser un motor o más de uno) de inducción, alimentado por energía eléctrica que es otorgada normalmente por un banco de baterías, las cuales fueron recargadas por un sistema externo, ya sea por la red, por energías renovables o por ambos sistemas, trabajando todos los mecanismos en conjunto para ofrecerle una aceleración al vehículo desde una posición cero hasta una cierta velocidad.

2.2.1.2 PRINCIPALES COMPONENTES QUE FORMAN LA ESTRUCTURA INTERNA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Puerto de carga o entrada del vehículo: Es un conector que está presente en los automóviles eléctricos, el cual le permite conectarse a una fuente externa de electricidad para cargarse.

Convertidor eléctrico de potencia: Es un convertidor electrónico de potencia, que es un dispositivo que está hecho de elementos semiconductores de acción rápida, los cuales son de alta potencia, estos actúan como interruptores de alta velocidad. Los diferentes estados de conmutación alteran el voltaje y la corriente de entrada mediante el uso de elementos capacitivos e inductivos. El resultado es un voltaje y una corriente de salida, que se encuentran en un nivel diferente al de la entrada.

Cargador incorporado: Es un convertidor electrónico de potencia de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC) (a menudo denominado rectificador) que toma la corriente alterna de CA suministrada a través del puerto de carga y la convierte en corriente continua (CC) para cargar la batería de tracción. Usando el sistema de administración de la batería, regula las características de la batería, como el voltaje, corriente, la temperatura y el estado de carga.

Batería de tracción: Es una batería de alto voltaje que se encarga de almacenar energía en el vehículo eléctrico, y proporcionar energía para la alimentación del motor eléctrico de inducción o tracción.

Convertidor de energía de la batería: Es un convertidor electrónico de potencia de corriente continua (CC) a corriente continua (CC), que convierte el voltaje de la batería de tracción al voltaje más alto del bus de corriente continua (CC) utilizado para el intercambio de energía con el motor de tracción.

Accionamiento del motor: Es un convertidor de corriente continua (CC) a corriente continua (CC) (a menudo denominado inversor o variador de frecuencia) o, a veces, es un

convertidor electrónico de corriente continua (CC) a corriente continua (CC), que se utiliza para convertir la alimentación del bus de corriente continua (CC) de alto voltaje a corriente alterna (CA) (o a veces DC) potencia para el funcionamiento del motor. El convertidor es bidireccional para operar en modo de frenado de conducción y regeneración.

Motor eléctrico/generador de tracción: Es el principal dispositivo de propulsión en un automóvil eléctrico que convierte la energía eléctrica de la batería de tracción en energía mecánica para rotar las ruedas. También genera electricidad extrayendo energía de las ruedas giratorias mientras frena, y transfiriendo esa energía a la batería de tracción.

Transmisión: Para un automóvil eléctrico, generalmente se usa una transmisión de engranaje único con diferencial para transferir la potencia mecánica del motor de tracción para impulsar las ruedas.

Controlador de electrónica de potencia: Esta unidad controla el flujo de energía eléctrica en los diferentes convertidores de potencia del automóvil eléctrico.

Batería auxiliar: En los vehículos eléctricos, la batería auxiliar proporciona electricidad para el arranque del automóvil antes de que la batería de tracción se active y entre en acción, además la batería auxiliar se utiliza para alimentar los diferentes accesorios del vehículo, como lo son las luces, el radio, entre otros.

2.2.1.3 PARÁMETROS DE LOS VEHÍCULOS ELECTRICOS (EV): CAPACIDAD, ESTADO DE CARGA, RANGO, CONSUMO DE ENERGÍA, POTENCIA, PAR.

Ahora que ya se habló y que conocemos las principales partes de un vehículo eléctrico (EV) y sus funcionamientos, es hora de hablar sobre algunos parámetros importantes para comprender mejor los automóviles eléctricos. Estos son la capacidad de la batería, el estado de carga, el rango, el consumo de energía por kilómetro, la potencia del motor y el MPGe. A continuación, se procede a definir las terminologías:

Capacidad nominal de la batería (E_{nom} , en Wh o kWh): Es la energía eléctrica total que se puede almacenarse en la batería. También se puede considerar como la cantidad máxima de energía eléctrica almacenada en la batería que se puede extraer de un estado completamente cargado al estado en vacío.

Es de tomar en cuenta que entre más grande son las baterías, mayor es el rango o alcance que se tiene, pero teniendo la desventaja de que tardara más en cargarse.

Estado de carga de la batería, SOC (B_{SOC} , en %): El estado de carga de la batería (SOC) se define como la relación entre la cantidad de energía almacenada actualmente en la batería (E_{batt}) y la capacidad total de la batería (E_{nom}), a continuación se muestra la ecuación:

$$B_{SOC} = \left(\frac{E_{batt}}{E_{nom}} \right) * 100\%$$

Rango (R_{max} , en km): Es la distancia máxima que un automóvil eléctrico puede recorrer cuando la batería está completamente cargada, sus unidades pueden ser kilómetros, millas u otras unidades dependiendo de la localidad. Generalmente el estudio del rango de los automóviles eléctricos se basa en pruebas estandarizadas como el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC), el Procedimiento de Prueba de Vehículos Ligeros (WLTP), entre otros.

Rango disponible (R, en km): Es la distancia máxima que un automóvil eléctrico puede recorrer en función del estado actual de carga de la batería.

Consumo de energía por kilómetro (D, en kWh / km): Cuando un vehículo eléctrico se prueba utilizando un ciclo de conducción estandarizado, la eficiencia del automóvil eléctrico es la energía consumida de las baterías por unidad de distancia. En algunos casos, también se considera la energía extraída de la red para cargar la batería.

MPGe o millas por galón equivalente: El MPGe es la distancia en millas recorridas por unidad de energía eléctrica consumida por el vehículo. Las clasificaciones se basan en la fórmula de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en la cual 33.7 kilovatios-hora (121 MJ) de electricidad es equivalente a un galón de gasolina.

Potencia del motor (P_m , en W): Es la potencia entregada por el motor a las ruedas para propulsarlas. La potencia del motor es positiva o negativa en función de si el automóvil está conduciendo o bajo un frenado regenerativo. La potencia del motor se puede expresar como un producto del par motor (T_m), y la velocidad de rotación del motor (w_m) y las unidades son vatios (W), kilovatios (kW) o caballos fuerza (hp). El par se expresa normalmente en newton-metro (Nm), la ecuación de potencia se visualiza a continuación:

$$P_m = T_m * w_m$$

Donde: P_m es la potencia del motor (W), T_m es el par del motor (Nm) y w_m es la velocidad de rotación (rad/s).

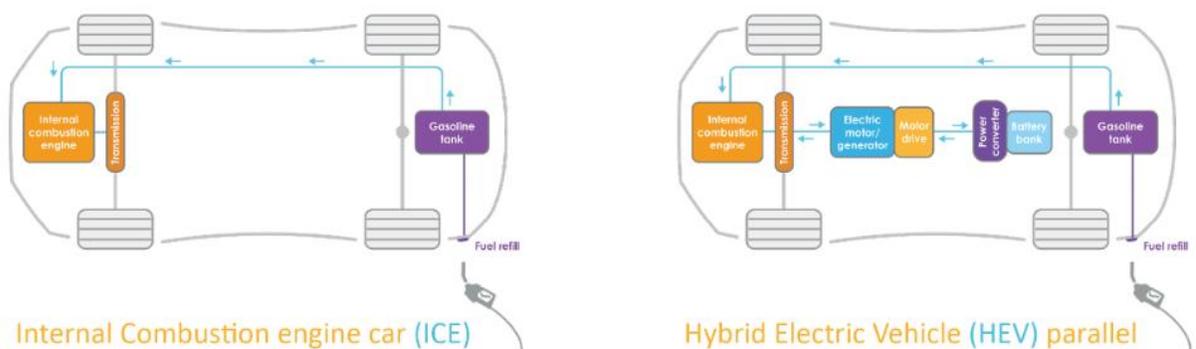
2.2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En la actualidad existen cuatro tipos de vehículos eléctricos, los cuales son: vehículos eléctricos híbridos (HEV), vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV), vehículos eléctricos de batería (BEV o solo EV) y vehículos eléctricos con autonomía extendida (REEV). Hay muchas posibles configuraciones diferentes para los HEV y los PHEV pero en general, un (P) HEV tiene una transmisión eléctrica como un vehículo completamente eléctrico (EV), más un motor de combustión que quema combustible y que puede recargar las baterías periódicamente. La ventaja de un HEV es que el motor que quema combustible, en general es más eficiente solo en un pequeño rango de condiciones de operación (velocidad y carga). Además, en este punto de operación más eficiente, el motor que quema combustible generalmente produce sus niveles más bajos de emisiones. Desafortunadamente, mientras se conduce, el motor del automóvil tiene que funcionar con

una amplia gama de velocidades y cargas, por lo que es mucho menos eficiente y produce emisiones mucho mayores que lo que lo haría si pudiera funcionar en su punto más eficiente todo el tiempo.

Las transmisiones eléctricas también son más eficientes en un solo punto, pero la reducción de la eficiencia para otras velocidades y cargas es mucho menor. Por lo tanto, un HEV puede hacer funcionar el motor que quema combustible en su punto más eficiente para cargar la batería y puede usar el tren motriz eléctrico para cubrir toda la holgura en otras condiciones. De esta manera, las emisiones son mucho menores que para el motor que quema combustible y que maneja el auto por sí mismo, y la economía de combustible puede mejorar significativamente. Las tecnologías híbridas extienden el rango utilizable de EVs más allá de lo que un vehículo completamente eléctrico puede lograr solo con baterías. Al ser un híbrido o un híbrido enchufable, el vehículo podría operar solo con baterías dentro de un área urbana (contaminada), y luego cambiar a su motor de combustión fuera del área urbana.

Aunque en este proyecto solo nos basaremos en la viabilidad de introducción de vehículos completamente eléctricos al país, hablaremos un poco al respecto de los HEVs y los PHEVs, como se menciona anteriormente. Los PHEVs tienen en disposición dos motores, uno eléctrico alimentado por baterías y uno convencional de gasolina o diésel (haciendo más pequeño el banco de baterías y el almacenamiento de gasolina), los automóviles PHEVs pueden funcionar en dos modalidades, usando el motor eléctrico o utilizando el motor de combustión interna, además tiene dos compartimentos donde uno es donde se le ingresa la gasolina y el otro es el enchufe donde se alimenta de energía eléctrica, para el caso de los HEVs disponen de los mismo elementos que los enchufables, pero la batería únicamente se recarga aprovechando la energía del frenado y la inercia en los desniveles, es decir no tiene opción de enchufarse y alimentarse de energía eléctrica, por último mencionar que los REEVs son vehículos eléctricos con un pequeño motor extra de combustión, que sirve para generar electricidad que alimenta a las baterías cuando se ha descargado y tener un extra de autonomía. En las siguientes figuras se pueden visualizar las diferentes configuraciones de los EVs y sus principales funcionamientos:



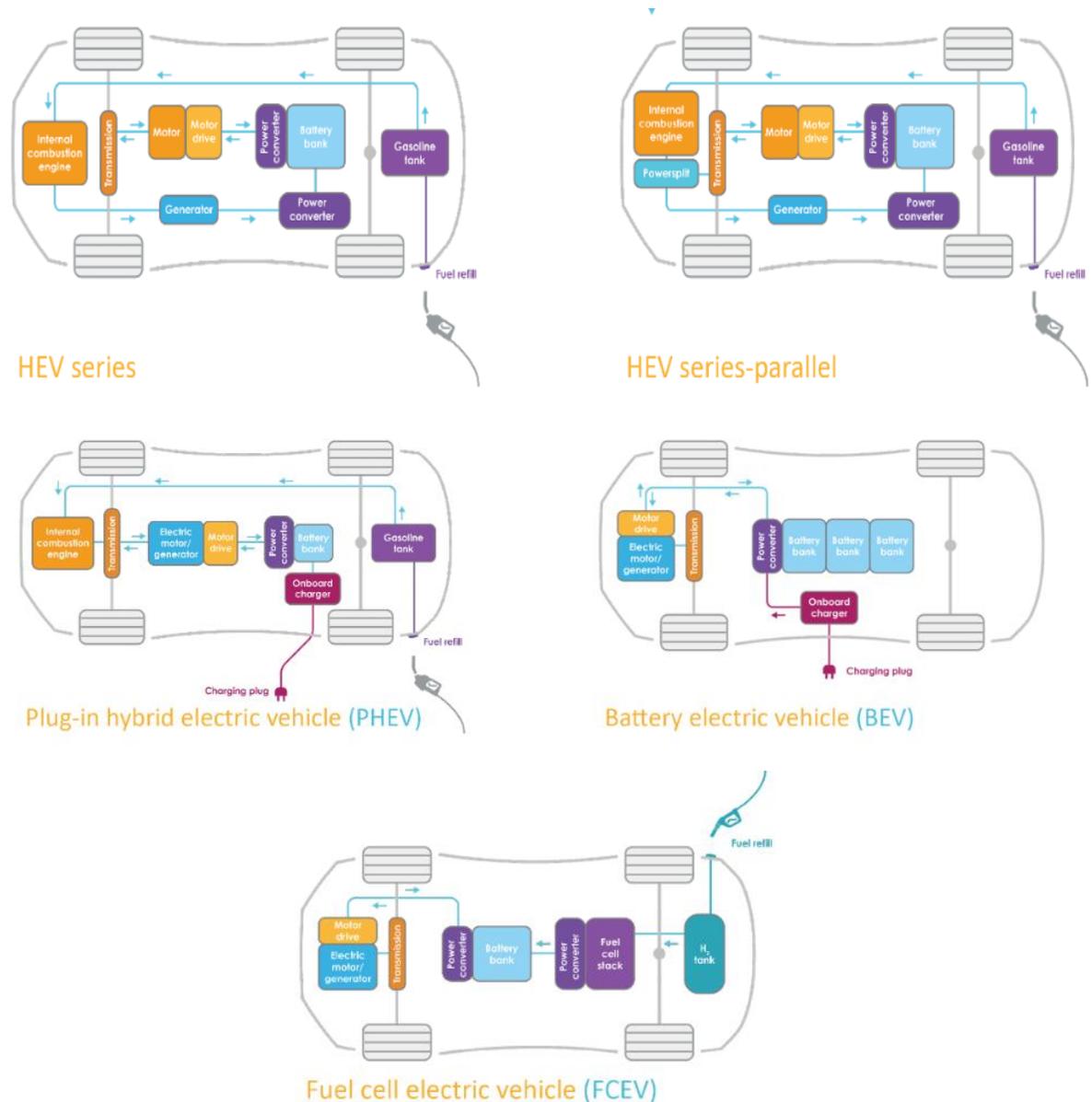


Figura 1: Tipos de vehículos eléctricos

En la figura 1 se muestra la comparación entre los principales tipos de vehículos eléctricos (EVs), en la parte de anexos se puede visualizar dicha tabla.

Además, se puede mencionar que para el tipo de vehículo eléctrico híbrido existen subgrupos los cuales son: el micro híbrido, el semi híbrido y el completamente híbrido, a continuación, se detalla un poco sobre cada uno de ellos:

Vehículos eléctricos micro-híbridos: Tiene la menor contribución de energía eléctrica. En un micro híbrido, el motor eléctrico se utiliza para aplicaciones tales como las acciones de parada/arranque del motor y la pequeña escala de frenado regenerativo. La funcionalidad de arranque/parada, por ejemplo, puede ayudar a apagar el motor automáticamente en un

semáforo y, por lo tanto, reducir el consumo de combustible. Sin embargo, el tren motriz eléctrico no se puede utilizar para suministrar un par adicional a las ruedas.

Vehículos eléctricos semi híbridos: Tienen toda la funcionalidad de los micro híbridos. Además, tiene características que le permiten mejorar los inconvenientes de los vehículos de combustibles fósiles al mejorar los niveles de eficiencia. El ICE consume más combustible y emite más contaminantes cuando se desliza o frena. En esas situaciones el motor eléctrico ayudara a aumentar los niveles de eficiencia al ayudar al funcionamiento del motor. En un semi híbrido el motor eléctrico puede ayudar al motor cuando se necesita potencia adicional, pero es incapaz de propulsar el vehículo solo.

Vehículos eléctricos completamente híbridos: Tiene las características de que el motor eléctrico proporciona al menos el 40% de la potencia de rango máximo como par adicional. Este tipo de automóviles incluye un gran banco de motor y batería; esta característica brinda la oportunidad de reducir el tamaño del motor de combustión, especialmente en una configuración paralela o en serie paralela. Esta configuración implica agregar complejidad a la estructura del tren motriz para proporcionar movimiento tanto del motor como del motor intercambiable, lo que aumenta el costo del peso del vehículo.

En la tabla 1-2 ubicada en los anexos, se muestra un resumen de los tres tipos de vehículos eléctricos híbridos (HEV).

2.2.1.5 PARÁMETROS DE LA BATERÍA.

Como se ha mencionado anteriormente, la batería es la parte más importante de los vehículos eléctricos (EV). Determina en gran medida el costo del vehículo eléctrico y su alcance, por lo tanto, la comprensión de los parámetros de rendimiento de la batería es muy importante, ya que forma la base para entender la carga de la batería. A continuación, se mencionarán algunos parámetros de rendimiento principales, que son:

Tensión nominal (V_{nom} , en V): Es la tensión nominal de la batería cuando está completamente cargada. Cuando se descarga o se carga una batería, el voltaje se reduce gradualmente a un valor más bajo (V_{batt}).

Corriente nominal (I_{nom} , en A): Es la corriente nominal de la batería para cargar o descargar. Normalmente, la corriente de carga/descarga real $I_{batt} \leq I_{nom}$. Además, los automóviles eléctricos normalmente tienen una corriente de descarga pico mucho más alta que la corriente de carga pico.

Eficiencia de carga/descarga (en %): Al cargar o descargar una batería reversible, ni toda la energía enviada a una batería se puede almacenar de manera efectiva ni se puede recuperar con éxito toda la carga eléctrica disponible dentro de una batería. La eficiencia se utiliza para representar la capacidad de una batería para almacenar/recuperar carga eléctrica o energía. La eficiencia de una batería no siempre es constante, incluso en un ciclo, y depende del SOC, la temperatura de la celda y la corriente. Cuando hablamos de eficiencia,

generalmente se refiere a la eficiencia general del ciclo, lo que significa la eficiencia de todo un ciclo.

Es importante mencionar que el almacenamiento de energía es un tema de mucho interés, ya que dependiendo de esto será el alcance (distancia) que podremos tener, una de las principales razones por las que el automóvil eléctrico no llegó antes fue el tamaño y el peso de las baterías, así como su excesivo precio. En aquel entonces, el combustible demostró ser una forma mucho más eficiente de almacenar energía. En la tabla 1-3 ubicada en los anexos se puede observar como las tecnologías de las baterías se han desarrollado hasta el punto en que el tamaño y peso son un problema mucho menor.

Otro elemento muy importante en los automóviles eléctricos es el motor eléctrico del cual ya hablamos anteriormente, en la tabla 1-4 ubicada en los anexos se puede observar un cuadro comparativo entre los vehículos eléctricos y los vehículos de combustión interna.

2.2.1.6 TIPOS DE CONECTORES PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

En la actualidad no existe un conector estándar para los automóviles eléctricos que se utilice universalmente, esto se debe a las diferencias de ideologías en las diferentes regiones del planeta, es por ello que se han creado varios tipos de conectores para la alimentación de automóviles eléctricos, así como la forma de carga de los EVs que pueden ser por medio de corriente alterna (AC) o corriente directa (DC), a continuación, se muestran los diferentes tipos de cargadores:



Figura 2: Conectores de corriente alterna.

	USA-Japan	Europe	USA-Japan-Europe	China
	Tesla DC 	Tesla DC 	Chademo 	GB/T 
	Combo 1: Combined AC & DC 	Combo 2: Combined AC & DC 		

Figura 3: Conectores de corriente continua.

EE.UU. y Japón: Tienen CA tipo 1, CHAdEMO CC tipo 4, Combo 1 AC-DC y el conector de CA propietario de Tesla.

Europa: Tiene CA tipo 2, CA tipo 3, CHAdEMO DC tipo 4 y Combo 2 AC-DC. China tiene CA tipo 2 y su propio conector DC GB/T

Con respecto a los fabricantes de automóviles, los fabricantes de automóviles estadounidenses y europeos han adoptado CCS/Combo y los fabricantes de automóviles japoneses han adoptado CHAdEMO.

2.2.1.7 MODOS DE CARGA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

En la actualidad existen cuatro modos de carga para los automóviles eléctricos, los cuales son:

Modo 1 (13 amperios y 230 voltios): Este modo implica una carga lenta de corriente alterna (CA) a través de un enchufe eléctrico normal. No hay comunicación entre el vehículo y el punto de recarga. Se requiere proporcionar un cable de tierra al EV y tener un medio externo de protección contra fallas. En muchos países, esta forma de cobro se considera insegura y es ilegal.

Modo 2 (2.3 kW de potencia): Este modo proporciona una carga de corriente alterna (CA) lenta desde un tomacorriente normal. Además, el cable de carga está equipado con un dispositivo de control y protección en cable (IC-CPD), que es responsable del control, la comunicación y la protección (incluida la protección de corriente residual).

Modo 3 (7.3 kW de potencia): Este modo implica una carga lenta o semi rápida a través de una toma eléctrica dedicada para carga EV. El cargador (o la estación de carga) tiene un zócalo específico para EV, generalmente correspondiente al Tipo 1 o Tipo 2. Se utiliza un cable de carga con un enchufe EV en ambos lados para conectar el EV al cargador. La estación de carga es responsable del control, la comunicación y la protección del proceso de carga (incluida la protección de corriente residual). Este modo se usa comúnmente para estaciones de carga públicas y facilitar la integración con redes inteligentes.

Modo 4 (350 kW de potencia): El modo 4 usa un enchufe eléctrico dedicado para la carga de EV como el modo 3. El cargador generalmente tiene un cable de carga con un enchufe de carga EV. El modo 4 se usa específicamente para la carga de corriente continua (CC), que se recomienda para la carga rápida de un vehículo eléctrico. En el caso de la carga de corriente continua (CC), el convertidor de CA/CC se encuentra dentro de la estación de carga. Las funciones de control, comunicación y protección están integradas en la estación de carga.

En la tabla 1-5 ubicada en la parte de anexos, se muestra un resumen de los modos de carga para los vehículos eléctricos.

En la siguiente imagen se puede visualizar los cuatro modos de carga:

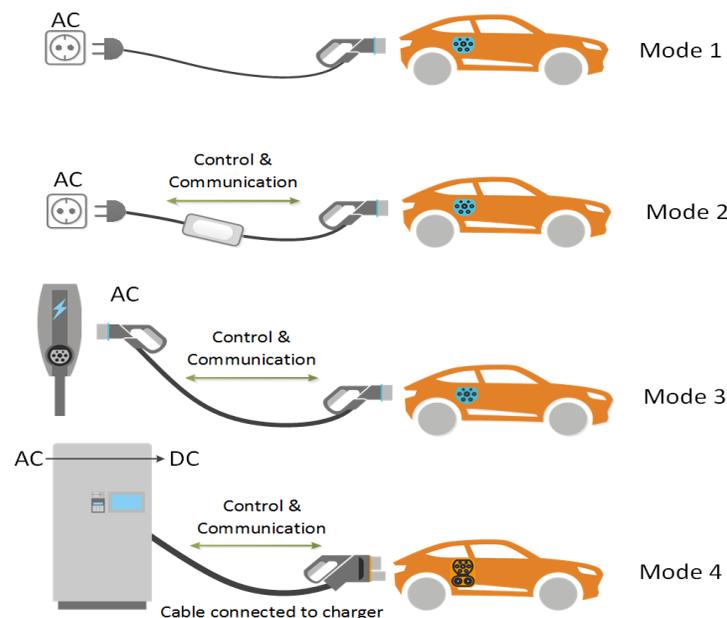


Figura 4: Modos de conexión de vehículos eléctricos.

2.2.1.8 TECNOLOGÍA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MÁS ÓPTIMA, TANTO PARA LA ECONOMÍA DE LOS SALVADOREÑOS COMO PARA EL MEDIO AMBIENTE QUE SE PUEDA INSERTAR AL PAÍS

Inicialmente es importante mencionar que, para analizar la mejor opción de implementación de automóviles eléctricos al país, hay que ver las ventajas y desventajas que presentan los vehículos eléctricos híbridos y los vehículos completamente eléctricos, las cuales son las siguientes:

Ventajas de los vehículos eléctricos híbridos (HEVs): Es un poco más económico que un automóvil completamente eléctrico (EV), le ofrece al usuario autonomía, dándole tranquilidad al conductor, los HEVs son indicados para viajes muy largos, ya que por presentar un motor de combustión interna se puede recargar en una gasolinera.

Desventajas de los vehículos eléctricos híbridos (HEVs): Por poseer un motor de combustión interna siempre expulsa contaminación (dióxido de carbono) al medio ambiente, debido a que posee un motor de combustión requiere mayor mantenimiento que un vehículo completamente eléctrico.

Ventajas de los vehículos completamente eléctricos (EVs): tienen cero emisiones, por tanto, no generan gases contaminantes para el medio ambiente, son excelentes para pequeños tramos no mayores de 100 km, no requiere de tanto mantenimiento como los HEVs.

Desventajas de los vehículos completamente eléctricos (EVs): Son más costosos que los vehículos eléctricos híbridos, aunque con los costos de mantenimiento que se ahorran los EVs se podría recuperar la inversión en unos cuantos años, son malos para distancias largas, ya que depende de la duración del banco de baterías, toman mucho tiempo en cargar el banco de baterías, aunque a futuro se está buscando reducir dicho tiempo, aparte de esto el costo de las baterías es bastante caro, aunque se está buscando nuevas formas de reducción de los costos.

En conclusión, una buena opción de introducción de automóviles eléctricos en El Salvador serían los carros completamente eléctricos, ya que, aunque son un poco más caros que los carros eléctricos híbridos, esto se compensa con el poco mantenimiento que requieren, además que son amigables con el planeta, ya que no generan ningún tipo de contaminación, es por ello que se escoge dicho tipo de carros eléctricos.

2.2.2 ECONOMÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

2.2.2.1 PRECIO DE LOS DIFERENTES MODELOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA DIFERENTES PROVEEDORES EN DISTINTAS PARTES DEL MUNDO

A continuación, se presenta una lista de automóviles eléctricos con su respectivo precio (aproximado) de venta en varios países del mundo, es importante mencionar que los precios de los automóviles pueden variar con respecto a la región del país en el que se encuentre o de las diferentes ofertas o proveedores que lo estén distribuyendo:

Automóviles	Precio en dólares Estadounidenses							
	España	México	Colombia	Chile	China	EEUU	Francia	Alemania
ZEO 40	22,288.16		31,364.86	36,717	-----	-----	-----	24,224.64
TWINZY	8,557.06	16,643.8	12,544.06	-----	-----	-----	-----	-----
Kangoo Z.E.	18,762.90	-----	-----	24,977	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S60	73,118.81	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S75	82,102.30	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S60D	78,463.42	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S75D	87,947.26	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S90D	98,181.62	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model X75D	121,334	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model X90D	134,070.2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model X100D	186,720.2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jaguar I-pace	-----	106,337	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Zacua MX2	-----	29,659.7	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Nissan Leaf	-----	36,305.8	34,504.8	-----	-----	22,490	-----	26,557.85
Toyota Prius	-----	19,990.3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Chevrolet Volt	-----	37,389.9	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tesla Model S	-----	90,709.7	-----	-----	-----	67,000	-----	-----
Tesla Model X	-----	98,221	-----	-----	-----	72,000	-----	-----
BMW i3	-----	-----	51,725.83	62,278	-----	-----	44,597.98	39,016.26
BYD e5	-----	-----	31,368	-----	35,243	-----	-----	-----
BYD e6	-----	-----	47,052	51,424	-----	-----	-----	-----
BYD t3	-----	-----	47,052	-----	-----	-----	-----	-----
Hyundai Ioniq	-----	-----	28,231.2	35,247	-----	-----	41,248.95	-----
Kia Soul EV	-----	-----	40,464.72	-----	-----	-----	-----	-----
Mitsubishi i-Miev	-----	-----	28,199.83	44,812	-----	-----	-----	26,557.85
Mitsubishi Outlande	-----	-----	-----	36,716	-----	-----	-----	-----
Great Wall de Ora	-----	-----	-----	-----	15,500	-----	-----	-----
Nio ES6	-----	-----	-----	-----	52,000	-----	-----	-----
Baojun E100	-----	-----	-----	-----	5,116	-----	-----	-----
Ora IQ SUV	-----	-----	-----	-----	15,916	-----	-----	-----
Ora IQ R1	-----	-----	-----	-----	14,779	-----	-----	-----
Nio ES8	-----	-----	-----	-----	68,212	-----	-----	-----
GAC GE3	-----	-----	-----	-----	21,601	-----	-----	-----
Perno de Chevrolet	-----	-----	-----	-----	-----	29,995	-----	-----
Audi e-tron	-----	-----	-----	-----	-----	-----	92,210.1	-----
Citroen C-Zero	-----	-----	-----	-----	-----	-----	30,029.68	32,812.73
Tesla Model 3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	59,724.46	-----
Smart Coupe	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	21,110.08
Smart Fotwo Cabrio	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	24,559.59
Reugeot iOn	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	32,812.73

Tabla 1: Resumen de precios de diferentes vehículos eléctricos.

2.2.2.2 PRECIO POR kWh PARA LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO

El poseer un automóvil eléctrico puede llegar a reducir los gastos de gasolina hasta un 60%, si la recarga se realiza en el hogar, lo primero que se debe saber es que cada estado tiene su tarifa de electricidad independiente, sin embargo, el promedio nacional del costo eléctrico en los Estados Unidos es de \$0.12 centavos de dólar por kWh a 120 voltios.

El precio que tiene México por kWh es en promedio de \$0.89.

Para el caso de España y Portugal el precio del kWh (varia durante el día) está en una media de \$0.15, esto para el caso de recargar el automóvil en el hogar, además es importante mencionar que Madrid ha colocado puntos de carga donde las personas puede llegar con sus automóviles eléctricos y recargarlos de forma gratuita, esto con la finalidad de incentivar a la población de adquirir dichos automóviles, actualmente el precio promedio del kWh está en \$0.13. La siguiente imagen muestra los puntos de carga existentes en España y Portugal:



Figura 5: Ubicación de las estaciones de carga en España y Portugal

A continuación, se muestra una tabla que resume (para el caso de España) del costo de recarga de un coche eléctrico en función de las diversas tarifas:

	Precio kWh	20 kWh	40 kWh	60 kWh
Tarifa 2.0 DHS P1*	0.15 dólares	3.42 dólares	6.83 dólares	10.25 dólares
Tarifa 2.0 DHS P2*	0.089 dólares	1.78 dólares	3.55 dólares	5.33 dólares
Tarifa 2.0 DHS P3*	0.077 dólares	1.55 dólares	3.10 dólares	4.65 dólares
Tarifa 2.0 A*	0.15 dólares	2.96 dólares	5.92 dólares	15.40 dólares
Ionity**	9.11 dólares	9.11 dólares	9.11 dólares	9.11 dólares
Tesla	0.33 dólares	6.61 dólares	13.21 dólares	19.36 dólares
Electrolinera***	0.57 dólares	11.39 dólares	22.78 dólares	34.17 dólares
*: Tarifas 2.0 DHS (coches eléctrico) y 2.0A (doméstica básica) sin impuestos				
**: Ionity, tarifa plana				
***: Precio medio				

Tabla 2: Costo por kWh en diferentes tarifas para España.

- P1 o Período Punta, de 10 horas por día. Es el más caro, abarca desde las 13h a las 23h
- P2 o Período Súper Valle, de 8 horas por día. Tendría un coste intermedio. Comprende de las 23h a la 1h y de las 7h a las 13h
- P3 o Período Súper Valle, de 6 horas por día. Va desde la 1h a las 7h y es el más barato, y definitivamente la mejor franja horaria para recargar el coche.

Para el caso de recargar el automóvil eléctrico fuera de casa, hay tantas variables a considerar que resulta complicado dar una estimación cierta a la hora de establecer el precio por kWh, es por ello que el rango puede variar desde 0 dólares por kWh (puntos de carga gratis) hasta 0.63 dólares el kWh. En las llamadas electrolíneas el precio habitual ronda los 0.57 dólares el kWh con impuesto incluido hasta un caso extremo de 0.63 dólares por kWh.

También se encuentra el caso para estaciones de carga especializadas con Tesla, la cual tiene una tarifa única de 0.33 dólares por kWh. Actualmente hay costos por recarga completa (en la red) en los países como: Francia con una tarifa de 9.11 dólares la recarga, 8.17 dólares en Suiza, 10.15 dólares en el Reino Unido, independientemente de los kWh que gastemos.

Para el caso de recargar el automóvil eléctrico en el hogar tenemos los siguientes precios: Francia, Luxemburgo y Holanda pagan 0.23 dólares por kWh, Noruega paga 0.16 dólares por kWh y el Reino Unido paga 0.25 dólares por kWh.

Ejemplo de punto de carga: Green UP 3,1 kW	Tarifa 2.0A a 0.1713 kW con IVA	Tarifa 2.0 DHA a 0.096 kWh con IVA (Valle)	Tarifa 2.0 DHA a 0.087 kWh con IVA (Supervalle)
Batería de 40 kWh (12 horas)	7.79 dólares	4.36 dólares	3.96 dólares
Batería de 50 kWh (16 horas)	9.73 dólares	5.46 dólares	4.94 dólares
Batería de 60 kWh (19 horas)	11.67 dólares	6.55 dólares	5.93 dólares
Batería de 70 kWh (22 horas)	13.63 dólares	7.64 dólares	6.92 dólares
Batería de 80 kWh (25 horas)	15.57 dólares	8.73 dólares	7.91 dólares
Batería de 90 kWh (29 horas)	17.52 dólares	9.82 dólares	8.90 dólares
Batería de 100 kWh (32 horas)	19.47 dólares	10.91 dólares	9.89 dólares

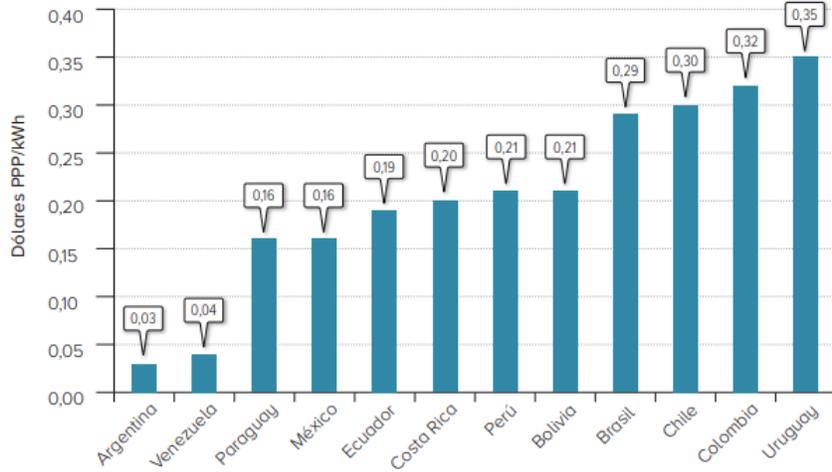
Tabla 3: Precio del kW para la energía en diferentes tarifas

Para el caso de recargar fuera de casa el precio ronda entre los 0.52 dólares por kWh.

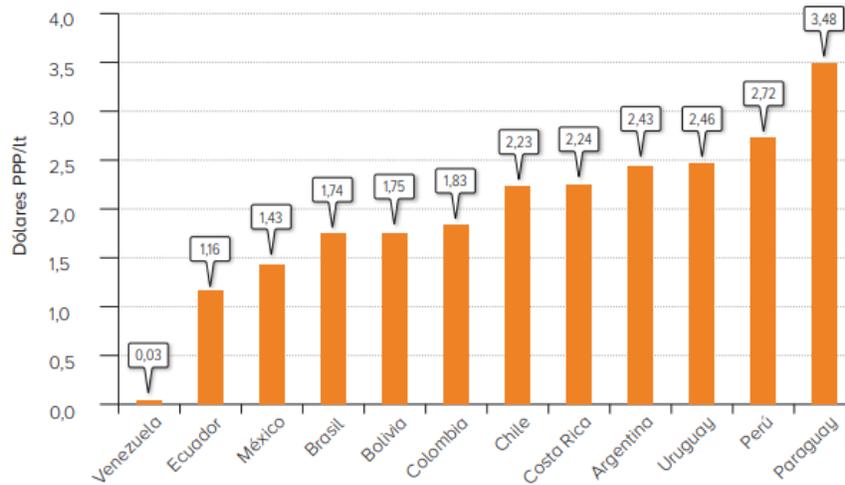
Para el Reino Unido los usuarios pagan entre 0.11 y 0.21 dólares por cada kWh es importante recalcar que el precio es para estaciones de carga de Shell. Para los demás países europeos el precio ronda los 0.32 dólares por cada kWh consumido con respecto a Shell.

Alemania presenta un precio promedio por kWh de 0.16 dólares para el caso de recargar el automóvil eléctrico en el hogar.

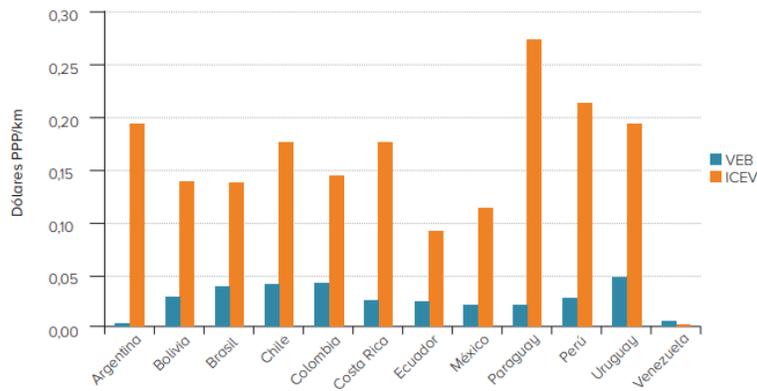
A continuación, se muestran dos graficas que representan el costo del kWh y el precio de la gasolina en algunos países de Latinoamérica para el año de 2011:



Gráfica 1: Costo de electricidad residencial por kWh para algunos países de Latinoamérica, 2011



Gráfica 2: Costo por litro de gasolina en algunos países de Latinoamérica, 2012.



Gráfica 3: Precio de energía por kilómetro.

2.2.2.3 PRECIO DE IMPORTACIÓN, ADUANA, ARANCELES, ENTRE OTROS TANTO PARA TRANSPORTE TERRESTRE COMO MARÍTIMO PARA DIFERENTES PARTES DEL MUNDO

Actualmente en El Salvador no están definidas las partidas de importación para los automóviles eléctricos, por ello se aplican las partidas para automóviles de lujo, las cuales son del 30% del valor de compra para el pago del DAI (Derechos Arancelarios a la Importación). Los únicos automotores los cuales tienen una partida de importación por el momento son los vehículos de pasajeros para más de 10 personas incluyendo el conductor (microbuses y buses eléctricos) a la cual se le aplica un DAI del 2%. Aunque el COMIECO (Consejo de Ministerios de Integración Económica) ha tomado la decisión que, para enero del 2020, los impuestos arancelarios aplicados a los automóviles eléctricos serán fijados en 0%.

Los procesos aduaneros, son los mismos que se les hacen a todos los automóviles, en ese sentido, los vehículos eléctricos reciben los mismos tratos que cualquier automotor, esto ya sea si la entrada al país es por medio terrestre o marítimo.

El pago del IVA (Impuesto al Valor Agregado), éste es de 13% que se aplica sobre la sumatoria del valor en aduanas y el DAI que se ha establecido a los bienes sujetos a importación. El valor en aduanas (Base imponible) es un valor sobre el cual los impuestos en las aduanas, para establecer dicho valor se inicia por establecer el valor pagado o por pagar del vehículo automotor, que es normalmente el valor dado en la factura o documentación de compra, agregado a este, el precio pagado por el transporte, el cual normalmente está reflejado en el documento de transporte que haya emitido el transportista, además de agregar la prima del seguro que se haya contratado para el envío de bienes.

De modo que los costos a pagar en aranceles quedan de la siguiente manera:

Valor en aduanas = FOB+FLETE+SEGURO

IVA = Valor en aduanas + DAI

Los costos por almacenaje en aduanas son relativamente baratos, si el vehículo es almacenado en uno de los establecimientos administrado por Aduanas, el coste a pagar es de \$10 por cada día almacenado. En el caso de que el vehículo esté dentro de un contenedor, el coste será de ₡100.00 por cada día almacenado.

2.2.2.4 MEJOR OPCIÓN ECONÓMICA DE IMPORTACIÓN PARA LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR

En base a lo visto en el punto anterior, los costos de transporte, abordaje y desabordaje, así como los costes de almacenaje son los mismos que para cualquier automotor de combustión y los costos de aranceles son independientes de la forma que la que el automotor haya ingresado al país. El costo de importación de un vehículo eléctrico será mayor o menor dependiendo de la vía de transporte seleccionada.

La forma más económica de transportar cualquier bien desde países lejanos es la vía marítima, ya que de ésta forma se evita los costes de aduana de cada país por donde tenga que pasar el contenedor, y ha sido la vía de transporte tomada por todos los vehículos eléctricos que están actualmente funcionando en El Salvador.

2.2.3 POLÍTICAS APLICADAS A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Hasta el momento del desarrollo del presente documento, El Salvador no tiene leyes específicas para los automóviles eléctricos, los automóviles eléctricos que están actualmente en circulación fueron introducidos como vehículos de lujo y con adaptaciones de las plantillas actuales de importación de vehículos de combustión interna, no hay leyes ni normativas para las estaciones de carga o sus posibles pliegos tarifarios. Lo que se presenta a continuación está basado en un anteproyecto de ley presentado en la asamblea legislativa por la diputada Marta Evelyn Batres Araujo el día 15 de noviembre del 2018, así como ejemplos de leyes aplicadas a otros países en el mundo que han dado resultados favorables.

2.2.3.1 LEYES Y NORMATIVAS APLICABLES A FAVOR DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Para el caso de Noruega, que es el país que más leyes y normas posee para el favorecimiento de adquisición de automóviles eléctricos, tiene por objetivo que para el 2025 prohibir la venta de vehículos de combustión interna, también posee leyes que favorecen a los EVs como circular por el carril de autobuses, no pagar el peaje de tres euros, así como no pagar IVA al momento de su compra, paquetes preferenciales solo para vehículos eléctricos, así como un pequeño incentivo de reducción de precio al momento de la compra del vehículo.

Para el caso de Alemania se tiene que los compradores de automóviles recibirán entre 4,000 y 4,500 euros cuando elijan un vehículo puramente eléctrico y 3000 euros para el caso de que sea híbrido enchufable, aparte de esto el gobierno alemán ha puesto a disposición 600 millones de euros para las subvenciones de la compra, también se tienen parqueos preferenciales para los EVs, así como algunos puntos de carga gratuitos, el gobierno alemán expuso que su modelo lo baso en Noruega y los Países Bajos.

Para el caso de Inglaterra se tiene una propuesta de ley que dice que para el año 2040 solo estén a la venta vehículos eléctricos, además de tener incentivos monetarios de 5,000 libras tanto para vehículos eléctricos como híbridos enchufables, aunque ya está la propuesta de un plan que divide en categorías la monetización las cuales son: los EVs con autonomía por encima de los 112 km disfrutaran de un total de 4,500 libras (6,200 euros), los híbridos enchufables tendrán 2,500 libras (3,400 euros), así como parqueos preferenciales.

Para el caso de España se tiene puntos de recarga gratuitos (específicamente en Madrid), no se paga IVA al momento de comprar el vehículo eléctrico, parqueos preferenciales e igualmente prohibirá las matrículas de coches de diésel, gasolina e híbridos a partir del 2040.

Para el caso de El Salvador no se tienen leyes y políticas que favorezcan el consumo de los vehículos eléctricos, es por ello que se ha presentado el siguiente anteproyecto de ley Presentado por la diputada Marta Evelyn Batres Araujo el día 15 de noviembre del 2018, que es una recopilación de las mejores leyes y normas aplicadas en diferentes países de Europa y América:

Según el anteproyecto para el decreto “LEY DE FOMENTO AL TRANSPORTE ELÉCTRICO” que tiene por objetivo fomentar el uso del transporte eléctrico en El Salvador con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y al mismo tiempo la protección del medio ambiente, establecería que el VMT (Viceministerio de Transporte) estará obligado a promover el transporte eléctrico en el país, así como emitir un logo distintivo para los automóviles eléctricos para que sean identificables y de esta forma que puedan aprovechar los beneficios que serán creados para éstos.

Por otro lado, la misma ley creará incentivos para la adquisición de vehículos eléctricos tales como diferentes exoneraciones a la importación de éstos, las cuales serán aplicables tanto para las personas naturales como para las jurídicas. Las exoneraciones dependerán del valor del CIF (abreviatura de “Cost, Insurance and Freight” que en español sería “Costo, Seguro y Flete), del cual para los primeros \$35,000 los cobros de DAI, IVA e impuestos a la primera matrícula quedarían 100% exonerados, a continuación, se muestra una tabla con las exoneraciones propuestas:

Valor del CIF	DAI	IVA	Primera matrícula
Los primero \$35,000.	100% de exoneración	100% de exoneración	100% de exoneración
De 35,001 hasta \$50,000.	100% de exoneración	75% de exoneración	100% de exoneración
De \$50,001 hasta \$65,000.	100% de exoneración	50% de exoneración	100% de exoneración
De \$65,001 en adelante.	10% de exoneración	10% de exoneración	50% de exoneración

Tabla 4: Resumen del DAI e IVA según la aduana de El Salvador.

Las exoneraciones mostradas anteriormente tendrían una vigencia de 15 años a partir de la entrada en vigencia de dicha ley.

Los EV estarían exentos del pago en un 100% del costo de derechos anuales de refrenda de matrícula para los dos primeros años a partir de la expedición de la primera Tarjeta de Circulación.

El anteproyecto presentado hasta el momento en la Asamblea Legislativa no expone ningún crédito estatal como incentivo para la adquisición de los EV, solo expone la exoneración de

los diferentes cobros aduaneros, así como algunas exoneraciones en cuanto a trámites de circulación.

2.2.3.2 LEYES Y NORMATIVAS APLICADAS A LAS ESTACIONES DE CARGA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Conforme a lo que el anteproyecto de ley de El Salvador expone, se exoneraría el total de pagos arancelarios y del impuesto a la transferencia de bienes a los cargadores nuevos de vehículos eléctricos, así como a los equipos técnicos complementarios destinados específicamente al funcionamiento de los centros de servicio de recarga.

Una normativa que sería necesaria cuando los vehículos eléctricos estén implementados ampliamente en el territorio nacional, es la que se desea aplicar en la Unión Europea, la cual expone que:

“Los edificios comerciales con más de diez espacios de estacionamiento deben tener en el futuro al menos un soporte de carga y extraer tuberías vacías para varios más, mientras que los edificios residenciales deben extraer tuberías vacías.”

Con lo cual, en el futuro, los nuevos edificios no solo deben diseñarse para dar cabida a las personas, sino también a sus vehículos eléctricos. Uno de los requisitos del acuerdo es que los nuevos edificios, así como los edificios que están siendo restaurados deben prepararse para los automóviles eléctricos, por lo cual deben tener al menos una estación de carga y las tuberías vacías deben estar al menos cada cinco estacionamientos para cuando sea necesaria con nuevas estaciones de carga, para los edificios residenciales nuevos o en renovación se deben poner tuberías vacías para todos los espacios de estacionamiento.

Aparte de esto, los conectores de las estaciones de carga no están regidos o regulados actualmente por alguna ley, ya que en los países europeos, Estados Unidos y Tesla Industry utilizan sus propios conectores para la carga de los automóviles eléctricos (ya sea carga AC o DC), así como los modos de carga del mismo, esto se puede visualizar en el capítulo de Tecnología de los EVs del presente trabajo que contiene los tipos de conectores de los automóviles eléctricos y el apartado que le continua que expresa el modo de carga de los automóviles eléctricos, que se encuentran ubicados en el capítulo V que es sobre la tecnología de los automóviles eléctricos.

La venta de energía, que es el rubro de las estaciones de carga, necesita la existencia de un ente regulador, de forma que, la venta de energía no sea exclusivo de las distribuidoras eléctricas, esto con la finalidad de incentivar la economía del sector con la creación de un nicho económico para la creación de nuevas empresas dedicadas para la creación y manejo de las estaciones de carga.

2.2.3.3 LEYES O NORMATIVAS QUE PUEDAN SER APLICADAS A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON RESPECTO AL CUIDADO Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Según lo expresado en el anteproyecto de ley de El Salvador presentado en la Asamblea Legislativa, se crearían los llamados Parques Verdes, los cuales estarían implementados en los parques públicos, así como de supermercados, centros comerciales y demás parques privados, los cuales serían exclusivos para vehículos eléctricos e híbridos eléctricos enchufables.

Las baterías de vehículos eléctricos y vehículos híbridos eléctricos enchufables, así como cualquier otro componente propio de dichos vehículos que sean considerados de difícil disposición final, serán consideradas como residuos de manejo especial y deberán ser separadas de los residuos ordinarios.

Para el caso de algunos países europeos como por ejemplo Alemania, el gobierno ya tiene sobre la mesa una ley que prohíbe la venta de vehículos no eléctricos para el 2030, esto debido a que para el 2050 se cree una reducción considerable de contaminación en el medio ambiente, dicho plan está considerado no solamente por Alemania, sino que por varios países de Europa con la finalidad de poder reducir la huella de carbono y la contaminación en el planeta.

2.3 METODOLOGÍA APLICADA

La metodología utilizada en la investigación para el caso de viabilidad de introducción de automóviles eléctricos a El Salvador fue más investigativa, ya que en El Salvador son pocos los vehículos eléctricos que están en circulación, así como registros y documentación sobre el tema, es por ello se toma como base la información de algunos documentos de las empresas encargadas del diseño y construcción de los EVs, paper de la IEEE referente al tema, algunos libros sobre los EVs, documentos de los EVs que hay en internet sobre otros países, entre otros. Además de implementar una encuesta a la población salvadoreña para ver como ellos ven la introducción de los automóviles eléctricos al país, así como entrevistas que se le hicieron a algunos propietarios de automóviles eléctricos como lo son la UCA, DELSUR y una concesionaria que vende automóviles (Hyundai) y con todo esto se formara el presente proyecto de ingeniería.

2.4 POBLACIÓN, MUESTRA, VARIABLES E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el caso de la población se ha tomado a la población económicamente activa (PEA) de El Salvador, la cual según el EHPM (Encuesta de Hogares de Propósitos múltiples) realizado por el Ministerio de Economía en el año 2017 son aproximadamente 2.7 millones de personas.

Para el caso de la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2(p * q)}{e^2 + \frac{Z^2(p * q)}{N}}$$

Dónde:

N = Tamaño de la población.

Z = Nivel de confianza.

p = Proporción de la población con las características deseadas.

q = Proporción de la población sin las características deseadas.

e = Nivel de error.

n = Tamaño de muestra

Tomando al PEA como la población, un nivel de confianza del 90%, un nivel de error del 10% y para el caso de la heterogeneidad (p*q) de 80/20, se tiene como resultado la siguiente muestra:

$$n = \frac{(1.9)^2(0.8 * 0.2)}{(0.1)^2 + \frac{(1.9)^2(0.8 * 0.2)}{2.7 * 10^6}} = 57.7588$$

Siendo entonces una muestra de 58 encuestados los mínimos necesarios, de las cuales se entrevistaron a personas pertenecientes a los lugares de Cuscatancingo, Lourdes, Color y la Universidad de El Salvador (UES).

Para la recolección de datos se utilizó una encuesta por escrito, la cual fue pasada a personas naturales, esta encuesta se encuentra detallada en anexos.

Los resultados obtenidos de la encuesta mostraron que, las personas naturales creen que la inserción de automóviles eléctricos en el país es una buena idea, al dar un cambio positivo en la reducción de la contaminación ambiental, aunque la mayoría no cree tener la capacidad económica para adquirir uno.

Actualmente las nuevas políticas que favorecen a la instrucción de EV's, según la encuesta realizada, muestran que las personas de igual manera, no estarían dispuestas a comprar uno, debido a que no poseen la capacidad económica para ello, y el país no posee la infraestructura eléctrica para la alimentación de los mismos.

2.5 PERSPECTIVA DE LOS SALVADOREÑOS SOBRE LA INTRODUCCIÓN DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS AL PAÍS EN UN SENTIDO TECNOLÓGICO

Según las diferentes encuestas pasadas a la población salvadoreña, para el caso de la pregunta uno que indica si piensan que es buena idea la introducción de automóviles eléctricos en El Salvador (graficas uno y dos) se muestra que el 96.55% de la muestra piensa que es buena idea, mientras que el 3.45% cree que no, aparte de esto la pregunta 3 (graficas 5 y 6) muestran que el 65.52% cree que la introducción de los EVs sería un boom tecnológico al país y el 34.48% cree que no. Esto indica que las personas tomadas en la muestra ven de una forma positiva la introducción de los EVs, siendo esto muy bueno para un futuro no muy lejano y presentando una excelente solución para la reducción de la contaminación del planeta, además, más de la mitad de las personas de la muestra piensa que la introducción de los EV al país representara un boom tecnológico.

2.6 POSIBILIDAD ECONOMICA DEL PUEBLO SALVADOREÑO AL MOMENTO DE ADQUIRIR VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A FUTURO

Según las diferentes encuestas pasadas a las personas naturales, para el caso de la pregunta cuatro que indica sobre si El Salvador tiene la capacidad económica y financiera de poder introducir los vehículos eléctricos y ser capaz de mantenerlos a flote en el mercado (graficas siete y ocho) se muestra que el 36.21% de la muestra piensa que El Salvador si podrá tener la capacidad económica, mientras que el 63.79% cree que no, aparte de esto la pregunta 5 (graficas 9 y 10) muestran que el 34.48% cree tener la posibilidad de adquirir un vehículo eléctrico en un futuro no muy lejano y el 65.52% cree que no tendrá la capacidad para comprarlo, además las pregunta 6 (graficas 11 y 12) muestran un 20.69% de la muestra que cree tener la estabilidad económica suficiente para adquirir un automóvil eléctrico en el caso de que estuvieran en venta en el país, y el 79.31% cree que no tendrá dicha capacidad. Esto nos dice que las personas tomadas en la muestra no se ven con la capacidad económica suficiente para poder optar por adquirir un automóvil eléctrico, ya sea ahora actualmente o en un futuro no muy lejano, siendo un no con respecto a la posibilidad de que el pueblo salvadoreño pueda adquirir automóviles eléctricos (por lo menos la mayoría de personas).

2.7 CON POLÍTICAS A FUTURO QUE FAVORECIERAN LA ADQUISICIÓN DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS, SE CREARÍA INTERÉS DE COMPRA POR PARTE DE LOS SALVADOREÑOS

Según las diferentes encuestas pasadas a las personas salvadoreñas, para el caso de la pregunta siete que nos dice si son necesarias políticas y leyes que regulen la adquisición de automóviles eléctricos en el salvador (graficas 13 y 14) se muestra que el 65.52% de la muestra piensa que si son necesarias dichas políticas para incentivar la compra, mientras que el 34.48% cree que no, aparte de esto la pregunta 8 (graficas 15 y 16) muestran que el

70.69% consideraría o se animaría a adquirir un automóvil eléctrico si existieran políticas y leyes que favorecieran la adquisición de los mismos, mientras que el 29.31% no se animaría a adquirir un automóvil eléctrico independientemente existan leyes y políticas que favorezcan la adquisición o no. Esto nos dice que la mayoría de personas tomadas en la muestra se animarían o considerarían a adquirir un automóvil eléctrico si existieran leyes y políticas que regularan y favorecieran la comprar de los mismos.

2.8 LA INTRODUCCIÓN DE AUTOMOVILES ELECTRICOS AL PAÍS CONTRIBUIRA A LA REDUCCIÓN EN BUENA MEDIDA DE LOS GASES NOCIVOS PARA EL MEDIO AMBIENTE COMO LO SON EL CO2 Y LOS NOx

Según las diferentes encuestas pasadas a las personas salvadoreñas, para el caso de la pregunta nueve que nos dice que si la introducción de automóviles eléctricos reduciría en buena parte la contaminación del medio ambiente como lo son los NOx y el CO2 (graficas 17 y 18) se muestra que el 96.55% de la muestra piensa que la introducción de los EVs reduciría en una buena parte la contaminación del medio ambiente, mientras que el 3.45% cree que no representaría ningún cambio. Esto nos dice que la mayoría de personas tomadas en la muestra está a favor y cree que la introducción de los EVs representaría un cambio positivo en la contaminación del país y del planeta, reduciendo en gran medida los gases contaminantes como los NOx y el CO2.

CAPÍTULO III: LEYES Y NORMATIVAS APLICABLES A LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Las normativas aplicables a los sistemas de carga pueden ser muy variadas, actualmente nos basaremos en las que están siendo aplicadas en Latinoamérica o las normas IEC que se usan a nivel internacional.

Las siguientes normas son las usadas en Colombia y han sido tomadas del libro “Norma Técnica Colombiana 2050”:

En los equipos para carga de baterías no deben estar a más de 0.5 metros sobre el nivel del suelo, en fosos o depresiones bajo el nivel del suelo, no estar en áreas adyacentes a cámaras donde se tengan gases inflamables o bombas de combustible o donde existan equipos portátiles de alumbrado, esto aplica tanto al sistema de carga, así como a baterías almacenadas. (NTC 2050 artículo 511-3).

El conector tipo clavija del cargador, si está suspendido del techo, éste no debe estar a menos de 15 cm del nivel del suelo en su máxima extensión, a menos que tenga un sistema de recogido automático (NTC 2050 511-9).

Los conectores de EV tienen que tener una polaridad y una configuración tal que no puedan ser intercambiadas con tomacorrientes de otros sistemas eléctricos. Tienen que estar contruidos de tal forma que no tenga partes energizadas expuestas al contacto del usuario o los equipos adyacentes, asimismo el conector debe tener un polo de puesta a tierra y estar ubicado de tal forma que sea el primero en entrar en contacto con el EV y el último en desacoplarse. (NTC 2050 625-9).

El sistema de carga debe poder soportar la demanda de energía necesaria para la carga del EV (NTC 2050 625-13).

El equipo de suministro para vehículos eléctricos o la combinación cable-conector del equipo debe estar dotado de un medio automático que desenergice los conductores del cable y el conector del vehículo eléctrico si se produce alguna tensión mecánica que pudiera llevar a la rotura del cable o a la separación del cable del conector, con la consiguiente exposición de partes energizadas (NTC 2050 625-19).

El dispositivo de protección contra sobre corriente de los alimentadores y circuitos ramales de los equipos de suministro para vehículos eléctricos, debe ser para uso continuo y tener una capacidad nominal no menor al 125 % de la carga máxima del equipo de suministro. Cuando haya conectadas al mismo alimentador o secundario cargas no continuas, la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente no debe ser menor a la suma de todas las cargas no continuas más el 125 % de las continuas (NTC 2050 625-21).

3.1 NORMATIVA APLICABLE AL CONECTOR:

Las normas aplicables a los conectores se pueden tomar de las normativas IEC, ya que éstas tienen un gran alcance en cuanto a su utilización a nivel internacional, y lo más importante, a nivel latinoamericano. Muchos de los automóviles disponibles para Latinoamérica se basan en dichas normas.

Norma IEC 62196

Esta norma, también conocida como CCS o Combo, es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y modos de carga para los EVs, la cual es mantenida técnicamente por la Comisión Electrotécnica Internacional. La norma se basa en el estándar IEC 61851, el cual da los requisitos para los sistemas conductivos de carga para EVs.

La norma IEC 62196 se divide en subcategorías, de las cuales las que tomaremos son:

IEC 62196-1: Establece los requisitos generales para los conectores del EV.

IEC 62196-2: Establece los requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad de clavijas de AC y accesorios de contacto.

Basado en los requisitos dados en la norma IEC 62196-1, esta norma describe diseños específicos de conectores para AC en los modos 1,2 y 3. Los diseños se agrupan en tres configuraciones, las cuales son:

Tipo 1: Esta configuración consta de un conector de EV y una entrada de EV. El cual se le conoce como YAZAKI o SAE J1772, el cual cuenta con una carcasa redonda en la cual hay cinco contactos, los cuales se dividen en dos conectores de AC, un conductor de protección y dos pines de señal para el control y detección de proximidad.

El conector cuenta con un pestillo mecánico para tener un enclave al momento de la recarga del EV. Según la norma, esta configuración permite una corriente de operación de 32 A y una corriente máxima de 80 A.

Este tipo de conector solo se puede utilizar en carga monofásica.

Tipo 2: Esta configuración consta de un conector de EV y una entrada de EV. El cual se le conoce como MENNEKES y es utilizado mayoritariamente en Europa. Esta configuración consiste en un conector que admite la carga en modo 3 y un acoplador de EV que admite la carga en modo 2 y 3.

El conector cuenta con una carcasa ovalada con hasta siete contactos, de los cuales cuatro son conectores para AC, un conector de protección y dos pines de señal que se utilizan para el control de carga y la detección de proximidad, así mismo cuenta con un seguro de bloqueo para el momento de carga.

Según la norma, esta configuración permite una corriente de operación de 63 A y una corriente máxima de 70 A.

Tipo 3: Esta configuración consta de tres grupos, donde cada uno comprende un conector, un tomacorriente y un acoplador de EV, se le conoce como SCAME.

El conector tiene una carcasa ovalada con hasta siete pines de los cuales cuatro son para AC, un conector de protección y dos de señal para la comunicación de carga y detección de proximidad. También cuentan con un mecanismo de seguridad para el bloqueo en el momento de la carga.

Las tres configuraciones son:

- Carga monofásica hasta 16 A.
- Carga monofásica hasta 32 A.
- Carga trifásica hasta 63 A.

IEC 62196-3: Establece los requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad de clavijas de CC y AC/CC, así como los acopladores con tubo de contacto para los EVs. Describe los diseños específicos de conectores de EV para CC en modo 4.

Configuraciones:

AA: Esta configuración se conoce como CHAdeMO, está designado para usarse en CC que implementa el sistema A según norma IEC 61851-23 y comunicación CAN según norma IEC 61851-24 Anexo A.

BB: Esta configuración está diseñada para carga CC e implementa el sistema B de acuerdo con la norma IEC 61851-23 y comunicación CAN según norma IEC 61851-24 Anexo B, se utiliza principalmente en China.

CC: Se le conoce como CCS2 o Combo2 ya que se utiliza dentro del sistema de carga combinada y se extiende al acoplador tipo 2

3.2 NORMATIVAS APLICABLES AL USO DE LOS CARGADORES DE EV:

Las siguientes normativas basadas en el “Decreto Ejecutivo número 41642-MINAE” de Costa Rica.

Las informaciones disponibles en los centros de recarga eléctrica deben proporcionar a los usuarios al menos lo siguiente:

- a) Las instrucciones de uso de los dispensadores para recarga.
- b) Información sobre el tiempo de recarga de los centros.
- c) Aviso de retiro de los automóviles, en caso de que sobrepasen el tiempo estipulado para la recarga.

La siguiente normativa está basada en “Incentivos y Promoción para el transporte eléctrico N° 9518” de Costa Rica.

Los centros de recarga deberán contar con una pizarra informativa sobre los puntos de recarga más cercanos o próximos, tiempos de recarga, estadísticas de consumo y demás información necesaria para una óptima movilidad por el país.

3.3 LEYES APLICABLES A LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

Las siguientes leyes para las distribuidoras están basadas en el “Decreto Ejecutivo número 41642-MINAE” de Costa Rica.

Las empresas distribuidoras de electricidad, como prestadoras de servicio público de distribución y comercialización, tendrán la responsabilidad de construir y poner en funcionamiento los centros de recarga.

Los centros de recarga serán los únicos autorizados para vender o comercializar la electricidad y deberán utilizar únicamente dispensadores para recarga rápida o superior de energía eléctrica. El conjunto de centros de recarga rápida o superiores de energía eléctrica formarán una red que permitirá el suministro de energía eléctrica a automóviles eléctricos, en todo el territorio nacional.

Los centros de recarga eléctrica en la red deben ser de acceso público, garantizando la continuidad del servicio para los usuarios. Los centros de recarga deben contar con iluminación para los usuarios que utilicen el servicio durante el período nocturno.

Las distribuidoras podrán instalar centros de recarga en alianza con los actores públicos, privados o ambos y cuando exista se podrá aprovechar la infraestructura disponible para lo cual podrán establecer figuras de alquiler, convenios y otros.

3.4 LEYES APLICABLES AL USO DE LOS CENTROS DE CARGA:

Las siguientes leyes están basadas en el “Decreto Ejecutivo número 41642-MINAE” de Costa Rica.

Con los tiempos de recarga, con el propósito de evitar tiempos de recarga eléctrica excesivos o uso indebido de los centros de recarga, las distribuidoras deberán establecer mecanismos de cobro y señales económicas, así como métodos de desconexión automática o de retiro de los automóviles eléctricos que sobrepasen el tiempo de recarga y no lo retiren por cuenta propia.

3.5 LEYES APLICABLES PARA LA SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE RECARGA:

Las siguientes leyes están basadas en el “Decreto Ejecutivo número 41642-MINAE” de Costa Rica.

Para poder definir un punto de recarga de EVs es necesario que se cumplan los siguientes criterios:

- a) Existencia de red trifásica accesible a 23 kV.
- b) Acceso a red Ethernet estable (para la comunicación del sistema de carga)
- c) Condiciones de seguridad para las instalaciones.
- d) Acceso público 24 horas los 365 días del año.
- e) Rutas actuales o nuevas de alto flujo vehicular.
- f) La topografía de la zona debe ser apta para el sistema de puesta a tierra necesaria, así como ser un terreno sin desniveles.
- g) Cerca de sitios de interés turístico, desarrollos de interés nacional y complejos residenciales o comerciales.

La siguiente ley está basada en “Incentivos y Promoción para el transporte eléctrico N° 9518” de Costa Rica.

De conformidad con los estándares internacionales, en carreteras nacionales deberá construirse y ponerse en funcionamiento por lo menos un centro de recarga cada ochenta kilómetros (80 km), en caminos cantonales deberá construirse y ponerse en funcionamiento por lo menos un centro de recarga cada ciento veinte kilómetros (120 km).

La siguiente ley está basada en la “Ley 1964 del 11 de julio del 2019” de Colombia.

Las autoridades de planeación de los distritos y municipios reglamentarán los lineamientos técnicos necesarios para garantizar que los edificios de uso residencial y comercial, cuya licencia de construcción se radique en legal y debida forma, cuenten con una acometida de electricidad para la carga de vehículos eléctricos, Los accesos a la estación de carga deberán contar con las medidas de seguridad necesarias orientadas a que sea el respectivo propietario quien acceda para efectos de asumir el costo del consumo.

El constructor deberá dejar la infraestructura de soporte cercana al lugar de parqueo, sin incluir cableado, equipos de conexión para la recarga o repostaje correspondiente.

CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

4.1 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES:

Uno de los puntos primordiales, para la construcción de estaciones de carga para automóviles eléctricos utilizando una alternativa fotovoltaica, es la ubicación geográfica que debe presentar cada una de las instalaciones, ya que, debido a que está conformado en una parte por paneles fotovoltaicos, se necesita que la localidad presente una radiación óptima y relativamente constante a lo largo del año, para que el sistema fotovoltaico sea óptimo y eficiente, aparte de esto, debe estar ubicada en una zona estratégica donde tenga la capacidad de poder conectarse a la red eléctrica, ya que también se estaría alimentando de la misma para ofrecer un mejor servicio (como sistema híbrido), también es importante tener en cuenta un estudio del terreno para la ubicación de la estación de carga, debido a que dicha estación contara con un sistema de puesta a tierra y requerirá que la tierra cuente con ciertas características y propiedades para que sea funcional para la red de tierra, y por último mencionar que la localización demográfica es otro aspecto de importancia, ya que entre mayor circulación de vehículos haya, mayor utilización y por lo tanto mayores ganancias se tendrán.

Para comenzar hablaremos del caso de la radiación de El Salvador, el Consejo Nacional de Energía (CNE) junto a las estaciones ubicadas a lo largo de la región, al igual que algunas instituciones educativas como lo son la Universidad de El Salvador (UES) y la Universidad José Simeón Cañas (UCA), presentaron un mapa de irradiancia y un mapa del promedio de radiación anual del país, a continuación, se presenta el mapa de radiación:

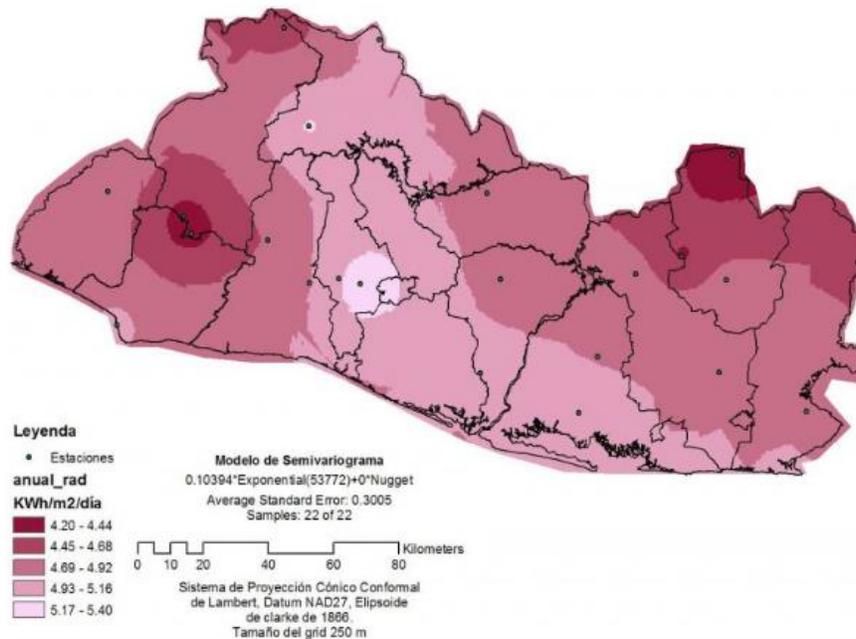


Figura 6: Mapa proporcionado por la CNE de la irradiancia de El Salvador.

Como se puede observar la radiación promedio de El Salvador es bastante buena en comparación con otras partes del mundo como lo son Alemania y Tokio, siendo la energía solar una buena opción para la utilización.

El mapa de radiación muestra que una buena opción de ubicación de instalación de las estructuras de carga, son los departamentos de San Salvador (Zona Central), La Paz (Zona Central), San Miguel (Zona Oriental), Sonsonate (Zona Occidental), entre otros, siendo los mencionados anteriormente una buena opción.

A continuación, se muestra el mapa del promedio de radiación anual de El Salvador:

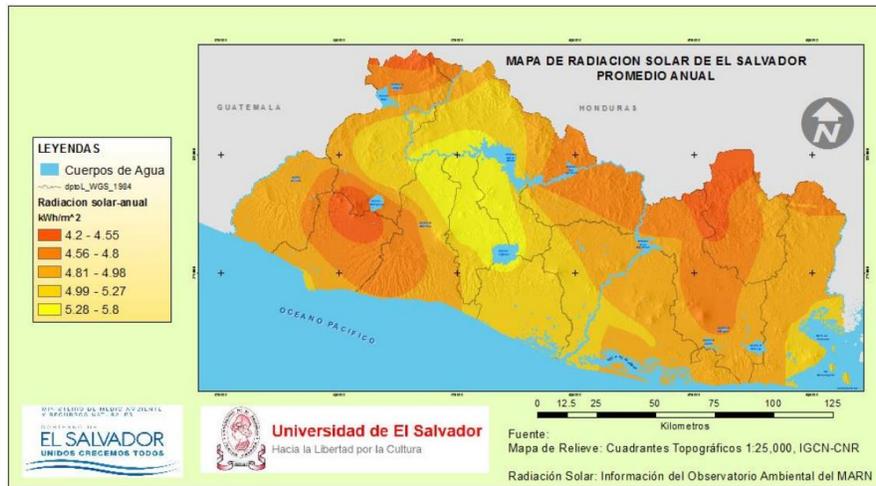
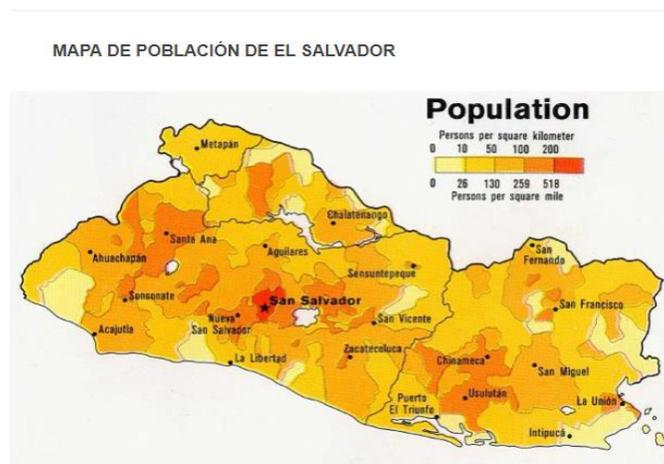


Figura 7: Mapa de radiación de El Salvador.

Según se observa el mapa de radiación promedio anual de El Salvador, se puede observar que todo el país contiene una radiación óptima para la instalación de paneles fotovoltaicos.

Ahora que ya conocemos sobre la intensidad de radiación que presenta el salvador, damos a conocer el mapa de densidad poblacional, el cual es el siguiente:



Mapa de Población de El Salvador
Fuente: CIA - Central Intelligence Agency

Figura 8: Mapa demográfico de el salvador.

En el cual se puede observar que existen tres zonas con alta densidad demográfica, las cuales son: el bloque conformado por Santa Ana y Sonsonate, el bloque conformado por La Libertad y San Salvador, y el bloque conformado por Usulután y San Vicente, las cuales son unas excelentes opciones a tener en cuenta para la implementación de estaciones de carga basándonos en la densidad poblacional del país.

Otro punto a tener en cuenta para los lugares óptimos, es tomar en consideración las carreteras principales que atraviesan el país, las cuales son: la carretera panamericana, que se encarga de conectar la capital y las principales ciudades salvadoreñas con las fronteras terrestres de Guatemala y Honduras, la carretera del litoral que es una ruta paralela a la zona costera del océano Pacífico que nos permite transitar a lo largo de todo territorio nacional, la carretera longitudinal del norte que conecta toda la zona norte del país, a continuación se presenta el mapa de las carreteras:

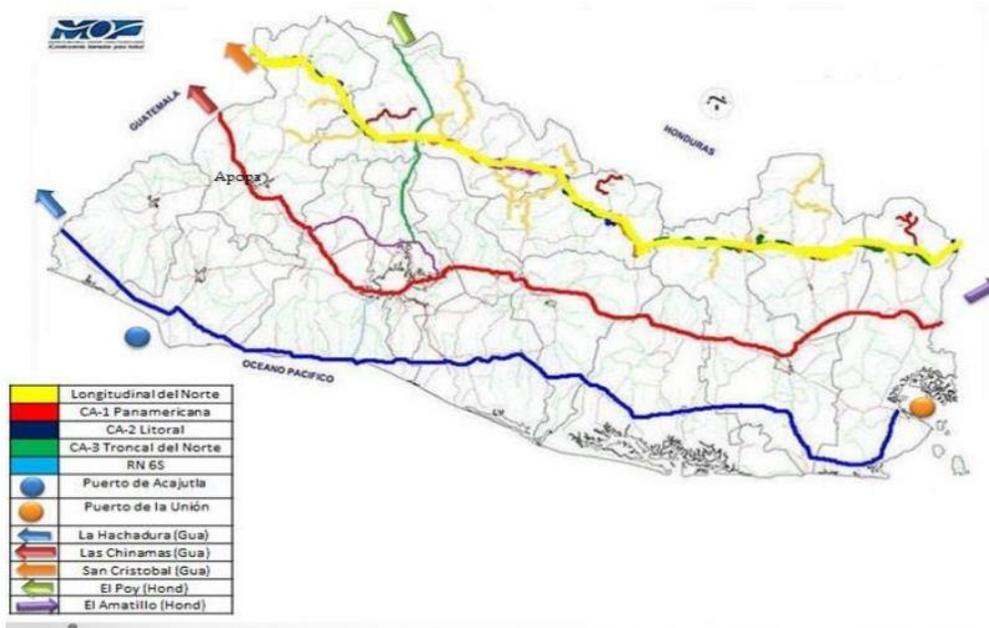


Figura 9: Mapa de las carreteras principales de El Salvador.

En base a lo expuesto anteriormente tomamos como puntos centrales para las estaciones de carga los departamentos de: Sonsonate, La Libertad, San Salvador y San Miguel.

En la zona de Sonsonate tenemos la intersección entre la carretera de Acajutla y la carretera del litoral como punto óptimo, como se muestra en la imagen:



Figura 10: Punto para estación de carga en Acajutla.

En la zona de La Libertad tenemos como zona despejada con alto índice poblacional a la cabecera departamental y un punto de alta influencia económica al municipio de Antigua Cuscatlán (intercepción entre calle el pedregal y bulevar cancillería):



Figura 11: Punto para estación de carga ubicada en el municipio de Antigua Cuscatlán.

En la zona de San Salvador consideramos como un punto estratégico la colonia San Francisco, frente a la avenida los espliegos, como se puede ver en la imagen:

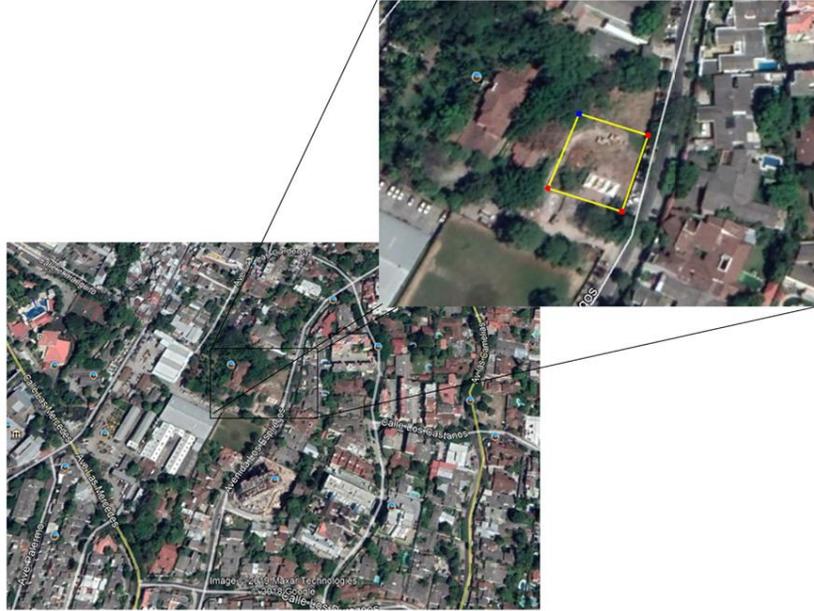


Figura 12: Punto para estación de carga en la zona de San Salvador.

En la zona de San Miguel tenemos como punto con mayor índice poblacional la ciudad de San Miguel (Carretera Panamericana, km 136), como se puede observar en la siguiente imagen:



Figura 13: Punto para estación de carga ubicada en ciudad de San Miguel.

Por ultimo mencionar que es de mucha importancia el estudio de tierra para una red de tierra optima, para ello se requiere de un equipo especializado y analizar cada uno de los puntos, pero por el coste del equipo y la alta tasa de criminalidad en el país, no es una opción viable, es por ello que se optó por no realizar dicho estudio, por lo tanto, para el diseño de la red de tierra, se asume una resistividad de $100 \Omega\text{-m}$ y un terreno no pedregoso.

4.2 ÁREA DE COBERTURA:

Actualmente existen tres puntos de carga para automóviles eléctricos ubicado en todo el país (que cuenta con un área de 21.041km^2), los cuales se encuentran en la Universidad José Simeón Cañas (UCA), oficinas centrales de DELSUR y la más reciente ubicada en plaza Malta como se dio a conocer en el marco teórico, a continuación se muestra el rango aproximado de cobertura que representa la estación de carga ubicada en plaza Malta (100 km de cobertura):

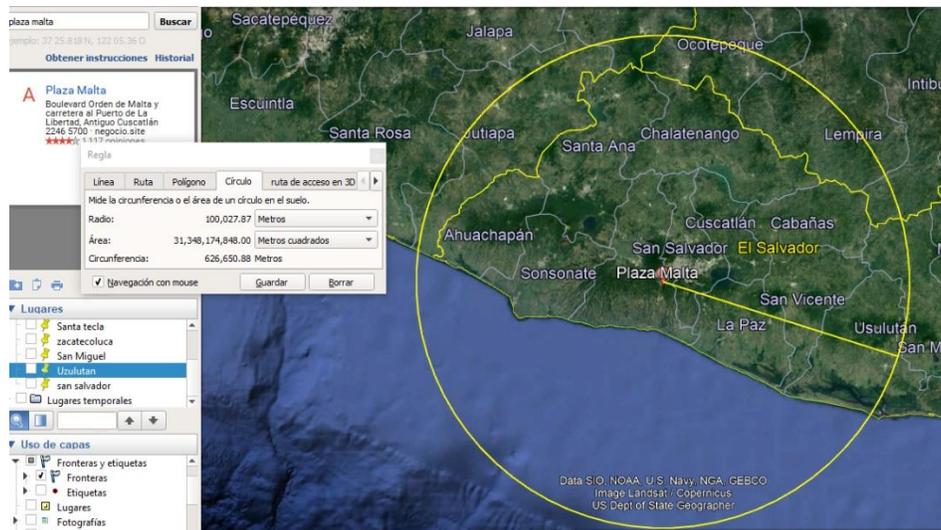


Figura 14: Cobertura de 100 km para la estación de carga ubicada en plaza malta

Para el caso de las estaciones de carga ubicadas en DELSUR y la UCA no se coloca el rango de cobertura, debido a que son de uso exclusivo de las instituciones.

A continuación, se coloca el área de cobertura aproximado de las cuatro estaciones de carga, para tener una idea de las zonas en las cuales se podría transitar con un automóvil eléctrico, como se muestra en las siguientes imágenes:

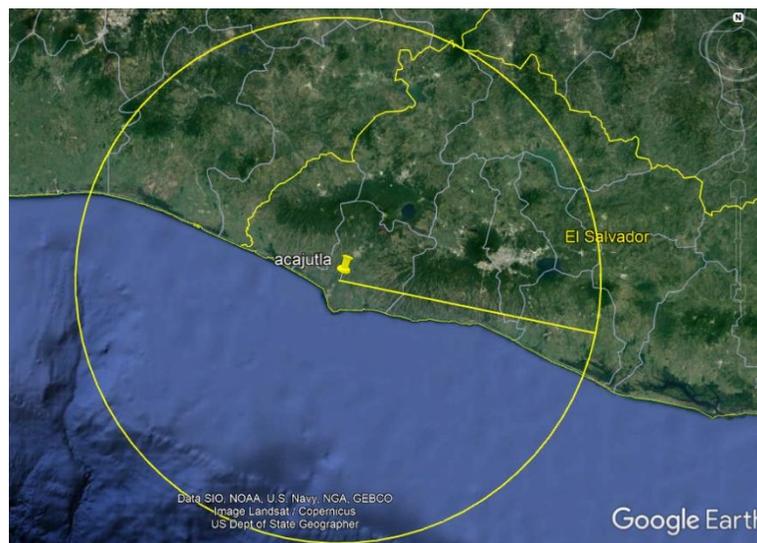


Figura 15: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en Acajutla.



Figura 16: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en San Miguel.

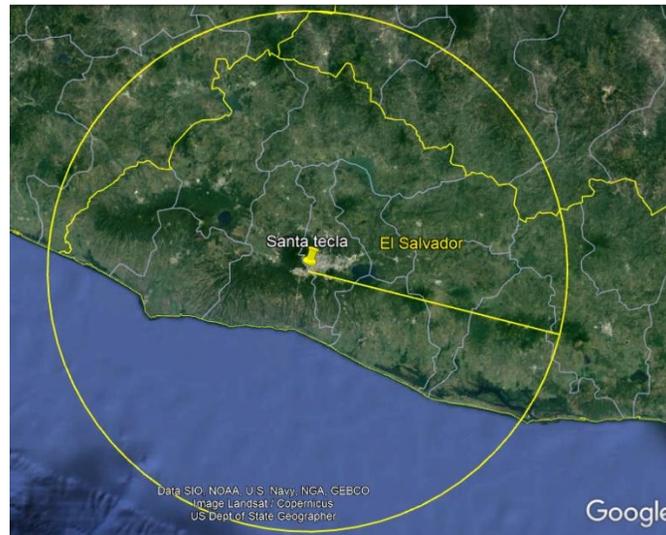


Figura 17: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en Santa Tecla.

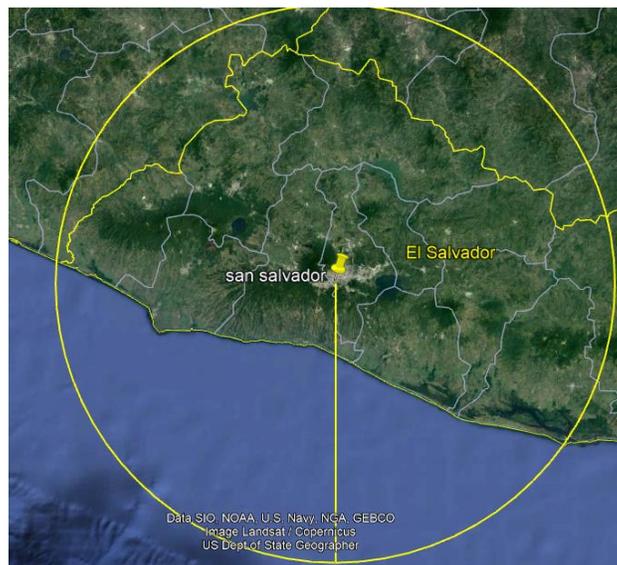


Figura 18: Área de cobertura de 100 km para el caso de la estación de carga ubicada en San Salvador.

4.3 APLICACIÓN PARA CELULAR INDICADORA DE LA LOCALIDAD DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCRICOS:

En la actualidad es de suma importancia estar de la mano con las nuevas tecnologías, es por ello que en este apartado se ha creado una aplicación para celular, la cual indica la ubicación de las estaciones de carga en el mapa, el estado en el que se encuentra, imágenes de cada una de las estaciones, estación más cercana, así como consultas o incógnitas que desee saber el cliente, la aplicación se realizó en un block de notas y el lenguaje utilizado es HTML (lenguaje de etiquetas). A continuación, se muestra dicha aplicación con su código:

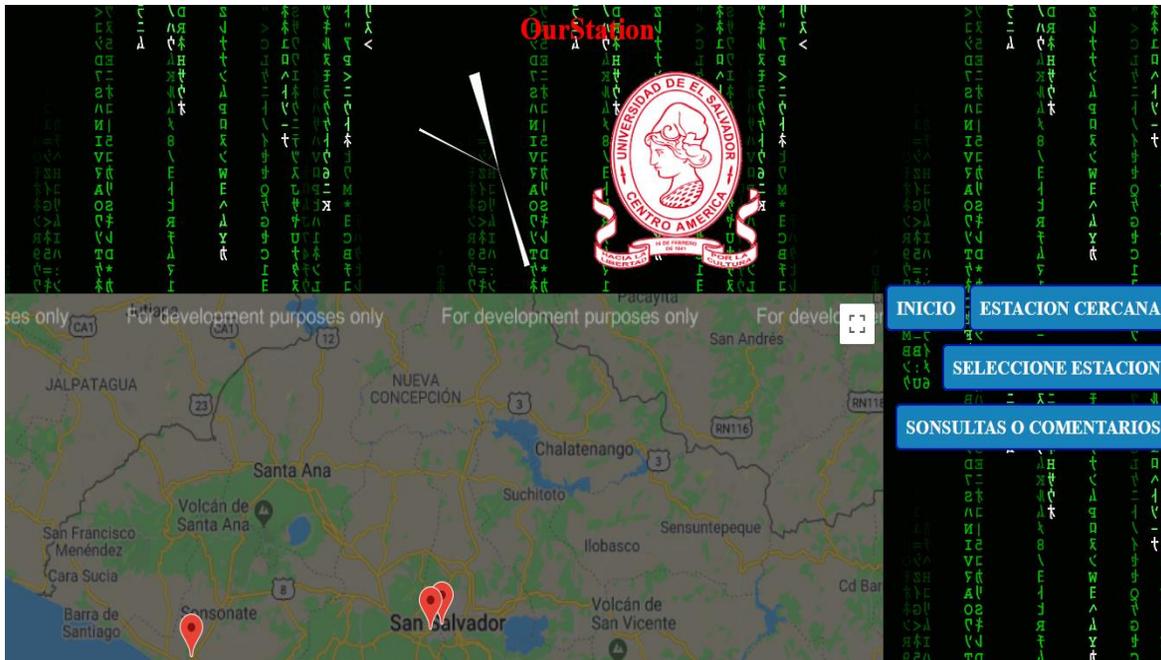


Figura 19: Interfaz principal de la aplicación para celular.

En la imagen anterior se puede ver la interfaz de la aplicación para celular, en la cual se puede observar el mapa de El Salvador en el cual se indican las localidades de las cuatro estaciones de carga, un reloj analógico para indicarle la hora al usuario y cuatro botones, en la parte de anexos se puede visualizar el código

De los cuatro botones que posee la aplicación, el primero es el de inicio, que al momento de ejecutarlo devuelve toda la aplicación a su estado inicial, el segundo botón que es la estación cercana, muestra la estación más cercana a nosotros, esto con la finalidad de poder ahorrarnos grandes recorridos en busca de una electrolinera, el tercer botón el cual es seleccione estación, nos envía a otra interfaz donde se encuentran las cuatro estaciones de carga, como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 20: Interfaz de la aplicación que muestra las cuatro estaciones de carga.

El código de la interfaz de la figura 20 se muestra en la parte de anexos.

Cada uno de los botones que se encuentran aquí posee su propia interfaz, es decir, el botón que dice atrás nos sirve para volver a la página principal de la aplicación, el botón que dice estación de carga ubicada en San Salvador nos envía a la siguiente página:



Figura 21: Interfaz de la estación de carga de San Salvador.

Donde se pueden ver imágenes de la estación de carga ubicada en San Salvador, así como dos botones, los cuales el que dice atrás nos manda a la página principal de la aplicación, y el botón que dice volver a selección de estación de carga, nos lleva a que podamos seleccionar una de las cuatro estaciones de carga, su respectivo código se puede visualizar en la parte de anexos.

El siguiente botón es el que dice estación de carga ubicada en San Miguel, la cual igual como en el caso anterior posee imágenes referentes a su estación, así como dos botones los cuales uno manda a la página principal y el otro regresa a la sección de estaciones de carga, a continuación, se muestra la imagen de dicha interfaz:

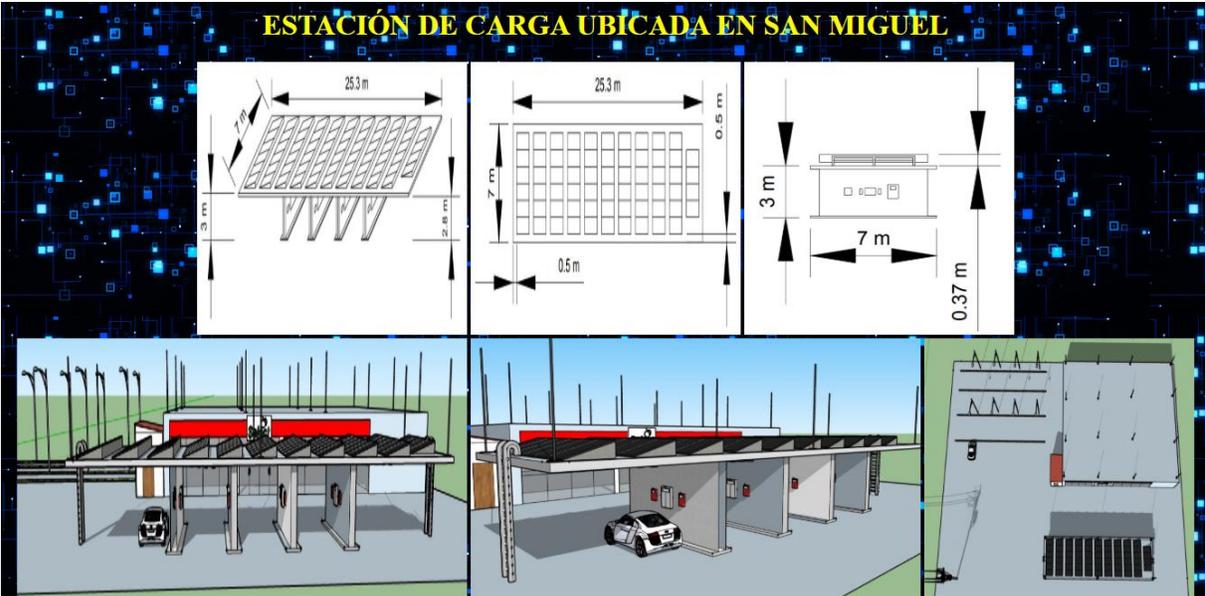


Figura 22: Interfaz de la estación de carga de San Miguel.

El código respectivo código de la interfaz de la figura 22, se encuentra localizado en la parte de anexos.

El tercer botón que tiene la parte de selección de estación, es la estación de carga ubicada en Acajutla, la cual tiene los mismos elementos que los otros dos anteriores, así como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 23: Interfaz de la estación de carga de Acajutla.

El código de la interfaz de la figura 23 se muestra en la parte de anexos.

Por último se tiene el cuarto botón, el cual es estación de carga ubicada en Santa Tecla, igualmente posee las mismas características que los anteriores, como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 24: Interfaz de la estación de carga de Santa Tecla.

El código de la interfaz de la figura 24 se encuentra localizado en la parte de anexos.

Con todo eso es que se pudo crear una aplicación sencilla referente a estaciones de carga, con la finalidad de poder darle comodidad al usuario de un automóvil eléctrico y poderse a la vez lucrar en una pequeña parte de este sistema.

Además la aplicación cuenta con atención al cliente en forma de un mensaje electrónico, como se muestra a continuación:



Figura 24.2: Interfaz de comentario y consultas de la aplicación para celular.

El código de la interfaz de la figura 24.2 se localiza en la parte de anexos.

CAPÍTULO V: INFRAESTRUCTURA DE LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

En los dos capítulos anteriores se hizo mención sobre las leyes, normativas y la geolocalización para la construcción de las estaciones de carga para automóviles eléctricos, es por ello que ahora procedemos al diseño de las infraestructuras de las estaciones de carga, donde esto incluye desde la construcción de la red de tierra, hasta el diseño final de las estaciones utilizando un sistema híbrido (alimentación desde la red eléctrica y por medio de un sistema fotovoltaico).

5.1 DISEÑO DE RED DE TIERRA

Primeramente, hablaremos sobre el diseño de la red de tierra, la cual es una parte muy importante para las instalaciones eléctricas, ya que, a través de ella, el sistema descarga las corrientes de falla y las corrientes por descargas atmosféricas. Para calcular la red de tierra se tiene que tener en cuenta los requerimientos impuestos por la SIGET en el acuerdo N° **29-E-2000**, el cual nos indica las resistencias máximas a tierra a tener en una subestación, en nuestro caso se tiene una subestación de 225 kVA, en la cual la tabla nos indica la resistencia de la red de tierra que debe poseer, el cual es de una resistencia de 2 ohm o menor, la tabla de la SIGET se puede visualizar en la parte de anexo en la Tabla 5-6.

Para el cálculo del sistema de red de tierra se toma como base las ecuaciones dadas en el estándar IEEE 80 por medio del programa informático RPAT, el cual nos brinda el cálculo de la resistencia de tierra que debe tener el suelo, esto con la finalidad de tener un sistema de puesta a tierra óptimo y eficiente, es importante mencionar que la resistividad del suelo de todas las ubicaciones se ha asumido de $100 \Omega\text{-m}$ (una resistividad ideal para una buena puesta a tierra) como se hizo mención en el capítulo IV de geolocalización de los puntos de ubicación de las estaciones de carga, ya que por la falta de los instrumentos de medición adecuados y la inseguridad que presenta nuestro país, se nos hizo imposible sacar datos reales de las ubicaciones indicadas, a continuación mostramos los resultados obtenidos en el programa RPAT y el diseño que se tendrá de la red de tierra:

Para el caso de ACAJUTLA:

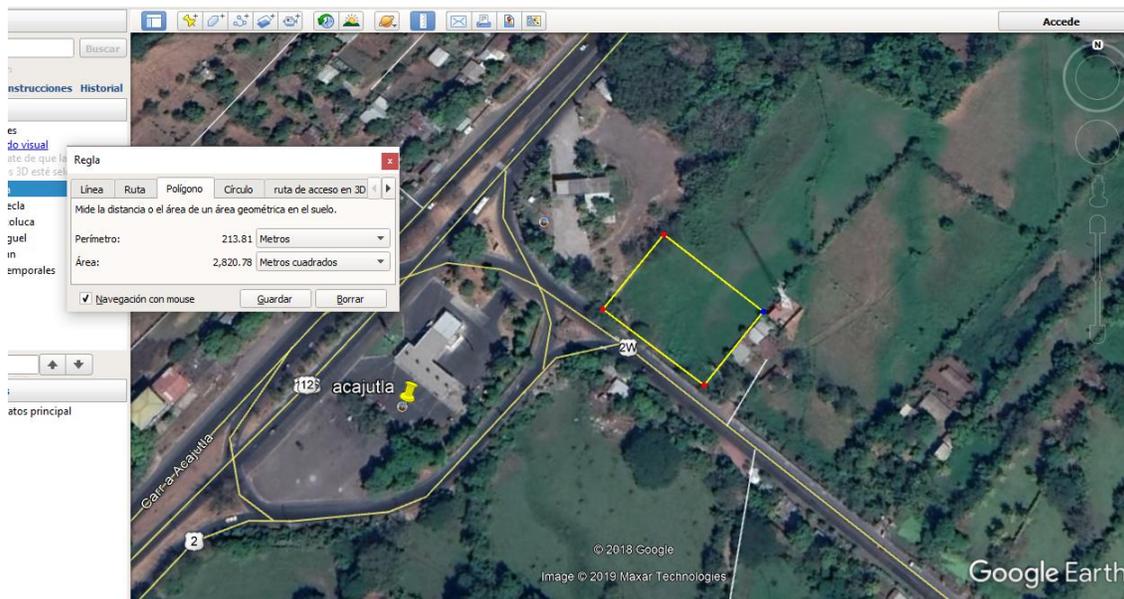


Figura 25: Localización del área para estación de carga para EVs en Acajutla (60x46m).

Resistividad Aparente del Terreno	Datos de Subestación	Datos de Varilla	Datos de Cuadrícula
Modelo del Terreno: <input checked="" type="radio"/> Una capa <input type="radio"/> Dos capas Ingresar la Resistividad: <input checked="" type="radio"/> Manualmente Resistividad Capa Superior: 100 Ω.m Resistividad Capa Inferior: Ω.m Longitud Capa Superior: m	Corriente de Falla Simétrica: 3000 A Duración de la Falla: 1 s Frecuencia: 60 Hz Relación X/R: Potencia: 0.25 MVA	<input checked="" type="checkbox"/> ¿Con Varillas? Número de Varillas: 4 Longitud de Varilla: 3 m Radio de la Varilla: 7.14 mm	Profundidad: 1.2 m Filas: 4 Columnas: 4 Material de Conductor: Manual <small>Cobre recocido de suave consistencia</small>
Geometría del Terreno Largo: 45 m Forma del terreno: Rectangular Ancho: 60 m	Capa Superficial Resistividad: 10000.0 Ω.m <input checked="" type="checkbox"/> ¿Tiene Capa? Espesor de Capa Superficial: 0.1 m Catálogo	Factores de IG Calculo de Sf: Manualmente Calculo de Df: Manualmente	<input type="button" value="Ejecutar Análisis"/> <input type="button" value="Limpiar datos"/>
RESULTADOS ASPECTOS LEGALES Y DE SEGURIDAD			
Capa Superficial Material: Asphalt Resistividad del Material: 10000.0 Ω.m Factor Reductivo de la Grava (Cs): 0.69 Altura Capa Superficial (hs): 0.1 m	Resistividad del Terreno Modelo Utilizado: Una capa Resistividad de la Capa Superior: 100.00 Ω.m Resistividad de la Capa Inferior: - Ω.m Profundidad de la Capa Superior: - m	Datos de Conductor Calibre: 1/0 Hilos: 7 Diámetro: 9.47 mm Longitud Total de Conductor: 525.00 m Espaciamiento entre Conductores: 11.25 m	Puesta a Tierra Resistencia de Puesta a tierra: 1.06 Ω
Geometría del Terreno y La Cuadrícula Área: 2700.00 m ² Forma del Terreno: Rectangular Configuración: S16	Parámetros Críticos Factor de División de Corriente de Falla [Sf]: Factor de Decremento [Df]: Corriente Máxima de cuadrícula [IG]: A	Datos de Varillas Longitud Total de Varillas: 12.00 m Número de Varillas: 4.00 Longitud de Varilla: 3.00	Voltajes Críticos Tolerables Voltaje de Malla [Em]: V Voltaje Tolerable de Toque (Etouch): 788.45 V Voltaje de Toque [Es]: V Voltaje Tolerable de paso (Estep): 682.79 V <input type="button" value="Vista de perfil"/> <input type="button" value="Generar Reporte"/>

Figura 26: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.

Como se puede visualizar en la imagen, la resistencia de puesta a tierra que nos presenta el programa de computadora RPAT es de 1.06 Ω el cual es una excelente resistencia, ya que una resistencia de 2 Ω o menor se considera óptima para la implementación de una red de tierra para una subestación de 225 KVA, según lo indica la norma N° 20-E-2000 proporcionado por la SIGET, dicha tabla se puede visualizar en la parte de anexos como Tabla 5-6.

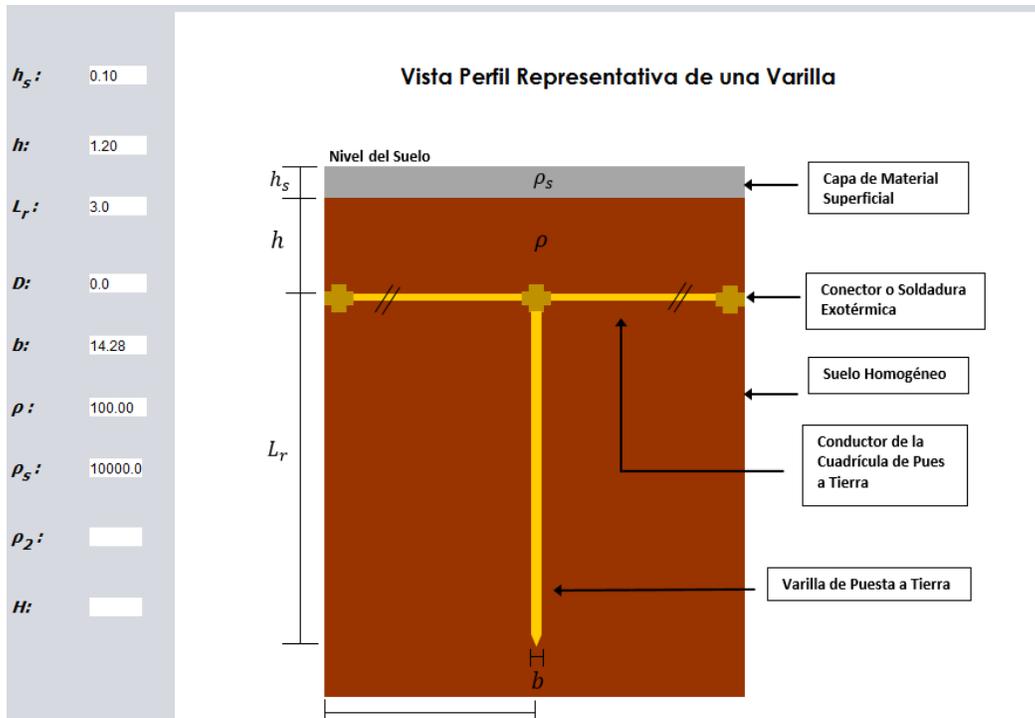


Figura 27: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra.

Como se puede observar en la imagen, se ha utilizado una varilla recubierta en cobre de 3 m con un diámetro de 14.28 mm, a una profundidad “h” de 1.20 m y recubierta por una capa de asfalto de 0.1 m.

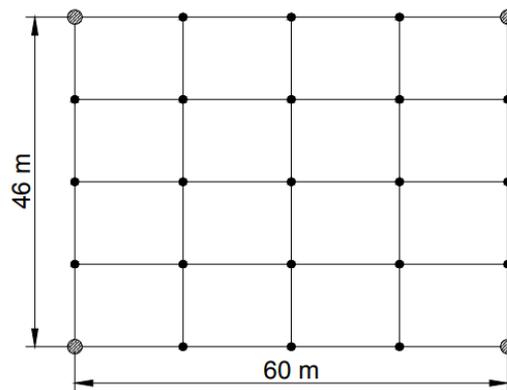


Figura 28: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de Acajutla.

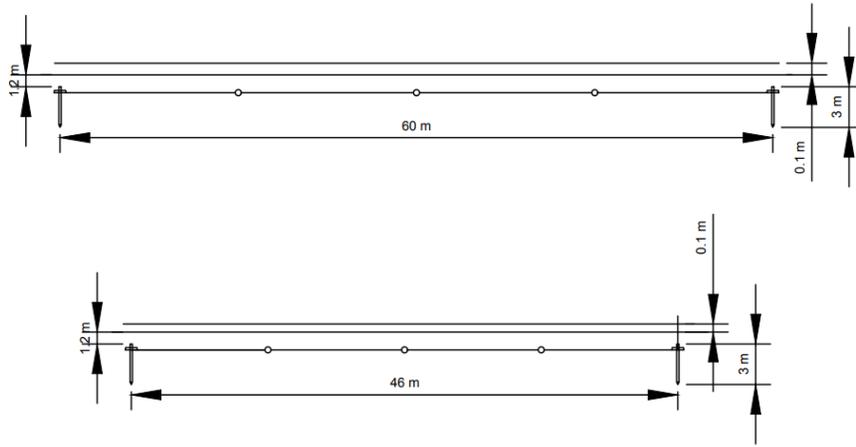


Figura 29: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de Acajutla.

En total se utilizarían 4 varillas de 3 m de largo por 14.28 mm de diámetro, a una profundidad de 1.20 m con una capa de asfalto de 0.1m, 600 m de cable de cobre 2/0 (dejando 70 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.



Figura 30: Soldadura exotérmica para red de tierra

Para el caso de SANTA TECLA:



Figura 31: Localización del área para estación de carga para EVs en Santa Tecla (37.5x36.5m)

Archivo Entorno de Aprendizaje Funciones de Ingeniería Ayuda			
Resistividad Aparente del Terreno Modelo del Terreno: <input checked="" type="radio"/> Una capa <input type="radio"/> Dos capas Ingresar la Resistividad: <input checked="" type="radio"/> Manualmente		Datos de Subestación Corriente de Falla Simétrica: 3000 A Duración de la Falla: 1 s Frecuencia: 60 Hz Relación X/R: Potencia: 0.25 MVA	
Geometría del Terreno Largo: 36.5 m Forma del terreno: Ancho: 37.5 m Rectangular		Datos de Varilla <input checked="" type="checkbox"/> ¿Con Varillas? Número de Varillas: 4 Longitud de Varilla: 3 m Radio de la Varilla: 7.14 mm	
Capa Superficial Resistividad: 10000.0 Ω.m Espesor de Capa Superficial: 0.1 m		Datos de Cuadrícula Profundidad: 1.2 m Filas: 4 Columnas: 4 Material de Conductor: Manual	
RESULTADOS ASPECTOS LEGALES Y DE SEGURIDAD		Factores de IG Cálculo de Sf: Manualmente Cálculo de Df: Manualmente Ejecutar Análisis Limpiar datos	
Capa Superficial Material: Asphalt Resistividad del Material: 10000.0 Ω.m Factor Reductivo de la Grava [Cs]: 0.69 Altura Capa Superficial [hs]: 0.1 m		Datos de Conductor Calibre: 1/0 Hilos: 7 Diámetro: 9.47 mm Longitud Total de Conductor: 370.00 m Espaciamiento entre Conductores: 9.12 m	
Resistividad del Terreno Modelo Utilizado: Una capa Resistividad de la Capa Superior: 100.00 Ω.m Resistividad de la Capa Inferior: - Ω.m Profundidad de la Capa Superior: - m		Puesta a Tierra Resistencia de Puesta a tierra: 1.45 Ω Voltajes Críticos Tolerables Voltaje de Malla [Em]: Voltaje Tolerable de Toque (Etouch): 788.45 V Voltaje de Toque [Es]: Voltaje Tolerable de paso (Estep): 682.79 V	
Geometría del Terreno y La Cuadrícula Área: 1368.75 m ² Forma del Terreno: Rectangular Configuración: S16		Datos de Varillas Longitud Total de Varillas: 12.00 m Número de Varillas: 4.00 Longitud de Varilla: 3.00	
Parámetros Críticos Factor de División de Corriente de Falla [Sf]: Factor de Decremento [Df]: Corriente Máxima de cuadrícula [IG]:		Vista de perfil Generar Reporte	

Figura 32: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.

Como se puede visualizar en la imagen, la resistencia de puesta a tierra que nos presenta el programa de computadora RPAT es de 1.45 Ω el cual es una excelente resistencia, ya que una resistencia de 2 Ω o menor se considera óptima para la implementación de una red de tierra para una subestación de 225 KVA, según lo indica la norma N° 20-E-2000 proporcionado por la SIGET, dicha tabla se puede visualizar en la parte de anexos como Tabla 5-6.

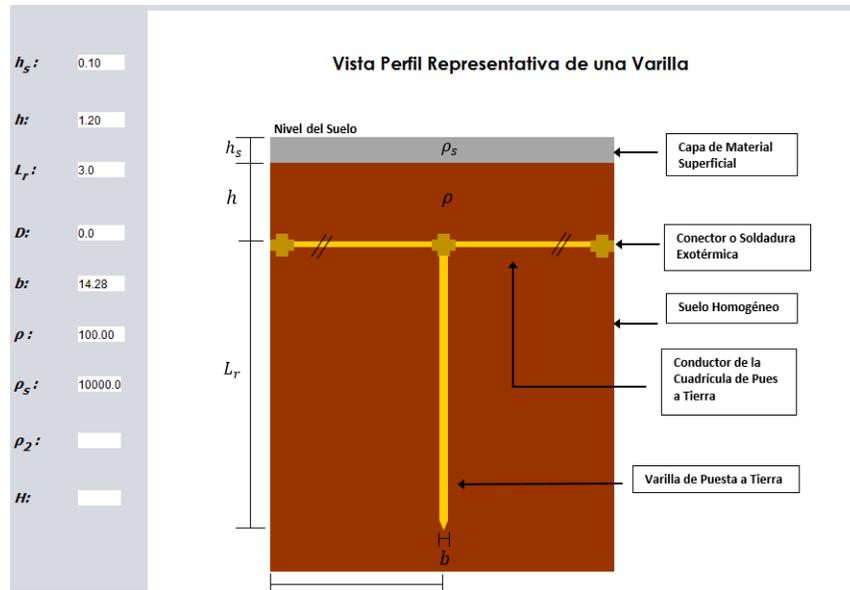


Figura 33: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra.

Igualmente, como el caso de Acajutla, se ha utilizado una varilla recubierta en cobre de 3 m con un diámetro de 14.28 mm, a una profundidad “h” de 1.20 m y recubierta por una capa de asfalto de 0.1 m.

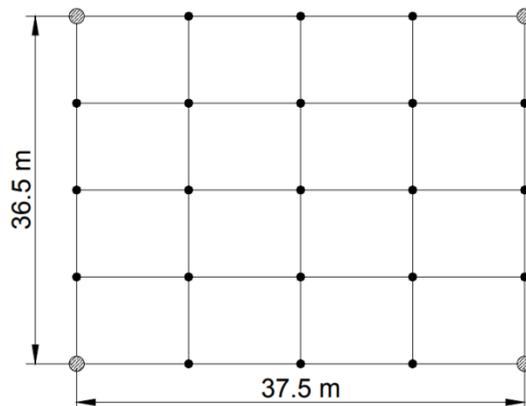


Figura 34: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de Santa Tecla.

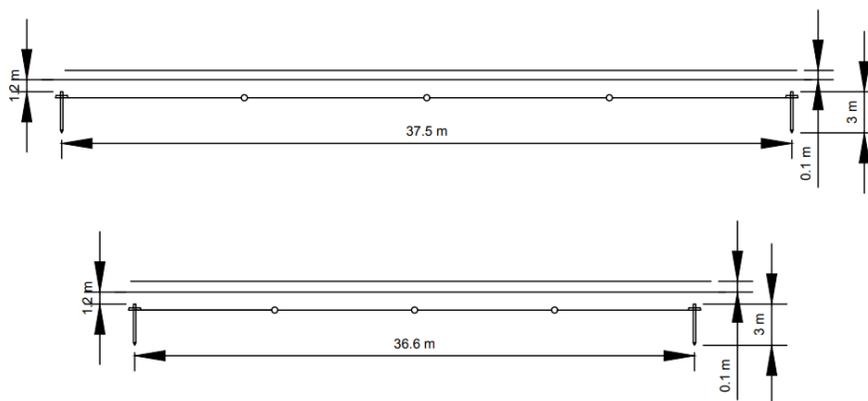


Figura 35: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de Santa Tecla.

En total se utilizarían 4 varillas de 3 m de largo por 14.28 mm de diámetro, a una profundidad de 1.20 m con una capa de asfalto de 0.1m, 400 m de cable de cobre 2/0 (dejando 30 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.

Para el caso de SAN SALVADOR:

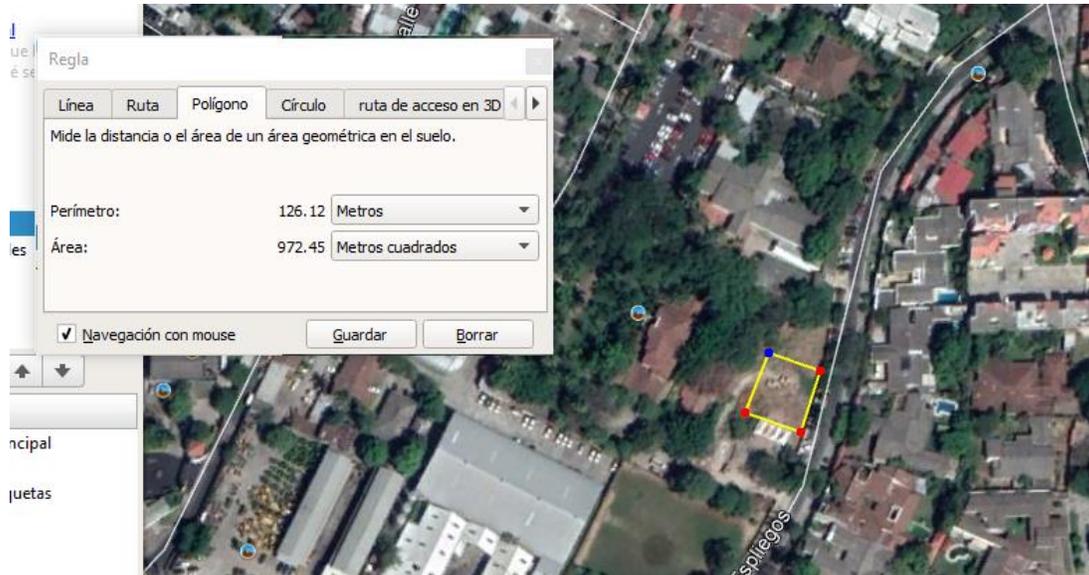


Figura 36: Localización del área para estación de carga para EVs en SAN SALVADOR (33.5x25.5m).

Resistividad Aparente del Terreno Modelo del Terreno: <input checked="" type="radio"/> Una capa <input type="radio"/> Dos capas Resistividad Capa Superior: 100 Ω .m Resistividad Capa Inferior: <input type="text"/> Ω .m Ingresar la Resistividad: <input checked="" type="radio"/> Manualmente Longitud Capa Superior: <input type="text"/> m	Datos de Subestación Corriente de Falla Simétrica: 3000 A Duración de la Falla: 1 s Frecuencia: 60 Hz Relación X/R: <input type="text"/> Potencia: 0.25 MVA	Datos de Varilla <input checked="" type="checkbox"/> ¿Con Varillas? Número de Varillas: 4 Longitud de Varilla: 3 m Radio de la Varilla: 7.14 mm	Datos de Cuadrícula Profundidad: 1.2 m Filas: 4 Columnas: 4 Material de Conductor: Manual Cobre recocido de suave consistencia
Geometría del Terreno Largo: 25.5 m Ancho: 33.5 m Forma del terreno: Rectangular	Capa Superficial Resistividad: 10000.0 Ω .m Espesor de Capa Superficial: 0.1 m	Factores de IG <input checked="" type="checkbox"/> ¿Tiene Capa? Calculo de St: Manualmente Calculo de Dt: Manualmente	<input type="button" value="Ejecutar Análisis"/> <input type="button" value="Limpiar datos"/>
Capa Superficial Material: Asphalt Resistividad del Material: 10000.0 Ω .m Factor Reductivo de la Grava (Cs): 0.69 Altura Capa Superficial (hs): 0.1 m	Resistividad del Terreno Modelo Utilizado: Una capa Resistividad de la Capa Superior: 100.00 Ω .m Resistividad de la Capa Inferior: Ω .m Profundidad de la Capa Superior: Ω .m	Datos de Conductor Calibre: 1/0 Hilos: 7 Diámetro: 9.47 mm Longitud Total de Conductor: 295.00 m Espaciamiento entre Conductores: 6.38 m	Puesta a Tierra Resistencia de Puesta a tierra: 1.82 Ω
Geometría del Terreno y La Cuadrícula Área: 854.25 m ² Forma del Terreno: Rectangular Configuración: S16	Parámetros Críticos Factor de División de Corriente de Falla (Sf): <input type="text"/> Factor de Decremento (Df): <input type="text"/> Corriente Máxima de cuadrícula (IG): <input type="text"/> A	Datos de Varillas Longitud Total de Varillas: 12.00 m Número de Varillas: 4.00 Longitud de Varilla: 3.00	Voltajes Críticos Tolerables Voltaje de Malla (Em): <input type="text"/> V Voltaje Tolerable de Toque (Etouch): 788.45 V Voltaje de Toque (Es): <input type="text"/> V Voltaje Tolerable de paso (Estep): 682.79 V <input type="button" value="Vista de perfil"/> <input type="button" value="Generar Reporte"/>

Figura 37: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.

Como se puede visualizar en la imagen, la resistencia de puesta a tierra que nos presenta el programa de computadora RPAT es de 1.82 Ω el cual es una excelente resistencia, ya que una resistencia de 2 Ω o menor se considera óptima para la implementación de una red de tierra para una subestación de 225 KVA, según lo indica la norma N° 20-E-2000

proporcionado por la SIGET, dicha tabla se puede visualizar en la parte de anexos como Tabla 5-6.

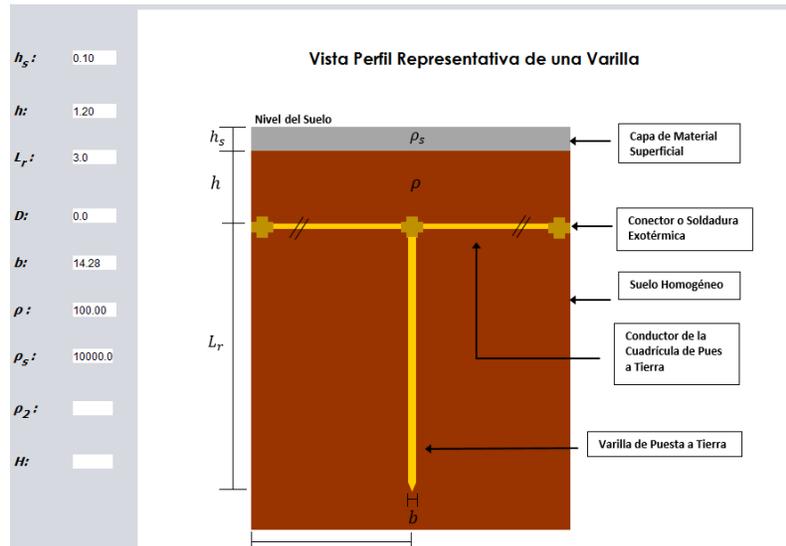


Figura 38: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra.

Igualmente, para el caso de San Salvador, se ha utilizado una varilla recubierta en cobre de 3 m con un diámetro de 14.28 mm, a una profundidad “h” de 1.20 m y recubierta por una capa de asfalto de 0.1 m.

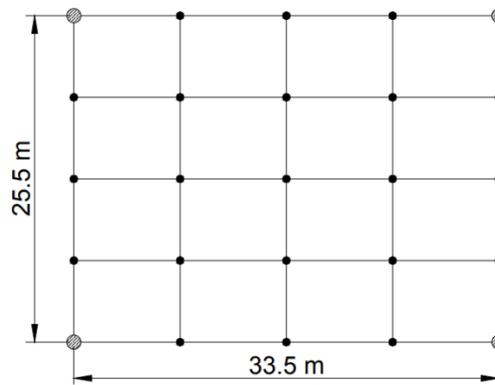


Figura 39: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de San Salvador.

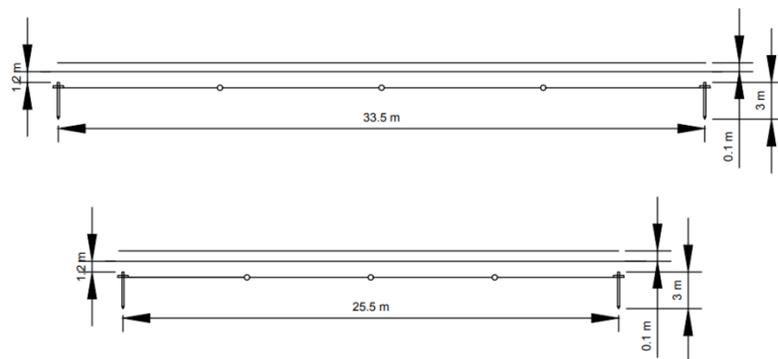


Figura 40: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de San Salvador.

Para el caso de San Salvador se utilizaría en total 4 varillas de 3 m de largo por 14.28 mm de diámetro, a una profundidad de 1.20 m con una capa de asfalto de 0.1m, 350 m de cable de cobre 2/0 (dejando 55 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.

Para el caso de San Miguel:

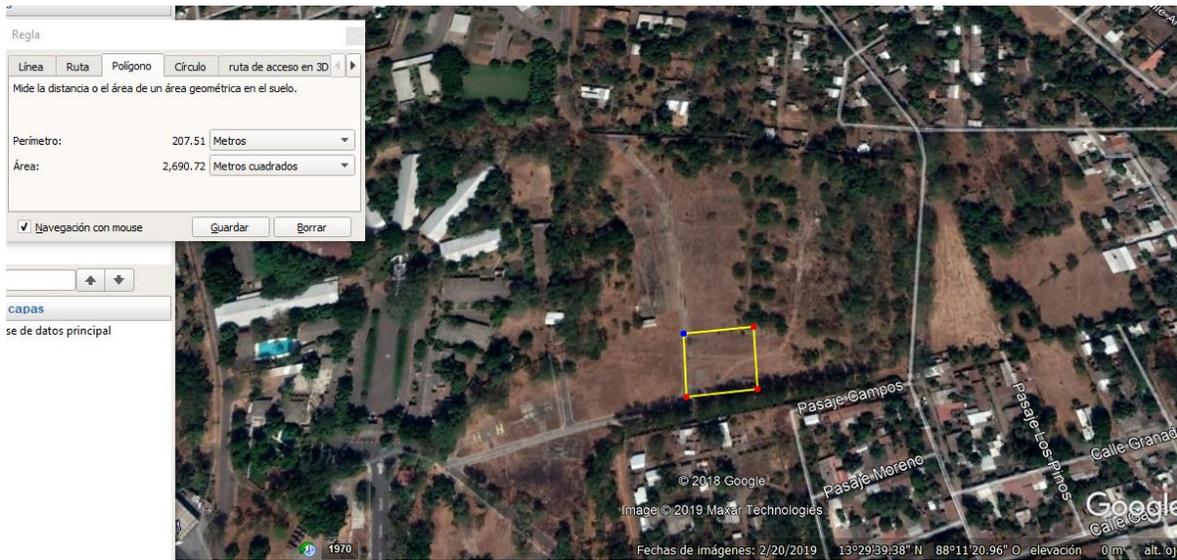


Figura 41: Localización del área para estación de carga para EVs en San Miguel (50x50m).

Resistividad Aparente del Terreno Modelo del Terreno: <input checked="" type="radio"/> Una capa <input type="radio"/> Dos capas Resistividad Capa Superior: 100 Ω m Resistividad Capa Inferior: Ω m Ingresar la Resistividad: <input checked="" type="radio"/> Manualmente Longitud Capa Superior: m	Datos de Subestación Corriente de Falla Simétrica: 3000 A Duración de la Falla: 1 s Frecuencia: 60 Hz Relación X/R: Potencia: 0.25 MVA	Datos de Varilla <input checked="" type="checkbox"/> ¿Con Varillas? Número de Varillas: 4 Longitud de Varilla: 3 m Radio de la Varilla: 7.14 mm	Datos de Cuadrícula Profundidad: 1.2 m Filas: 4 Columnas: 4 Material de Conductor: Manual Cobre recocido de suave consistencia
Geometría del Terreno Largo: 50 m Ancho: 50 m Forma del terreno: Rectangular	Capa Superficial Resistividad: 10000.0 Ω m Espesor de Capa Superficial: 0.1 m	Factores de IG ¿Tiene Capa? <input checked="" type="checkbox"/> Cálculo de Sf: Manualmente Cálculo de Df: Manualmente Ejecutar Análisis Limpiar datos	
RESULTADOS ASPECTOS LEGALES Y DE SEGURIDAD			
Capa Superficial Material: Asphalt Resistividad del Material: 10000.0 Ω m Factor Reductivo de la Grava [Cs]: 0.69 Altura Capa Superficial [hs]: 0.1 m	Resistividad del Terreno Modelo Utilizado: Una capa Resistividad de la Capa Superior: 100.00 Ω m Resistividad de la Capa Inferior: Ω m Profundidad de la Capa Superior: m	Datos de Conductor Calibre: 1/0 Hilos: 7 Diámetro: 9.47 mm Longitud Total de Conductor: 500.00 m Espaciamiento entre Conductores: 12.50 m	Puesta a Tierra Resistencia de Puesta a tierra: 1.09 Ω Voltajes Críticos Tolerables Voltaje de Malla [Em]: V Voltaje Tolerable de Toque (Etouch): 788.45 V Voltaje de Toque [Es]: V Voltaje Tolerable de paso (Estep): 682.79 V Vista de perfil Generar Reporte
Geometría del Terreno y La Cuadrícula Área: 2500.00 m ² Forma del Terreno: Rectangular Configuración: S16	Parámetros Críticos Factor de División de Corriente de Falla [Sf]: Factor de Decremento [Df]: Corriente Máxima de cuadrícula [IG]: A	Datos de Varillas Longitud Total de Varillas: 12.00 m Número de Varillas: 4.00 Longitud de Varilla: 3.00	

Figura 42: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.

Como se puede visualizar en la imagen, la resistencia de puesta a tierra que nos presenta el programa de computadora RPAT es de 1.09 Ω el cual es una excelente resistencia, ya que una resistencia de 2 Ω o menor se considera óptima para la implementación de una red de tierra para una subestación de 225 KVA, según lo indica la norma N° 20-E-2000

proporcionado por la SIGET, dicha tabla se puede visualizar en la parte de anexos como Tabla 5-6.

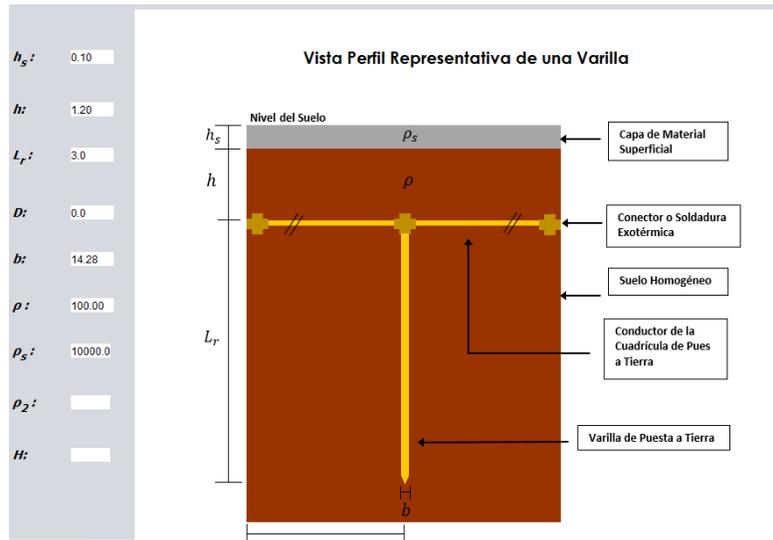


Figura 43: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra.

Para el caso de San Miguel, se ha utilizado una varilla recubierta en cobre de 3 m con un diámetro de 14.28 mm, a una profundidad “h” de 1.20 m y recubierta por una capa de asfalto de 0.1 m.

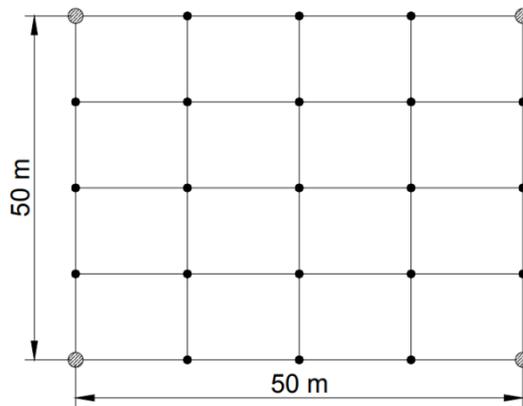


Figura 44: Malla para puesta a tierra para la estación de carga de San Miguel.

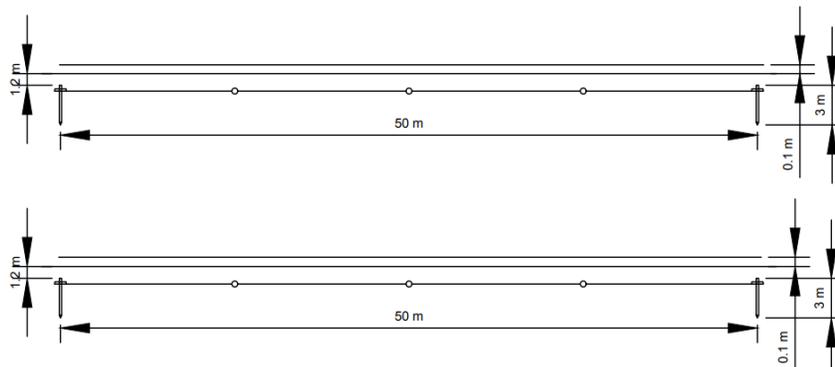


Figura 45: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga de San Miguel.

Para el caso de San Miguel se utilizaría en total 4 varillas de 3 m de largo por 14.28 mm de diámetro, a una profundidad de 1.20 m con una capa de asfalto de 0.1m, 550 m de cable de cobre 2/0 (dejando 50 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.

5.2 CALCULO DE PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN

Para poder hacer los cálculos de la subestación, se tiene que tener claro cuáles son las partes que la conforman, por lo cual es de detallar cuáles son las partes de la subestación de la estación de carga, las cuales son:

Subestación del punto de carga: Carga rápida

Potencia demandada promedio por punto de carga: 26.59 kW

Construcción de estaciones de carga con 8 puntos de carga: si se usan de forma simultánea (en el caso crítico) se consumiría 212.72 kW, por lo tanto, la subestación será de 225 KVA

Estrés a la red de media tensión (MT): Conectado a 23 kV

Se ha optado por un transformador de trifásico de 225 kVA en conexión delta/estrella, aparte de utilizar otro transformador trifásico seco de 25 KVA para la parte de luminarias y la tienda de conveniencia.

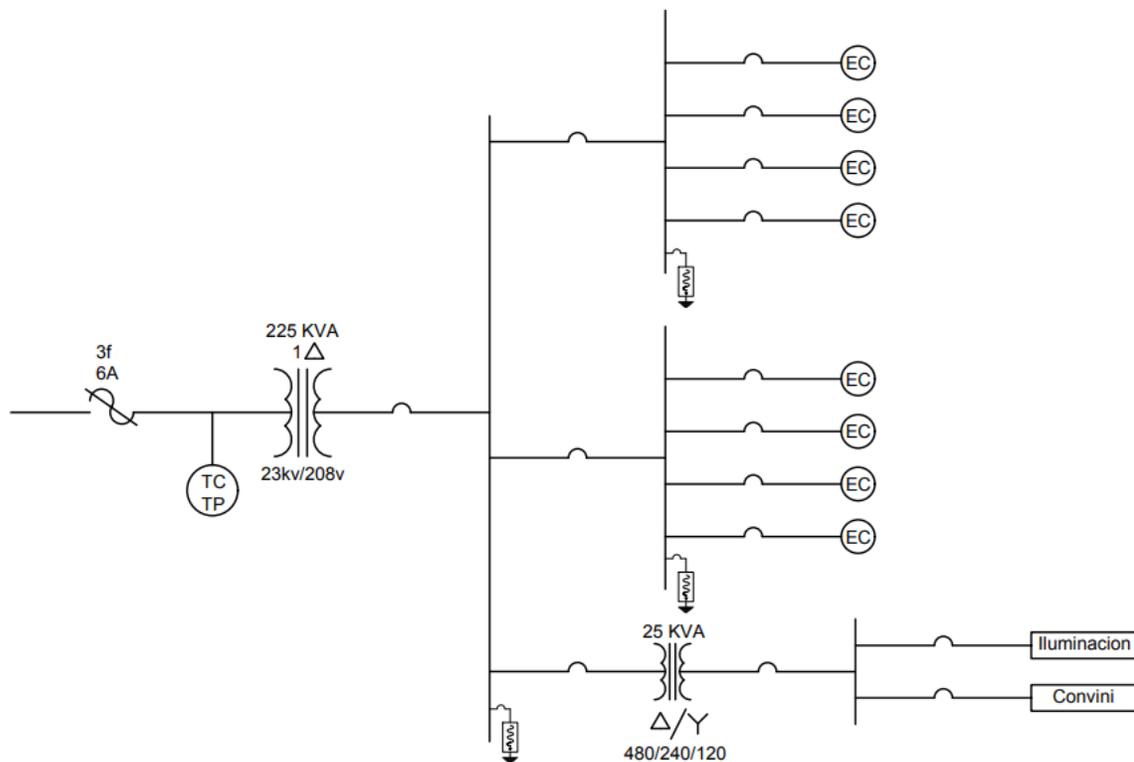


Figura 46: Diagrama unifilar de la subestación y las estaciones de carga.

Por ende, se tiene una estación transformadora de 225 kVA, la cual pueda alimentar las 8 estaciones de carga. Cada estación de carga tiene un consumo aproximado de 26.59 kVA.

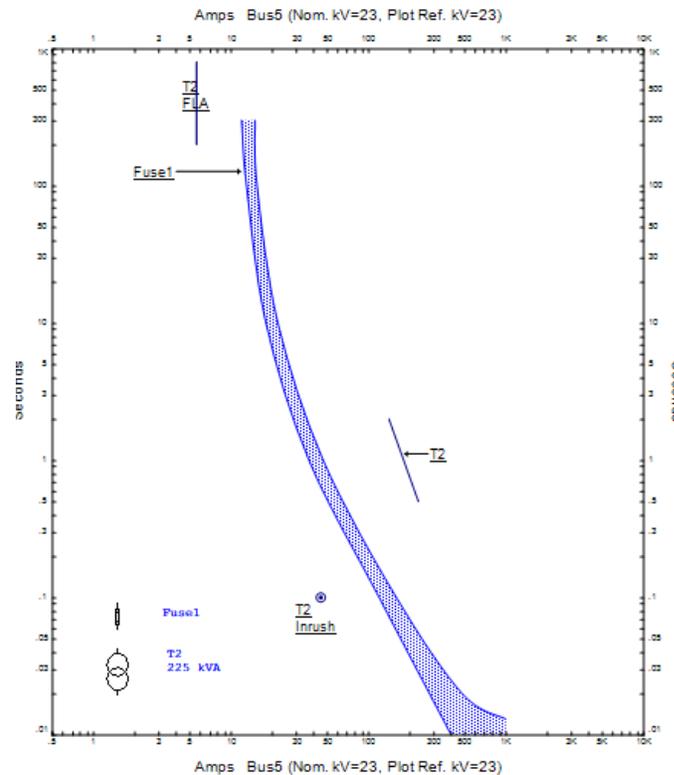
Se procederá a calcular las protecciones de la estación transformadora:

En el lado de media tensión (MT), al tener una potencia total disponible de 225 kVA se obtiene una corriente trifásica de:

$$I_f = \frac{225 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 23 \text{ kV}} = 5.65 \text{ A}$$

Al tener un criterio de protección de tal forma que el transformador no trabaje con sobrecarga, se utilizará un fusible de 6 A.

Para comprobar que el transformador no disparará la protección debido a una corriente de arranque, se procede a graficar el punto Inrush del transformador en la gráfica del fusible, de tal forma que queda como se muestra a continuación:



Gráfica 4: Fusible y transformador 225 kVA

Por lo tanto, por lo que se puede observar en la gráfica anterior, el poner un fusible de 6 amperios para la protección del transformador, no genera problemas con la corriente de arranque de éste. El fusible utilizado para la gráfica es un fusible tipo T de la marca Cooper.

En el lado de baja tensión (BT), el cual estará a una tensión de 480V, se obtiene una corriente de:

$$I_{CB11} = \frac{(225 \text{ kVA})}{\sqrt{3} \cdot 480} = 270.63 \text{ A}$$

Por lo tanto, se usará un interruptor termo magnético de 300A

Los cargadores han sido agrupados en dos tableros secundarios, donde de cada tablero derivan 4 cargadores, se ha tomado un supuesto de que al menos 3 de cada 4 cargadores estarán siendo utilizados de forma simultánea, con lo que se tiene un factor de simultaneidad (F_s) de 0.75. Por lo tanto, la corriente total que pasa por la protección del tablero es la siguiente:

$$I_{CB} = \frac{26.59 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 480 \text{ V}} * 4 * 0.75 = 95.95 \text{ A}$$

Por lo cual el cálculo para el interruptor termo-magnético queda de la siguiente manera:

$CB = 95.95 \text{ A} * 1.2 = 115.13$; Con lo cual se puede poner un interruptor termo-magnético de 125 amperios.

Para las protecciones de los cargadores se tiene que la corriente nominal que pasará en la protección es la siguiente;

$$I_{CB} = \frac{26.59 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 480} = 31.98 \text{ A}$$

Con éste valor se puede calcular la protección más adecuada para el cargador de la siguiente manera:

$$CB = 31.98 \text{ A} * 1.2 = 38.37 \approx 40 \text{ A}$$

Un dato a tener en cuenta para poner un termo-magnético de 40 A también es el hecho de que es el valor recomendado por el fabricante del cargado.

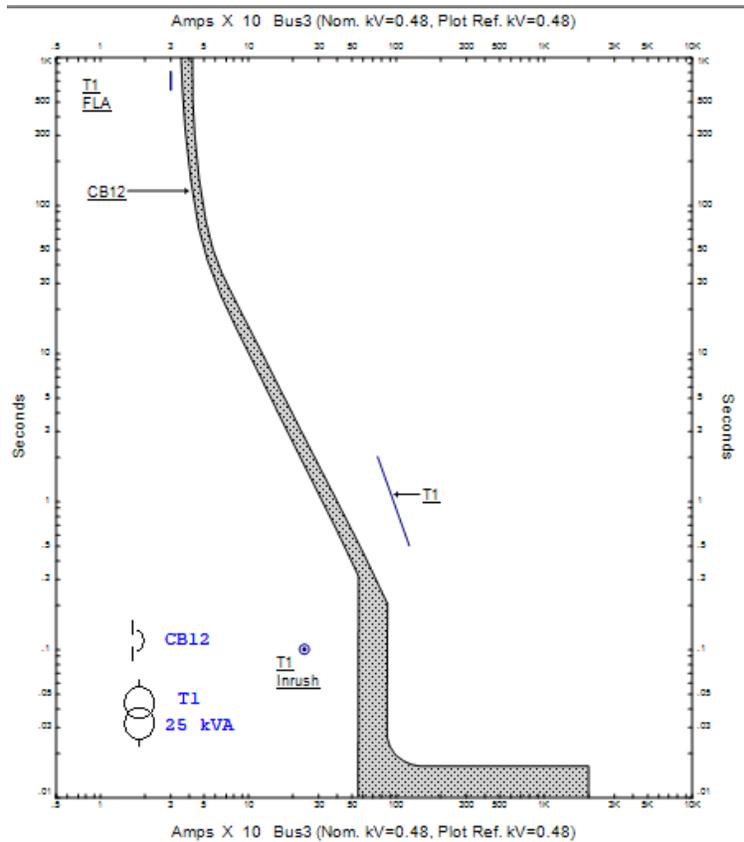
En el sistema eléctrico existe un segundo transformador trifásico, en este caso se trata de un transformador seco de 25 kVA, el cual transforma los 480 V, necesarios para los cargadores, a 120/240, el cual es un valor de utilidad tanto para el alumbrado, así como para las cargas de la tienda de conveniencia que se a adicionado al diseño de la electrolinera.

Para la protección del lado de 480 voltios, se obtiene del siguiente cálculo:

$$I_{CB12} = \frac{25 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 480} = 30.07 \approx 30 \text{ A}$$

Para evitar que el transformador trabaje en sobrecarga se dejará un interruptor termo-magnético de 30A

Para comprobar que el transformador no disparará la protección debido a una corriente de arranque, se procede a graficar el punto Inrush del transformador con la gráfica del interruptor termo-magnético, de tal forma que queda como se muestra a continuación:



Gráfica 5: Protección y transformador de 25 kVA

Por lo tanto, según se observa en la gráfica anterior, el poner un interruptor termomagnético de 30 A para la protección del transformador, no genera problemas con la corriente de arranque de éste, El interruptor modelado es un interruptor de la marca General Electric modelo TEY330, marca muy utilizada en el país.

Para el cálculo de la protección del transformador en el lado de 120/240, se tiene el siguiente cálculo de corriente:

$$I_{CB13} = \frac{25 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 240} = 60.14 \text{ A}$$

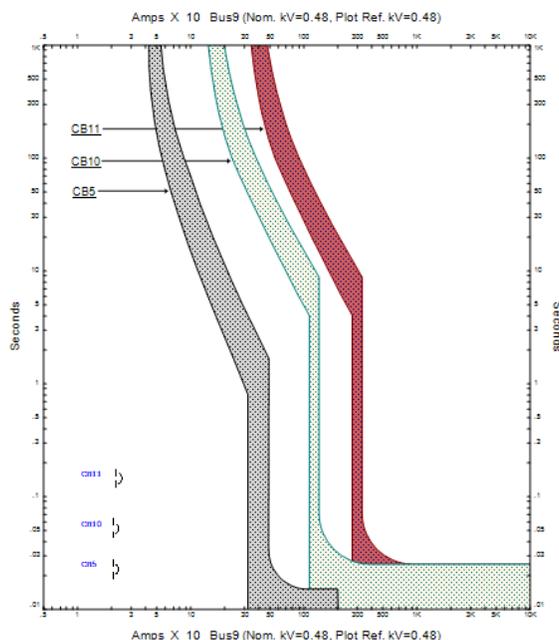
Por lo que se opta por poner un interruptor termomagnético de 60 A.

Por último, se tiene las protecciones de los inversores fotovoltaicos, para el cual el fabricante ya nos dice en la hoja de datos que la protección que debe ponerse tiene que ser de 20 A.

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Ahora que ya conocemos las protecciones a utilizar, se procede a simular su comportamiento en caso de una falla a tierra, para ello se contará con la ayuda del programa de computadora ETAP, para saber si entre ellas hacen una buena coordinación en

caso de existir alguna falla, para ello se eligieron interruptores termo-magnéticos de la marca GE. Las curvas obtenidas en la coordinación de los termo-magnético fue la siguiente:



Gráfica 6: Camino de protecciones desde el transformador 225 kVA hasta el cargado.

En la imagen se puede observar que, en caso de corto circuito en la carga, el comportamiento es que primero se abrirá el termo-magnético más cercano a la carga, seguido por la protección del tablero secundario y como tercer nivel de protección, en caso de que los dos termo-magnéticos anteriores fallasen, se abre la protección principal de la subestación del lado de baja. De modo que la secuencia de apertura de protecciones queda de la siguiente manera:

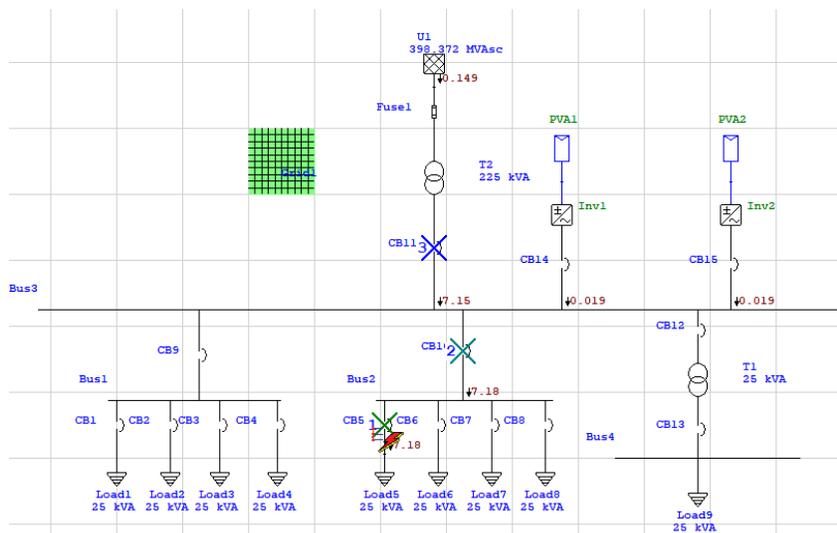


Figura 47: Coordinación de protecciones partiendo desde la entrada del cargador.

Otro punto a analizar, es el caso de que la falla se de en el tablero secundario, de donde derivan las cargas, en dicho caso , el orden de apertura de las protecciones asegura que la primera protección en abrir es la que viene del tablero principal, seguido por la protección principal del lado de baja de la subestación, y en caso de que éstas dos protecciones fallen, se quemará el fusible de 6 amperios que se encuentra en el alimentador de la subestación, de tal forma que el orden de apertura queda de la siguiente manera:

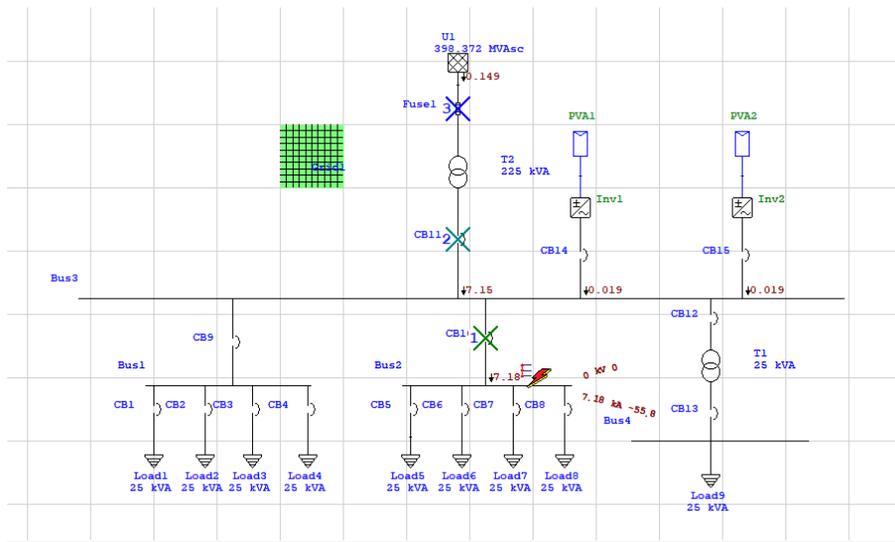


Figura 48: Coordinación de protecciones partiendo desde el subtablero.

En caso de que la falla se encuentre en el tablero principal, se tienen dos niveles de protección, que son las protecciones calculadas en base a la potencia de la etapa transformadora de la subestación, tanto en el lado de baja tensión, así como en el lado de media tensión. En base al orden de apertura, la primera protección en abrir es el interruptor termo-magnético de 300 amperios ubicado en el lado de baja tensión, y en caso de falla se daría apertura quemando el fusible de 6 amperios colocado en el alimentador de la subestación. El orden de apertura queda de la siguiente manera:

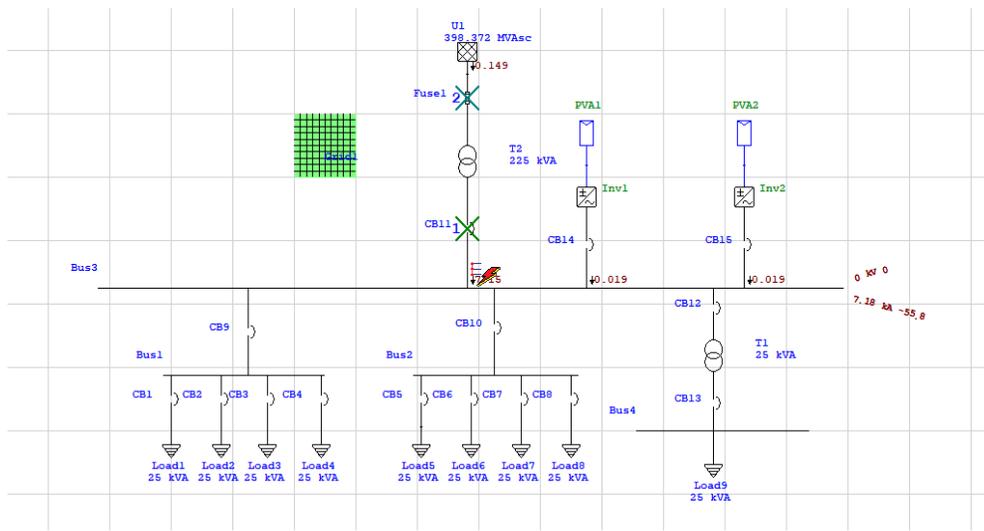


Figura 49: Coordinación de protecciones partiendo desde el tablero principal.

Las protecciones en la salida de cada inversor fueron calculadas en base a lo obtenido en la hoja de datos del inversor Fronius SYMO 10.0-3 a 480V, y se coordinó con las demás protecciones, de forma que en caso de que la falla se encuentre en dicha salida, el orden de actuación de las protecciones es el siguiente:

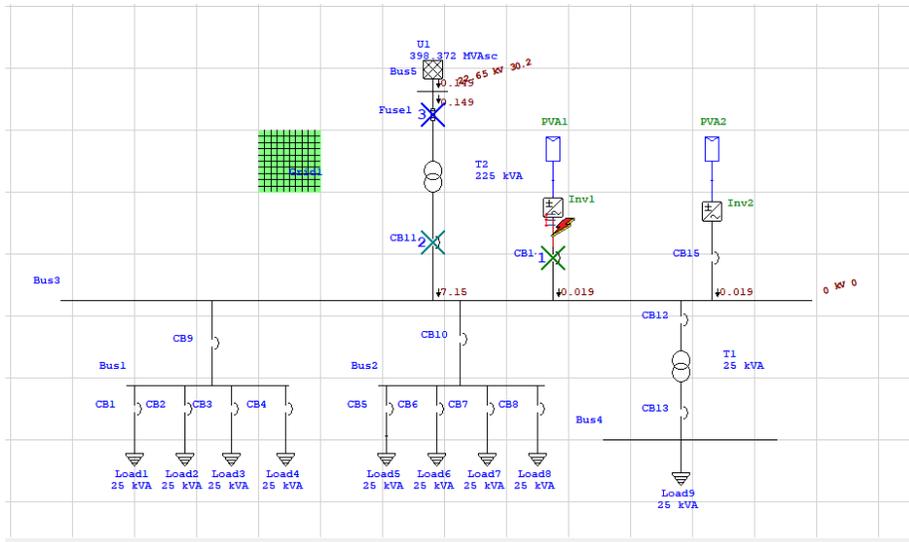


Figura 50: Coordinación de protecciones partiendo desde la salida del inversor

Como último punto a analizar para la coordinación de protecciones es en caso de que la falla se encuentre en el tablero principal a 240V, el cual es para las cargas de alumbrado, así como para alimentar la tienda de conveniencia que se pueda instalar en la electrolinera. Las protecciones calculadas para esta sección de la subestación están calculadas en base a la potencia del transformador seco, el cual es de 25 kVA, de modo que en caso de que se diese una falla en ese nivel del sistema, la coordinación quedaría de la siguiente manera:

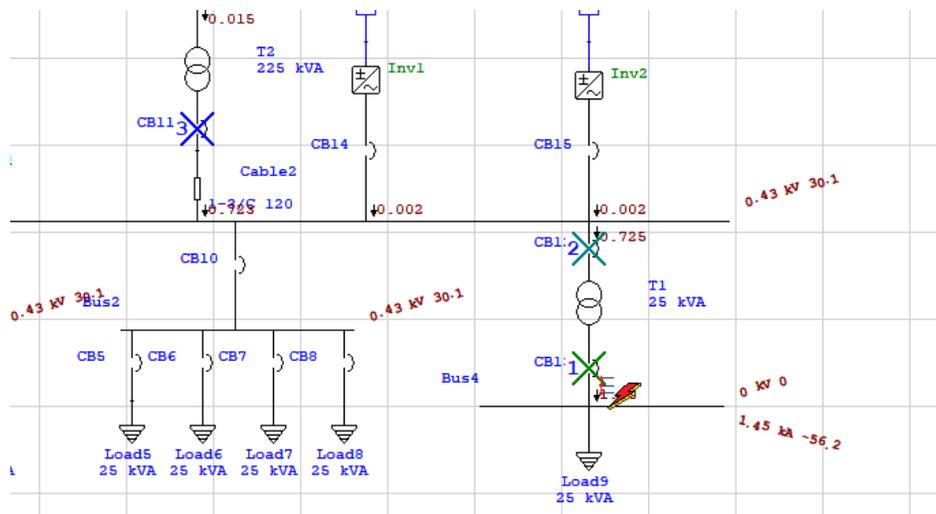


Figura 51: Coordinación de protecciones partiendo desde el tablero del transformador de 25 kVA

En el análisis de coordinación de protecciones no se ha tomado en cuenta las posibles fallas dadas en la parte del sistema que se encuentra en DC, debido a que, si se da una falla en ese

nivel, las protecciones a actuar son los fusibles de DC que se encuentran antes del inversor, y no generan una corriente de falla en el sistema de AC.

5.3 CALCULO DE ALAMBRADO DE LA SUBESTACIÓN

El alambrado de la subestación es un punto importante a tener en cuenta, y una mala elección de los tipos y calibres puede conllevar a que en el futuro existan accidentes por sobrecalentamiento de los conductores, o por fallas en el aislamiento al hacer una mala elección de tipo de conductor a utilizar.

Al ya tener las potencias que circulan a través del circuito, se procede a calcular las corrientes base para el alambrado, para lo cual se tendrá que cuenta un factor de corrección de temperatura según la tabla 310.16 del Código Eléctrico Nacional (NEC) versión 2008 en español, y también se elegirá en base a éste el calibre, la tabla es la siguiente:

Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F).

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500

FACTORES DE CORRECCIÓN

Temp. ambiente (° C)	Para temperaturas ambiente distintas de 30° C (86° F), multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						Temp. ambiente (° F)
21–25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70–77
26–30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	—	0.58	0.71	132–140
61–70	—	0.33	0.58	—	0.33	0.58	141–158
71–80	—	—	0.41	—	—	0.41	159–176

Tabla 5: “Tabla 310.16 del NEC 2008 versión español”

A pesar de que el cableado está mayoritariamente enterrado, se ha optado por darle un factor de corrección por temperatura para 36-40 °C, el cual es de 0.91 para cable THHN, ya que en El Salvador se han presentado temperaturas de hasta 40 °C en el pasado.

Otro factor a utilizar en el cálculo del cableado es un factor del 20% más debido a posibles sobrecargas en algún momento de la vida útil de la instalación.

Por lo tanto, la corriente para el cableado que circularía desde el transformador de 225 kVA hacia el tablero principal es la siguiente:

$$I_{T2-TA} = \frac{(225 \text{ kVA})}{\sqrt{3} \cdot 480} * \frac{1.2}{0.91} = 356.9 \text{ A}$$

Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 350 kcmil.

El tramo de cable que conecta el tablero principal con uno de los dos subtableros de los cargadores tiene que soportar una potencia de 106.36 kVA, por lo tanto, la corriente de base para elegir el cableado es la siguiente:

$$I_{TA-ST1} = \frac{(106.36 \text{ kVA})}{\sqrt{3} \cdot 480} * \frac{1.2}{0.91} = 168.7 \text{ A}$$

Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 1/0 AWG.

El tramo de cable que conecta a los cargadores con el tablero secundario tiene que soportar la corriente que circule hacia el cargador a plena carga, la cual es de 26.59 kVA, por lo tanto, la corriente de base para elegir el cableado es la siguiente:

$$I_{ST1-EC} = \frac{(26.59 \text{ kVA})}{\sqrt{3} \cdot 480} * \frac{1.2}{0.91} = 42.2 \text{ A}$$

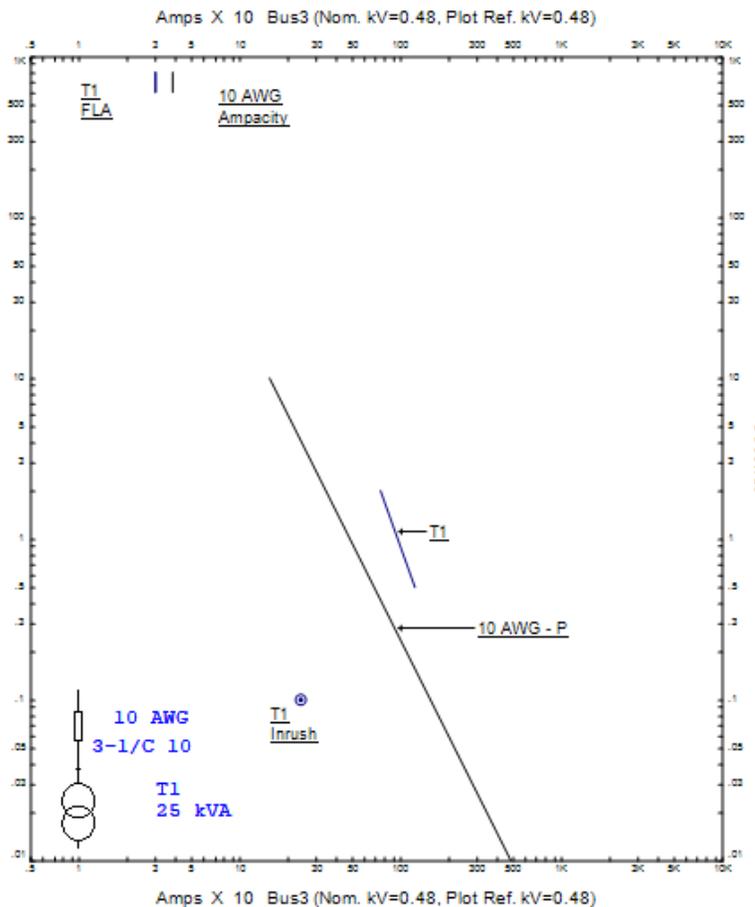
Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 8 AWG.

El tramo de cable que conecta el tablero principal con el transformador seco tiene que soportar los 25 kVA, por lo tanto, la corriente de base para elegir el cableado es la siguiente:

$$I_{TA-T1} = \frac{(25 \text{ kVA})}{\sqrt{3} \cdot 480} \cdot \frac{1.2}{0.91} = 39.6 \text{ A}$$

Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 10 AWG.

Aunque es de tener en cuenta que, en el momento de energización, el transformador tendrá una demanda mayor para poder crear su campo magnético, lo cual se puede apreciar en el punto Inrush, por lo tanto, es de graficar la resistencia del cable con respecto a esa demanda momentánea, lo cual se hace por medio de ETAP y queda de la siguiente manera:



Gráfica 7: Curva de daño del cable y punto Inrush del transformador

De la gráfica anterior se pueden obtener dos datos de importancia, el primero es el hecho de que la ampacidad del cable es superior a la corriente nominal del transformador, y lo segundo es que la corriente de magnetización del transformador está por debajo de la curva de daño del cable.

El tramo de cable que conecta el transformador seco con su respectivo tablero tiene que soportar los 25 kVA, pero esta vez a 208V, por lo tanto, la corriente de base para elegir el cableado es la siguiente:

$$I_{T1-TB} = \frac{(25kVA)}{\sqrt{3} \cdot 208} * \frac{1.2}{0.91} = 79.3 A$$

Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 4 AWG.

Por último, se calcula el cable que conecta los inversores con el tablero principal. Para ello se tiene en consideración la información que presenta la hora de datos del inversor, el cual nos dice que la corriente máxima en operación es de 12 A, de modo que el cálculo queda de la siguiente manera:

$$I_{inv} = \frac{16 \cdot 1.2}{0.91} = 15.82 A$$

Por lo que un calibre de cable adecuado para este tramo según la tabla es 12 AWG.

Otro cable a calcular es el cableado de tierra del sistema, para ello se utilizarán los valores recomendados por el NEC 2008 en la tabla 250.122, la cual es la siguiente:

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

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0

Tabla 6: "Tabla 250.122 del NEC 2008 versión español"

De la cual podemos obtener que:

El cable de tierra para el transformador tiene que ser calibre 4 AWG.

El cable desde el tablero principal hacia los tableros TS1 y TS2 tiene que ser 6 AWG.

El Cable que se conecta desde TS1 o TS2 a los cargadores tiene que ser 10 AWG

El cable que conecta al tablero principal con el chasis de T1, así como de T1 a su respectivo tablero es de 10 AWG.

El cable que conecta al tablero principal con los inversores es de 14 AWG.

En base a lo anterior y el cableado conductor de potencia se tiene el cableado total de la instalación, por lo que se procede a seleccionar la tubería del mismo.

La tubería que conecta al transformador de 225 kVA hacia el tablero principal, así como la tubería que conectará el transformador seco con el tablero de la tienda de conveniencia irá enterrada, por lo que estará expuesta a una mayor cantidad de humedad que las demás canalizaciones de la instalación, para ello la selección del calibre de la tubería PVC se dará como referencia la tabla C.10, y de ella se tomará la sección para un tipo de cable THHN, el cual ha sido seleccionado para la instalación, por lo que la tabla es la siguiente:

Tabla C.10 Número máximo de conductores o alambres para accesorios en conduit rígido de PVC, Schedule 40 y en conduit HDPE (con base en la Tabla 1, Capítulo 9)

CONDUCTORES													
Tipo	Calibre del conductor (AWG/kcmil)	Indicador métrico (tamaño comercial)											
		16 (%)	21 (%)	27 (1)	35 (1 ¼)	41 (1 ½)	53 (2)	63 (2 ½)	78 (3)	91 (3 ½)	103 (4)	129 (5)	155 (6)
THHN,	14	11	21	34	60	82	135	193	299	401	517	815	1178
THWN,	12	8	15	25	43	59	99	141	218	293	377	594	859
THWN-2	10	5	9	15	27	37	62	89	137	184	238	374	541
	8	3	5	9	16	21	36	51	79	106	137	216	312
	6	1	4	6	11	15	26	37	57	77	99	156	225
	4	1	2	4	7	9	16	22	35	47	61	96	138
	3	1	1	3	6	8	13	19	30	40	51	81	117
	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	43	68	98
	1	1	1	1	3	5	8	12	18	25	32	50	73
	1/0	1	1	1	3	4	7	10	15	21	27	42	61
	2/0	0	1	1	2	3	6	8	13	17	22	35	51
	3/0	0	1	1	1	3	5	7	11	14	18	29	42
	4/0	0	1	1	1	2	4	6	9	12	15	24	35
	250	0	0	1	1	1	3	4	7	10	12	20	28
	300	0	0	1	1	1	3	4	6	8	11	17	24
	350	0	0	1	1	1	2	3	5	7	9	15	21
	400	0	0	0	1	1	1	3	5	6	8	13	19
	500	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7	11	16
	600	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5	9	13
	700	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5	8	11
	750	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	7	11
	800	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	7	10
	900	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	6	9
	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	6	8

Tabla 7: "Tabla C.10 perteneciente al anexo C del NEC 2008 versión español"

Por lo tanto, para el tramo de cableado que conduce desde el transformador de 225 kVA, al ser 3 conductores THHN calibre 350 MCM, la tabla nos recomienda un diámetro de 2.5 pulgadas, por lo que se optará por tubería de 3 pulgadas, la selección de un diámetro superior al recomendado por la tabla se debe al hecho de que la tabla nos brinda un valor calculado con respecto a los diámetros de los cables, pero en la práctica esos diámetros hacen una instalación difícil de ejecutar.

De igual manera para la canalización que conecta al transformador seco con el tablero de la tienda de conveniencia estará albergando 3 cables calibre 4 AWG más 1 cable calibre 10

AWG para conexión a tierra, por lo tanto, la canalización tiene que ser de 1 ¼ de pulgada como mínimo.

Para las demás canalizaciones se utilizará tubería eléctrica metálica (EMT) ya que estará expuesta al aire libre y es propensa a golpes externos, por lo tanto, se utilizará como referencia la tabla C.1 del anexo C del NEC 2008, y de ella se tomará la sección para cable THHN, la cual es la siguiente:

Tabla C.1 Número máximo de conductores o alambres para accesorios en tubería eléctrica metálica (EMT) (con base en la Tabla 1 del Capítulo 9)

CONDUCTORES											
Tipo	Calibre del conductor (AWG/kcmil)	Indicador métrico (tamaño comercial)									
		16 (½)	21 (¾)	27 (1)	35 (1 ¼)	41 (1 ½)	53 (2)	63 (2 ½)	78 (3)	91 (3 ½)	103 (4)
THHN,	14	12	22	35	61	84	138	241	364	476	608
	12	9	16	26	45	61	101	176	266	347	443
THWN,	10	5	10	16	28	38	63	111	167	219	279
	8	3	6	9	16	22	36	64	96	126	161
THWN-2	6	2	4	7	12	16	26	46	69	91	116
	4	1	2	4	7	10	16	28	43	56	71
	3	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
	2	1	1	3	5	7	11	20	30	40	51
	1	1	1	1	4	5	8	15	22	29	37
	1/0	1	1	1	3	4	7	12	19	25	32
	2/0	0	1	1	2	3	6	10	16	20	26
	3/0	0	1	1	1	3	5	8	13	17	22
	4/0	0	1	1	1	2	4	7	11	14	18
	250	0	0	1	1	1	3	6	9	11	15
	300	0	0	1	1	1	3	5	7	10	13
	350	0	0	1	1	1	2	4	6	9	11
	400	0	0	0	1	1	1	4	6	8	10
	500	0	0	0	1	1	1	3	5	6	8
	600	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	700	0	0	0	1	1	1	2	3	4	6
	750	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5
	800	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5
	900	0	0	0	0	1	1	1	3	3	4
	1000	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4

Tabla 8: "Tabla C.1 perteneciente al anexo C del NEC 2008 versión español"

Por lo tanto, la canalización que conecta al tablero principal con los tableros TS1 y TS2, al contar con 3 cables 1/0 AWG más 1 cable 6 AWG como tierra se tiene que la canalización tiene que ser de 2 pulgadas de diámetro.

La canalización que conecta a uno de los tableros secundarios con una de las estaciones de carga estará albergando a 3 cables 8 AWG más 1 cable 10 AWG como tierra, por lo que la canalización tiene que ser de 1 pulgada como mínimo.

La canalización que conecta al tablero principal con el transformador seco, estará albergando 4 cables calibre 10 AWG, así como la canalización que conectará al tablero principal con los inversores, la cual albergará 4 cables calibre 12 AWG, por lo tanto, la canalización tiene que ser de ¾ de pulgada como mínimo.

Por lo tanto, los tramos quedan de la siguiente manera:

Tramo desde T2 hasta TA:

3 THHN 350 MCM + 1 THHN 4 AWG en tubería PVC de 3''

Tramo desde T1 hasta TS3:

3 THHN 4 AWG + 1 THHN 10 AWG en tubería PVC de 1 ¼’’
 Tramo desde TA hasta TS1 y TS2:
 3 THHN 1/0 AWG + 1 THHN 6 AWG en tubería EMT de 2’’
 Tramo desde TS1 o TS2 hasta ECx:
 3 THHN 8 AWG + 1 THHN 10 AWG en tubería EMT de 1’’
 Tramo desde TA hasta T1:
 4 THHN 10 AWG en tubería EMT de 3/4’’
 Tramo desde TA hasta Invx:
 3 THHN 12 AWG + 1 THHN 14 AWG en tubería EMT de ¾’’

5.4 CALCULOS DE CAÍDAS DE TENSIÓN EN EL SISTEMA:

Un problema a tener en cuenta en un diseño donde circulan potencias moderadas o grandes, es las caídas de tensión que se pueden tener a lo largo del sistema debido a las resistencias del cableado, si las caídas son muy grandes, pueden generar un mal funcionamiento de los equipos o el daño de los mismos, por lo tanto, es de mucha importancia calcular las tensiones que se tendrán en el sistema al estar operando a plena carga.

Al tener todos los datos del cableado, lo que son el calibre del conductor, el tipo de canalización y sus dimensiones y las distancias promedio, se puede proceder a incluir estos detalles en la simulación de ETAP, y de esta forma haciendo un análisis de flujo de carga, se pueden obtener las tensiones en cada parte del circuito, y de esta forma poder calcular las caídas de tensiones en el mismo.

Se busca que las tensiones no estén fuera de un rango de $\pm 3\%$ del valor nominal del sistema, para que de esta manera no se tengan problemas de baja tensión en los equipos. Al hacer el análisis de flujo se obtienen los siguientes datos:

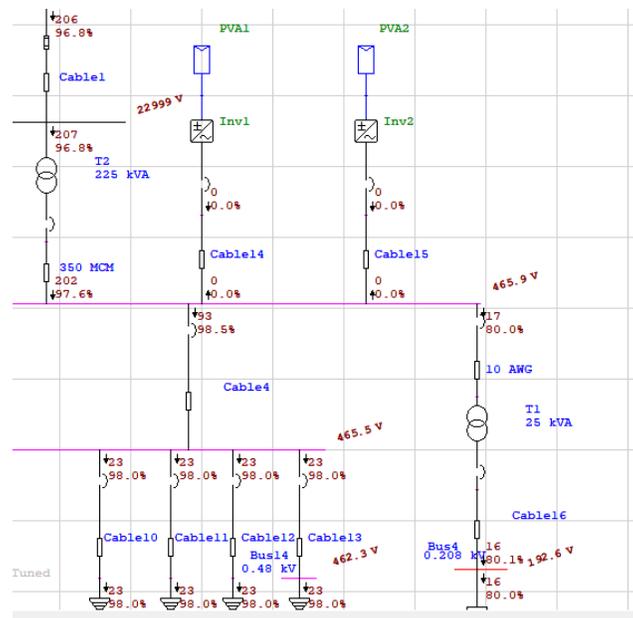


Figura 52: Análisis de flujo de carga del circuito mostrando las tensiones a plena carga.

Donde se puede ver que la tensión más baja en el sistema de 480V nominal es de 462.3V, que al sacar el porcentaje de caída de tensión se obtiene lo siguiente:

$$\Delta V_{480} = \frac{(460.4 \text{ V} - 480 \text{ V})}{480 \text{ V}} \times 100\% = -3.69\%$$

Y la tensión más baja en el sistema de 208V nominal es de 192.6 V que al sacar el porcentaje de caída de tensión se obtiene lo siguiente:

$$\Delta V_{208} = \frac{(192.6 \text{ V} - 208 \text{ V})}{208 \text{ V}} \times 100\% = -7.4\%$$

Por lo que se tiene una mayor caída que lo establecido para su funcionamiento, y al ser un efecto cascada entre el transformador de 480 V y el de 208 V, éste último tiene una caída de tensión aun mayor que la permitida por SIGET en el artículo 23, donde establece un $\pm 7\%$ en los niveles de tensión permitidos, y aunque dicho artículo hace referencia a los niveles permitidos en el punto de suministro, es una buena referencia para los valores de tensión internos en la instalación.

Por lo tanto, para corregir los niveles de tensión en el sistema se hará una corrección por medio del TAP del transformador. Los TAP de los transformadores serán colocados en la posición 2.5 para el transformador de 480 V y en la posición 5 en el transformador de 208 V, con lo cual se tiene un resultado como se muestra a continuación:

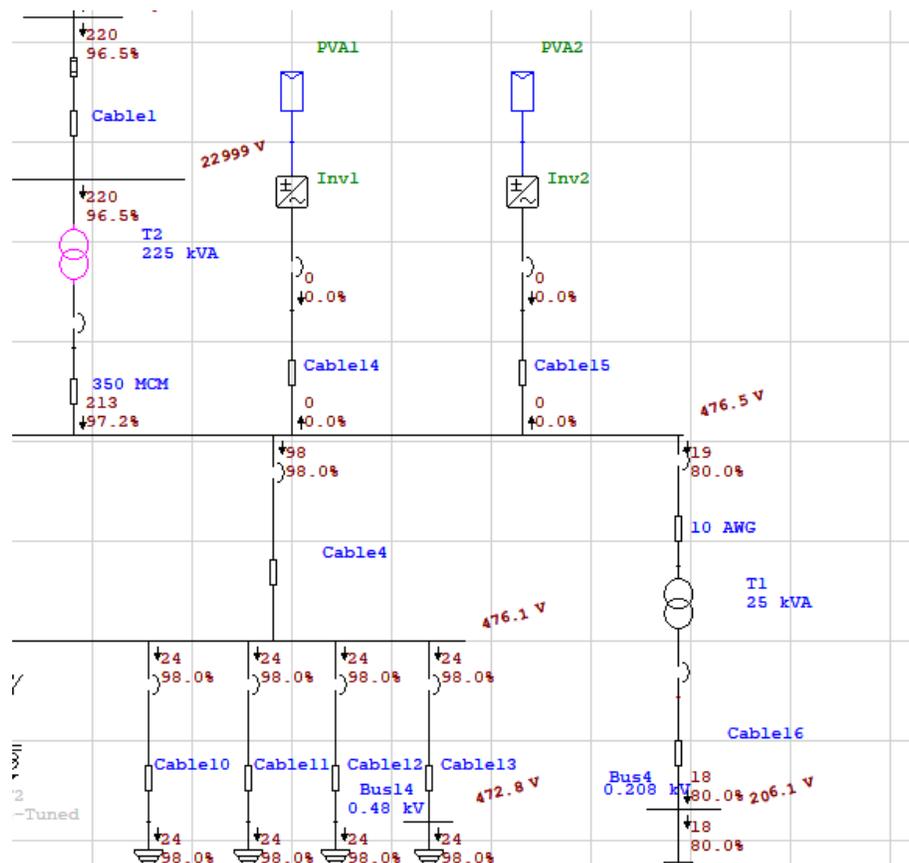


Figura 53: Análisis de flujo de carga del circuito mostrando las tensiones a plena carga con corrección del TAP

Donde se puede ver que la tensión más baja en el sistema de 480V nominal es de 472.8V, que al sacar el porcentaje de caída de tensión se obtiene lo siguiente:

$$\Delta V_{480} = \frac{(472.8V - 480V)}{480V} \times 100\% = -1.47\%$$

Y la tensión más baja en el sistema de 208V nominal es de 201.6 V que al sacar el porcentaje de caída de tensión se obtiene lo siguiente:

$$\Delta V_{208} = \frac{(206.1V - 208V)}{208V} \times 100\% = -0.91\%$$

Con lo cual estaría dentro del rango establecido.

A continuación, procedemos a realizar el cálculo y diseño de las estaciones de cargas, número de módulos fotovoltaicos a utilizar, así como el número de inversores:

Áreas disponibles para los puntos geolocalizados:

Acajutla: $46 \times 60 = 2,760 \text{ m}^2$

Santa Tecla: $36.5 \times 37.5 = 1,368.75 \text{ m}^2$

San Salvador: $25.5 \times 33.5 = 854.25 \text{ m}^2$

San Miguel: $50 \times 50 = 2,500 \text{ m}^2$

5.5 DISEÑO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA:

Ahora procedemos al diseño de las estaciones de carga con sus respectivos paneles solares e inversores:

Datos generales del inversor FRONIUS SYMO 10.0-3 480:

Número de MPPT	2,0
Potencia FV recomendada (kWp)	8,0 - 13,0 kWp
Máxima corriente de entrada utilizable	25,0 / 16,5 A
Total de corriente de entrada utilizable máxima (MPPT 1 + MPPT 2)	41,5 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV ($1.5 \cdot I_{max}$)	37,5 / 24,8 A
Rango de voltaje operacional	200 - 1000 V
Rango de voltaje MPP	300 - 800 V
Voltaje de entrada máximo	1000,0 V
Sujetadores de fusible de cadena DC integrados	NA

Tabla 9: datos del inversor

Datos generales del panel fotovoltaico SUNPOWER SPR-MAX3-400:

Electrical Data			Operating Condition And Mechanical Data	
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370	
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W	Temperature
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%	-40° C to +85° C
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%	Impact Resistance
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V	25 mm diameter hail at 23 m/s
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A	Solar Cells
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A	Tempered Glass
Max. System Voltage		1000 V IEC		High-transmission tempered anti-reflective
Maximum Series Fuse		15 A		Junction Box
Power Temp Coef.		-0.29% / °C		IP-65, Staubli (MC4), 3 bypass diodes
Voltage Temp Coef.		-176.8 mV / °C		Weight
Current Temp Coef.		2.9 mA / °C		19 kg
				Design Load
				Wind: 2660 Pa, 274 kg/m ² front & back Snow: 4000 Pa, 408 kg/m ² front
				Max. Load ¹⁰
				Wind: 4000 Pa, 408 kg/m ² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m ² front
				Frame
				Class 1 black anodized (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730 Class 1 fire rated per UNI 9177
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV ⁹

Figura 54: Extracto de la hora de datos del panel fotovoltaico

Datos importantes a utilizar del panel fotovoltaico:

$$P = 400\text{wp}, I_{sc} = 6.58\text{A}, I_{mp} = 6.08\text{A}, V_{oc} = 75.6\text{V}, V_{mp} = 65.8\text{V}$$

Datos importantes a utilizar del inversor:

$$P = 8 - 13\text{kwp}, I_{ent} = 25\text{A}, V_{op} = 200 - 1000\text{V}, V_{mpp} = 300 - 800\text{V}$$

$$V_{max} = 1000\text{V}$$

$$CT_p = -0.29\%/^{\circ}\text{c}$$

$$CT_{voc} = -0.1768\text{v}/^{\circ}\text{c}$$

$$CT_{isc} = 0.0029\text{A}/^{\circ}\text{c}$$

$$CT_{vmp} = -0.29\%/^{\circ}\text{c}$$

$$\Delta'T_{vocmax} = CT_{voc} * (75 - 25) = -0.1768 \text{ v}/^{\circ}\text{c} * (75 - 25) = -8.84\text{v}$$

$$\Delta'T_{vocmin} = CT_{voc} * (15 - 25) = -0.1768 \text{ v}/^{\circ}\text{c} * (15 - 25) = 1.768\text{v}$$

$$\Delta'T_{vmpmax} = \frac{CT_{vmp}}{100\%} * V_{mp}(75 - 25) = -\frac{0.29\%}{100\%} * 65.8(75 - 25) = -9.541\text{v}$$

$$\Delta'T_{vmpmin} = \frac{CT_{vmp}}{100\%} * V_{mp}(15 - 25) = -\frac{0.29\%}{100\%} * 65.8(15 - 25) = 1.908\text{v}$$

$$\Delta'T_{iscmax} = CT_{isc} * (75 - 25) = 0.0029 \text{ A}/^{\circ}\text{c} * (75 - 25) = 0.145\text{A}$$

$$\Delta'Tiscmin = CTisc * (15 - 25) = 0.0029 A/^{\circ}C * (15 - 25) = -0.029A$$

$$\Delta'Tvocmax = \Delta'Tvocmax + Voc = -8.84v + 75.6v = 66.76 Vocmin$$

$$\Delta'Tvovmin = \Delta'Tvocmin + Voc = 1.768v + 75.6v = 77.368 Vocmax$$

$$\Delta'Tvmpmax = \Delta'Tvmpmax + Vmp = -9.541v + 65.8v = 56.259 Vmpmin$$

$$\Delta'Tvmpmin = \Delta'Tvmpmin + Vmp = 1.908v + 65.8v = 67.708 Vmpmax$$

$$\Delta'Tiscmax = \Delta'Tiscmax + Isc = 0.145A + 6.58A = 6.725 Iscmax$$

$$\Delta'Tiscmin = \Delta'Tiscmin + Isc = -0.029A + 6.58A = 6.551 Iscmin$$

$$\# \text{ max de MFV} = \frac{Vmaxoperaci3n}{Vocmax} = \frac{1000v}{77.368v} = 12.925 \approx 12 \text{ MFV}$$

$$\# \text{ min de MFV} = \frac{Vstart}{Vocmin} = \frac{200v}{66.76v} = 2.995 \approx 3 \text{ MFV}$$

$$Mpptmax = \frac{Mpptmax}{Vmpptmax} = \frac{800v}{67.708v} = 11.815 \approx 11 \text{ MFV}$$

$$Mpptmin = \frac{Mpptmin}{Vmpptmin} = \frac{300v}{56.259v} = 5.332 \approx 6 \text{ MFV}$$

Como se puede observar el rango de m3dulos fotovoltaicos que puede tener cada STRING son:

$$\Delta MFV = 6 - 12 \text{ MFV/string}$$

Ahora procedemos a calcular el n3mero de m3dulos fotovoltaicos por inversor:

$$\# \frac{\text{inversor}}{MFV} = \frac{13kwp}{400wp} = 32.5 \approx 32 \text{ MFV}$$

Teniendo dos entradas de MPPT por inversor y coloc3ndole 2 STRING por entrada del inversor, tenemos:

$$\frac{32MFV}{2Mppt} = 16 \text{ MFV} / Mppt \div 2 \text{ STRING} = \mathbf{8 \text{ MFV/STRING}}$$

Como se puede observar, el n3mero m3ximo de m3dulos fotovoltaicos que puede tener cada STRING son de 8 paneles.

Con estos datos y valores procedemos a realizar el dise1o de las estaciones de carga para cada uno de los puntos:

ACAJUTLA:

Para el caso de Acajutla se tiene un 3rea de $2,760 \text{ m}^2$, donde la estaci3n de carga posee las dimensiones de $23 \times 6 \times 4.39 \text{ m}$, el cual utiliza 64 m3dulos fotovoltaicos modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400, con inclinaci3n de 13° , y dos inversores FROUNIUS SYMO 10.0-3 480 que posee dos entradas con seguidor de punto de m3xima potencia (MPPT), cada entrada posee dos STRING con 8 paneles cada uno, alimentando de esta

forma la estación de carga (DC WALLBOX CHARGER de la marca DELTA) junto con la red eléctrica (la hoja técnica del inversor, panel fotovoltaico y estación de carga se encuentran en los anexos).

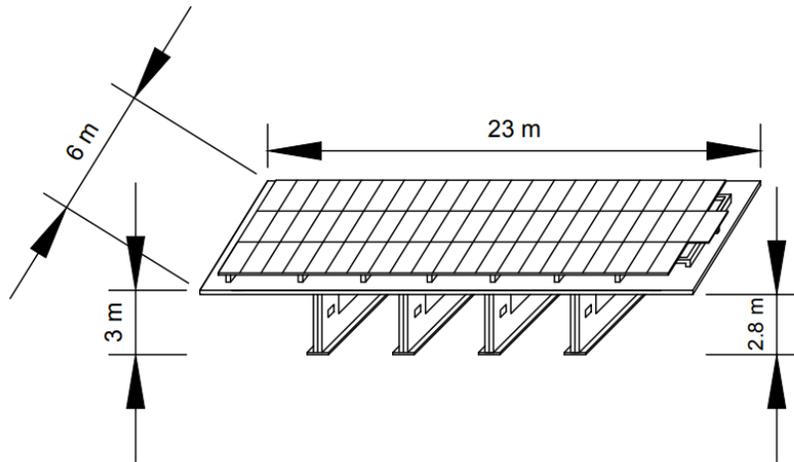


Figura 55: Vista frontal de la estación de carga ubicada en Acajutla.

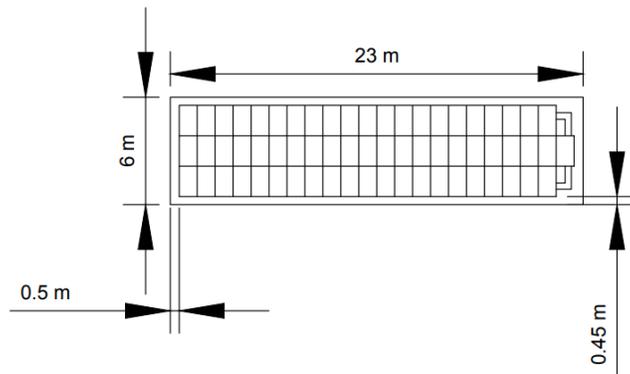


Figura 56: Vista de planta de la estación de carga en Acajutla.

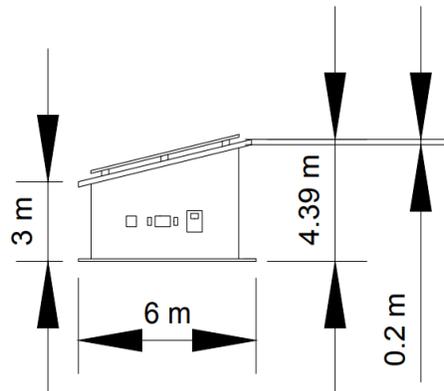


Figura 57: Vista de perfil de la estación de carga de Acajutla.

Procedemos a realizar el diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos y el inversor:

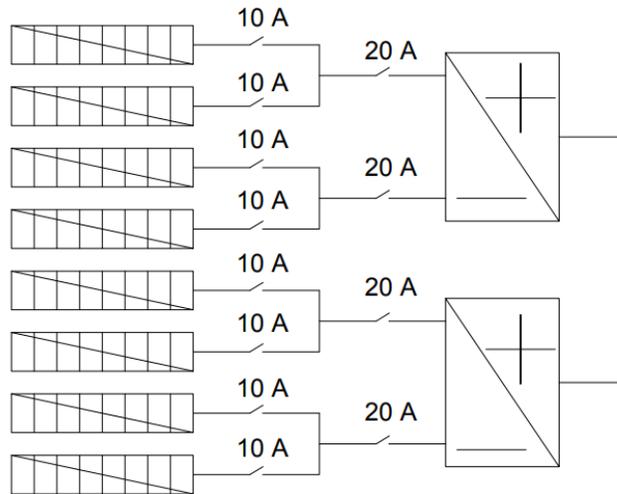


Figura 58: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Acajutla.

Para el cálculo de las protecciones (fusibles) en cada STRING, se procede a dividir la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico entre el producto del 80% de incrementos de la irradiancia con el 80% del fusible, como se muestra a continuación:

$$I_F = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8} = \frac{6.58A}{0.8 * 0.8} = 10.28 A$$

Como se puede ver la corriente que nos da para el fusible es de 10.28 A, es por ello que se colocará un fusible de 10 A un polo por STRING, por ende, cada entrada de MPPT recibirá el doble de corriente, es decir 20.56 A utilizando fusibles de 20 A por entrada de MPPT.

El tipo de cable que se utilizara para la interconexión de los paneles fotovoltaicos es TopSolar PV ZZ-F de cobre (las especificaciones del cable se pueden observar en la hora de datos ubicada en la parte de anexos), ya que es un tipo de cable unipolar con doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie, calibre #12, así mismo la conexión de los STRING con el inversor utilizaran el mismo tipo, modelo y calibre de cable.

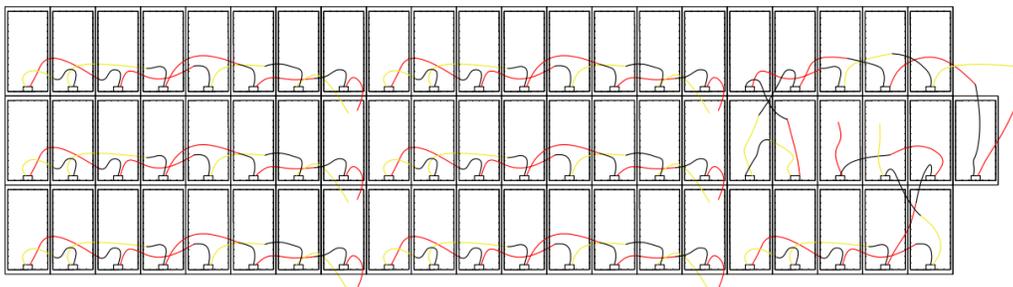


Figura 59: Conexión de los paneles fotovoltaicos en sus respectivos STRING.

Como se mencionó anteriormente y como se puede visualizar en los dibujos anteriores, cada inversor está conformado por dos entradas de MPPT, de la cual cada una de las entradas tiene un total de dos STRING, los cuales están compuestos por 8 módulos fotovoltaicos, generando 32 panes por inversor y 64 en total.

SAN MIGUEL:

Para el caso de San Miguel se tiene un área de $2,500 \text{ m}^2$, donde la estación de carga posee las dimensiones de $25.3 \times 7 \times 3.37 \text{ m}$, el cual utiliza 64 módulos fotovoltaicos modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400, con inclinación de 13° , y dos inversores FROUNIUS SYMO 10.0-3 480 que posee dos entradas con seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), cada entrada posee dos STRING con 8 paneles cada uno, alimentando de esta forma la estación de carga (DC WALLBOX CHARGER de la marca DELTA) junto con la red eléctrica (las hojas de datos del inversor, panel fotovoltaico y estación de carga se encuentran en los anexos).

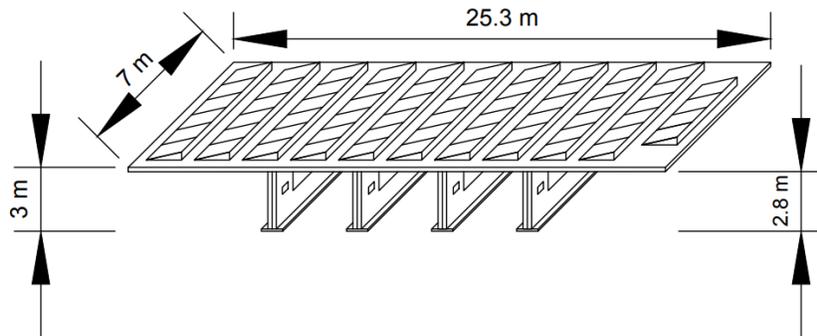


Figura 60: Vista frontal de la estación de carga ubicada en San Miguel.

Para este tipo de modelo de estación de carga se realizó un estudio de sombra, el cual nos sirve para calcular la mínima separación posible entre los grupos de paneles fotovoltaicos, como se muestra a continuación:

$$\gamma_s(\text{asimut}) = -90^\circ$$

$$S(\text{inclinacion del panel}) = 13^\circ$$

$$\phi(\text{latitud}) = 14^\circ$$

$$\delta(\text{declinacion para 21 diciembre}) = -23.45^\circ$$

$$\omega(10 \text{ a. m. hora sol}) = -30^\circ$$

$$\cos\theta = \text{sen}\delta * \text{sen}\phi * \cos S + \cos\delta * \cos\phi * \cos\omega + \cos\delta * \text{sen}S * \text{sen}\gamma_s * \text{sen}\omega$$

$$\cos\theta = \text{sen}(-23.45) * \text{sen}(14) * \cos(13) + \cos(-23.45) * \cos(14) * \cos(13) * \cos(-30) + \cos(-23.45) * \text{sen}(13) * \text{sen}(-90) * \text{sen}(-30)$$

$$\cos\theta = -0.0938 + 0.75114 + 0.1032$$

$$\cos\theta = 0.76054$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.76054) = 40.488^\circ \approx 40.49$$

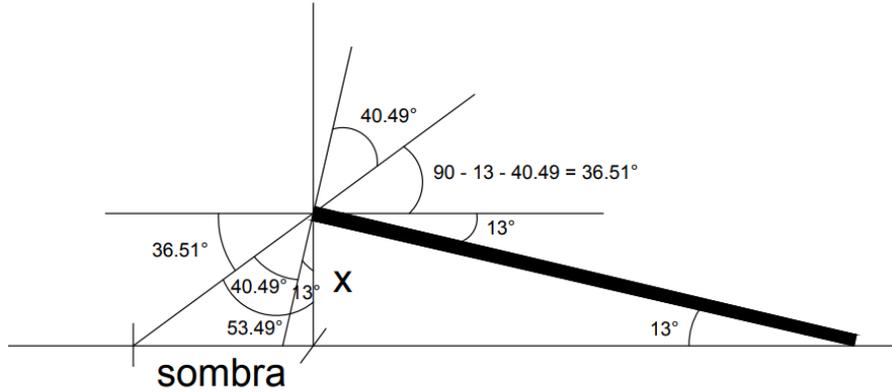


Figura 61: Esquema del estudio de sombras para los paneles fotovoltaicos ubicados en San Miguel.

$$\text{sen}(13) = \frac{x}{2} \rightarrow x = 2 * \text{sen}(13) = 0.4499 \text{ m}$$

$$\text{tan}(53.49) = \frac{\text{sombra}}{0.4499} \rightarrow \text{sombra} = 0.4499 * \text{tan}(53.49) = 0.6027$$

$$\text{sombra} \approx 0.60 \text{ m}$$

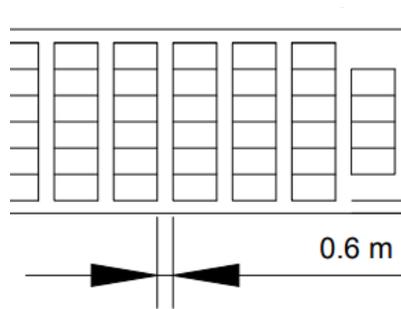


Figura 62: Separación mínima de los paneles fotovoltaicos.

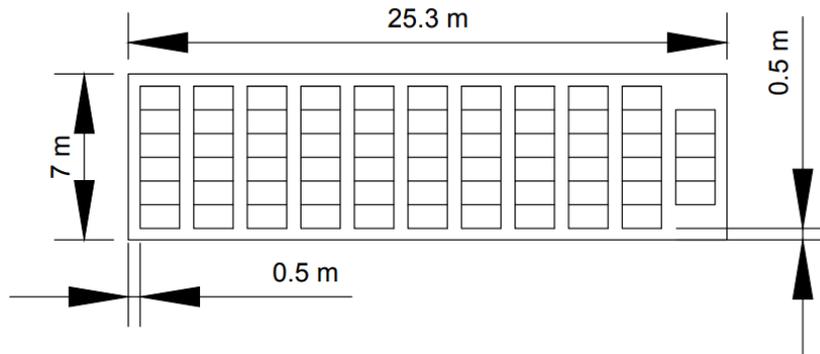


Figura 63: Vista de planta de la estación de carga en San Miguel.

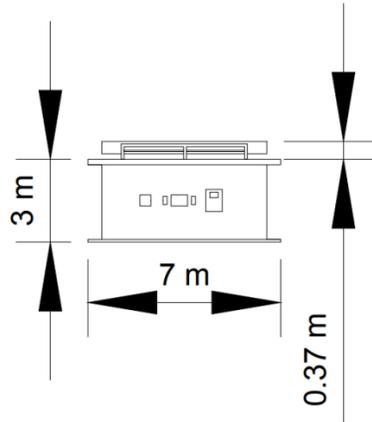


Figura 64: Vista de perfil de la estación de carga de San Miguel.

Procedemos a realizar el diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos y el inversor:

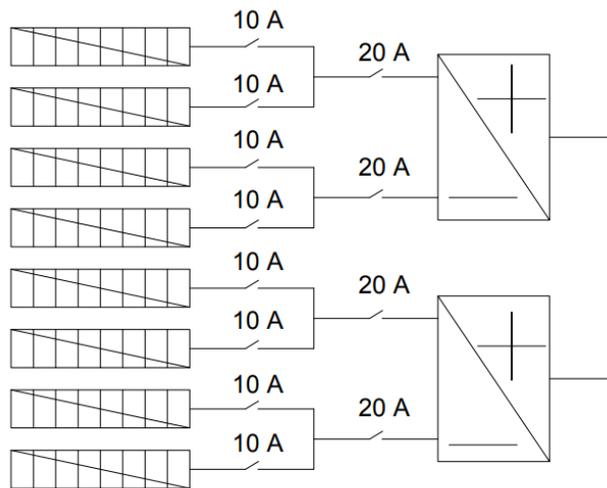


Figura 65: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Acajutla.

Para el cálculo de las protecciones (fusibles) en cada STRING, se procede a dividir la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico entre el producto del 80% de incrementos de la irradiancia con el 80% del fusible, como se muestra a continuación:

$$I_F = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8} = \frac{6.58A}{0.8 * 0.8} = 10.28 A$$

Como se puede ver la corriente que nos da para el fusible es de 10.28 A, es por ello que se colocará un fusible de 10 A un polo por STRING, por ende, cada entrada de MPPT recibirá el doble de corriente, es decir 20.56 A utilizando fusibles de 20 A por entrada de MPPT.

El tipo de cable que se utilizara para la interconexión de los paneles fotovoltaicos es TopSolar PV ZZ-F de cobre (las especificaciones del cable se pueden observar en la hoja de datos ubicado en la parte de anexos), ya que es un tipo de cable unipolar con doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie, calibre #12, así mismo la conexión de los STRING con el inversor utilizaran el mismo tipo, modelo y calibre de cable.

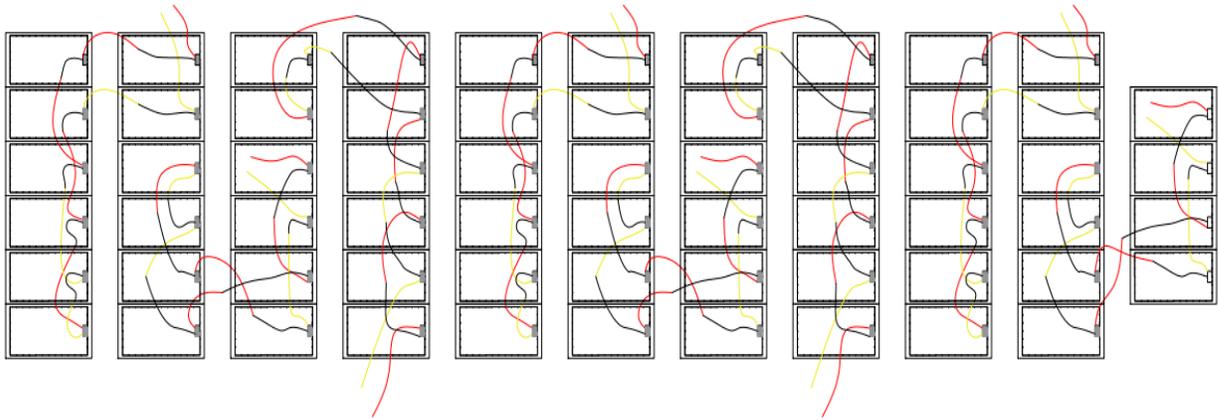


Figura 66: Conexión de los paneles fotovoltaicos en sus respectivos STRING.

Como se mencionó anteriormente y como se puede visualizar en los dibujos anteriores, cada inversor está conformado por dos entradas de MPPT, de la cual cada una de las entradas tiene un total de dos STRING, los cuales están compuestos por 8 módulos fotovoltaicos, generando 32 paneles por inversor y 64 en total.

SANTA TECLA:

Para el caso de Santa Tecla se tiene un área de $1,368.75 \text{ m}^2$, donde la estación de carga posee las dimensiones de $23 \times 7 \times 9.42 \text{ m}$, el cual utiliza 64 módulos fotovoltaicos modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400, con inclinación de 13° , y dos inversores FROUNIUS SYMO 10.0-3 480 que posee dos entradas con seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), cada entrada posee dos STRING con 8 paneles cada uno, alimentando de esta forma la estación de carga (DC WALLBOX CHARGER de la marca DELTA) junto con la red eléctrica (las hojas de datos del inversor, panel fotovoltaico y estación de carga se encuentran en la parte de anexos).

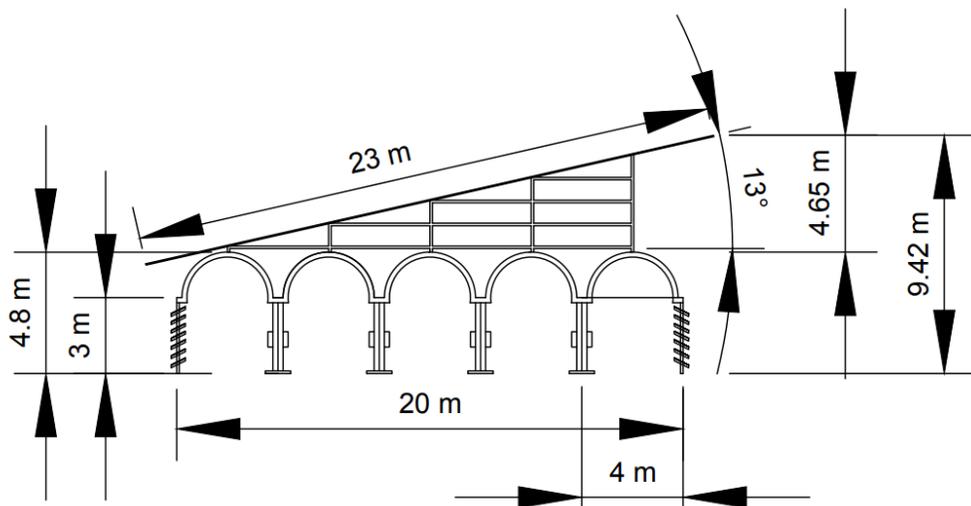


Figura 67: Vista frontal de la estación de carga ubicada en Santa Tecla.

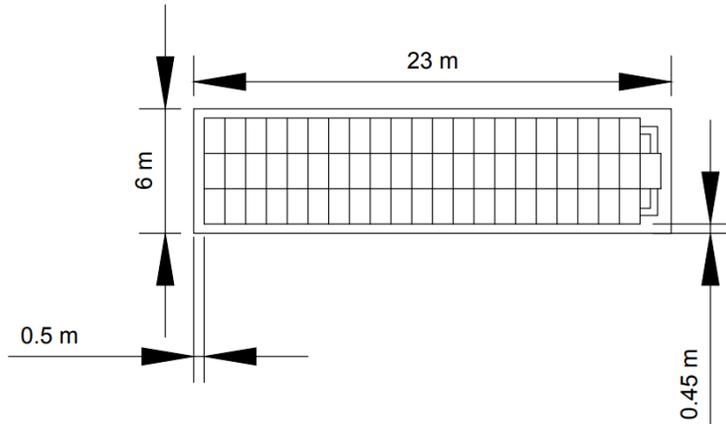


Figura 68: Vista de planta de la estación de carga en Santa Tecla.

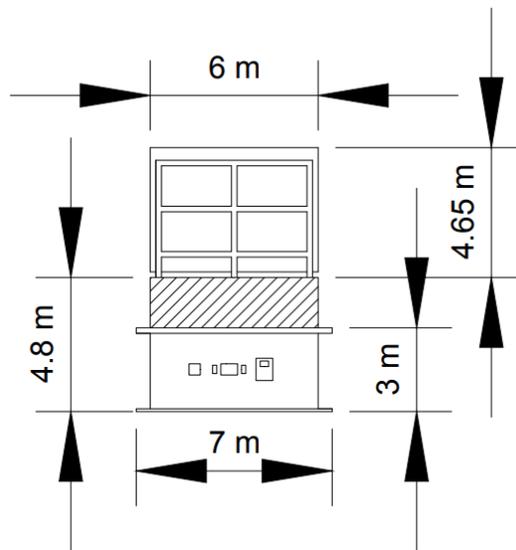


Figura 69: Vista de perfil de la estación de carga de Santa Tecla.

Procedemos a realizar el diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos y el inversor:

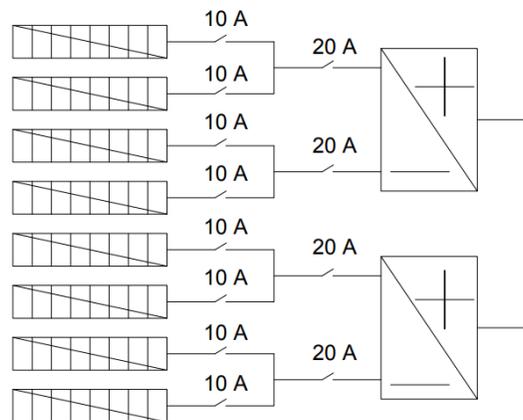


Figura 70: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de Santa Tecla.

Para el cálculo de las protecciones (fusibles) en cada STRING, se procede a dividir la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico entre el producto del 80% de incrementos de la irradiancia con el 80% del fusible, como se muestra a continuación:

$$I_F = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8} = \frac{6.58A}{0.8 * 0.8} = 10.28 A$$

Como se puede ver la corriente que nos da para el fusible es de 10.28 A, es por ello que se colocará un fusible de 10 A un polo por STRING, por ende, cada entrada de MPPT recibirá el doble de corriente, es decir 20.56 A utilizando fusibles de 20 A por entrada de MPPT.

El tipo de cable que se utilizara para la interconexión de los paneles fotovoltaicos es TopSolar PV ZZ-F de cobre (las especificaciones del cable se pueden observar en la hora de datos ubicado en la parte de anexos), ya que es un tipo de cable unipolar con doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie, calibre #12, así mismo la conexión de los STRING con el inversor utilizaran el mismo tipo, modelo y calibre de cable.

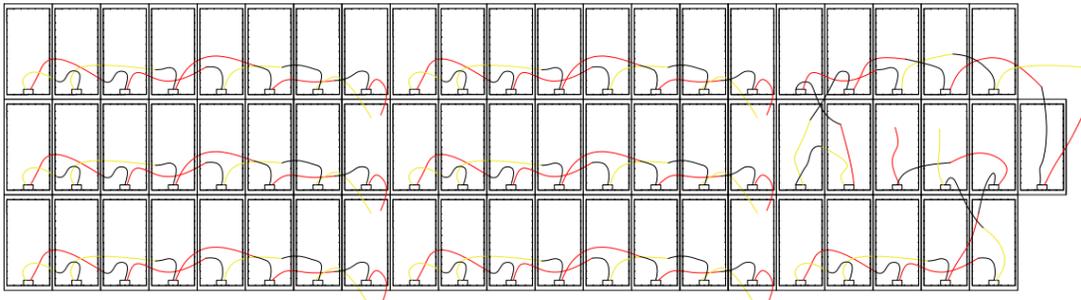


Figura 71: Conexión de los paneles fotovoltaicos con sus respectivos STRING

Como se mencionó anteriormente y como se puede visualizar en los dibujos anteriores, cada inversor está conformado por dos entradas de MPPT, de la cual cada una de las entradas tiene un total de dos STRING, los cuales están compuestos por 8 módulos fotovoltaicos, generando 32 panes por inversor y 64 en total.

SAN SALVADOR:

Para el caso de San Salvador se tiene un área de $854.25 m^2$, donde la estación de carga posee las dimensiones de $18.3 \times 7 \times 5.22$ m, el cual utiliza 64 módulos fotovoltaicos modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400, con inclinación de 13° , y dos inversores FROUNIUS SYMO 10.0-3 480 que posee dos entradas con seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), cada entrada posee dos STRING con 8 paneles cada uno, alimentando de esta forma la estación de carga (DC WALLBOX CHARGER de la marca DELTA) junto con la red eléctrica (las hojas de datos del inversor, panel fotovoltaico y estación de carga se encuentran en los anexos).

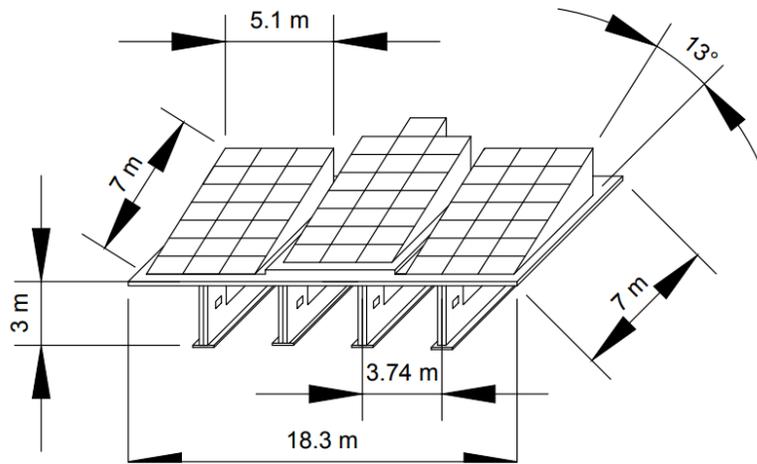


Figura 72: Vista frontal de la estación de carga ubicada en San Salvador.

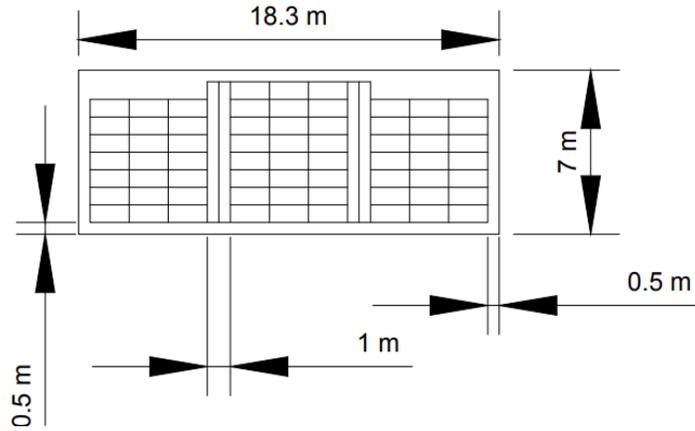


Figura 73: Vista de planta de la estación de carga en San Salvador.

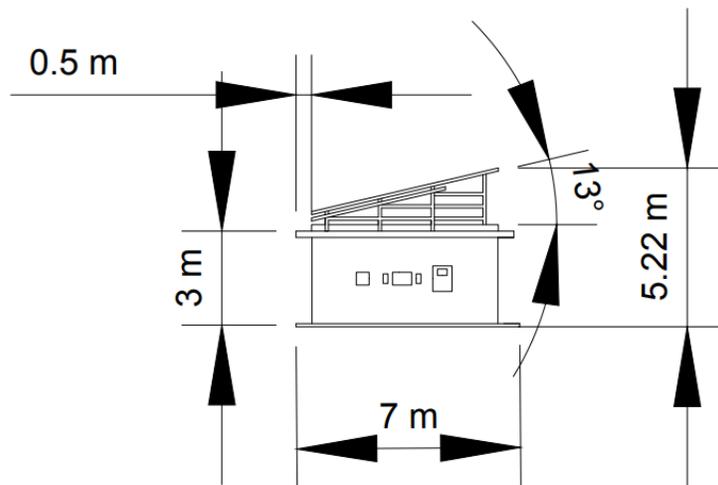


Figura 74: Vista de perfil de la estación de carga de San Salvador.

Procedemos a realizar el diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos y el inversor:

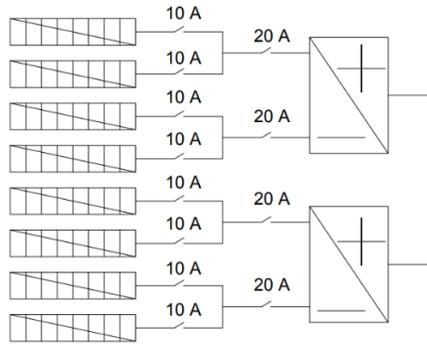


Figura 75: Diagrama unifilar de los módulos fotovoltaicos de la estación de carga de San Salvador.

Para el cálculo de las protecciones (fusibles) en cada STRING, se procede a dividir la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico entre el producto del 80% de incrementos de la irradiancia con el 80% del fusible, como se muestra a continuación:

$$I_F = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8} = \frac{6.58A}{0.8 * 0.8} = 10.28 A$$

Como se puede ver la corriente que nos da para el fusible es de 10.28 A, es por ello que se colocará un fusible de 10 A un polo por STRING, por ende, cada entrada de MPPT recibirá el doble de corriente, es decir 20.56 A utilizando fusibles de 20 A por entrada de MPPT.

El tipo de cable que se utilizara para la interconexión de los paneles fotovoltaicos es TopSolar PV ZZ-F de cobre (las especificaciones del cable se pueden observar en la hoja técnica ubicada en la parte de anexos), ya que es un tipo de cable unipolar con doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie, calibre #12, así mismo la conexión de los STRING con el inversor utilizaran el mismo tipo, modelo y calibre de cable.

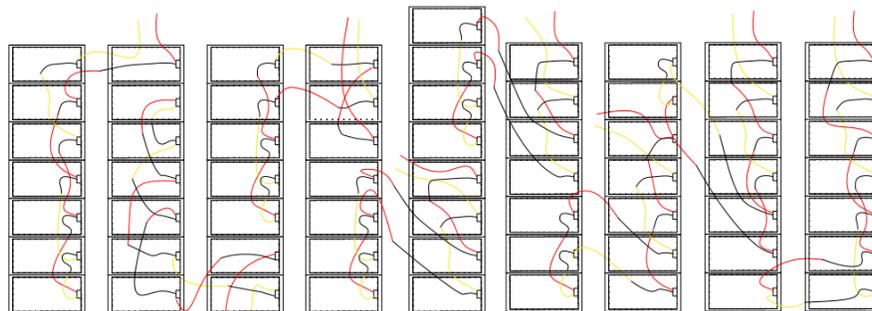


Figura 76: Conexión de los paneles fotovoltaicos con sus respectivos STRING.

Como se mencionó anteriormente y como se puede visualizar en los dibujos anteriores, cada inversor está conformado por dos entradas de MPPT, de la cual cada una de las entradas tiene un total de dos STRING, los cuales están compuestos por 8 módulos fotovoltaicos, generando 32 panes por inversor y 64 en total.

También se realiza el cálculo de la producción anual, mensual y diaria de los módulos fotovoltaicos, es importante recalcar que debido a que las cuatro estaciones de carga están

conformadas por 64 paneles fotovoltaicos, los resultados serán los mismos para todas las estaciones:

Dado los datos experimentales del índice de producción final dados por la SIGET y la UCA se estima un promedio de: $Y_F = 1550 \text{ kWh}/\text{kwp}$

Utilizando 64 paneles fotovoltaicos: $64 \text{ paneles} * 400\text{wp} = 25.6 \text{ kwp}$ instalados

Producción anual por estación: $1550 * 25.6\text{kwp} = 39.68 \text{ Mwh}/\text{año}$

Producción promedio mensual: $39.68 \text{ Mwh}/\text{año} \div 12 \text{ meses} = 3.307 \text{ Mwh}/\text{mes}$

Producción promedio diaria: 108.712 kwh

Potencia del lado de AC: $\text{Potencia de DC} * \text{eficiencia} = 25.6 \text{ kwp} * 0.965 = 24.704 \text{ kw}$

5.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:

Una parte importante en el diseño de las estaciones de carga es el uso y diseño de pararrayos (puntas Franklin), es por ello que a continuación se ejecuta el diseño de las mismas en cada una de las estaciones:

Para realizar un diseño de protección efectivo contra los rayos mediante puntas Franklin o Mallas captadoras, deben aplicarse las siguientes normativas:

- **IEC 62305:2013** Lightning protection (Parte 1, 2, 3 y 4).
- **UNE - EN 62305:2011** Protección contra el rayo (Partes 1, 2, 3 y 4)
- **NFPA 780:2014** Standard for the installation of lightning protection systems.

Además de estas normas, pueden existir legislaciones o normas propias de cada país que deben ser tenidas en cuenta.

En base a la norma IEC 62305-1, se determinó el nivel de riesgo que posee la estructura (I, II, III, IV), y de acuerdo a ella, el radio de la esfera rodante a utilizar.

Nivel de protección	Radio de la esfera (rsc)	Corriente mínima presunta de rayo (Kac de cresta)	Eficiencia de protección
Nivel I	20	3 kAc	99%
Nivel II	30	5 kAc	98%
Nivel III	45	10 kAc	97%
Nivel IV	60	16 kAc	97%

Tabla 10: Nivel de protección y radio de esfera rodante.

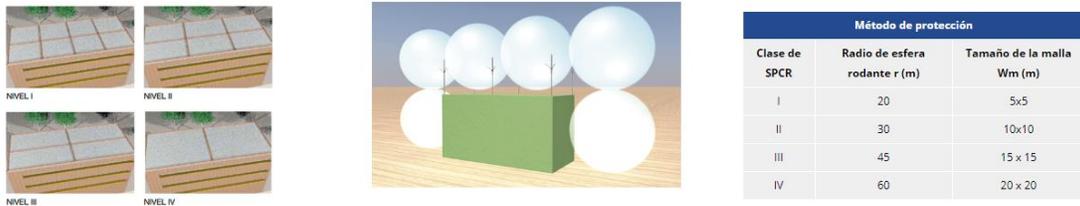


Figura 77: Método de la esfera rodante.

Para nuestro caso se seleccionó el NIVEL II, para el cálculo de las puntas franklin del sistema fotovoltaico (SFV), como se muestra a continuación:

ACAJUTLA:

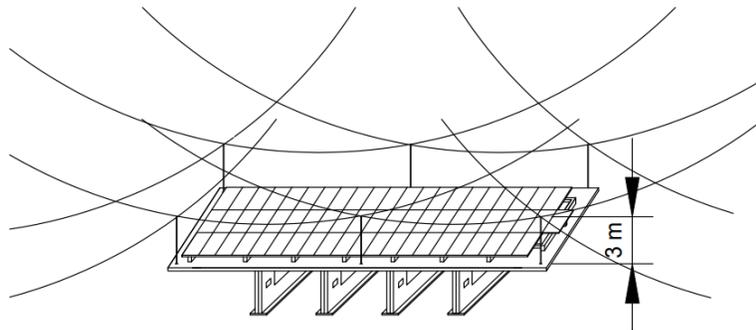


Figura 78: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.

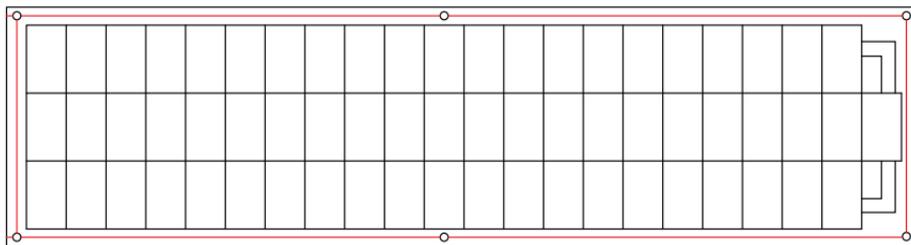


Figura 79: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.

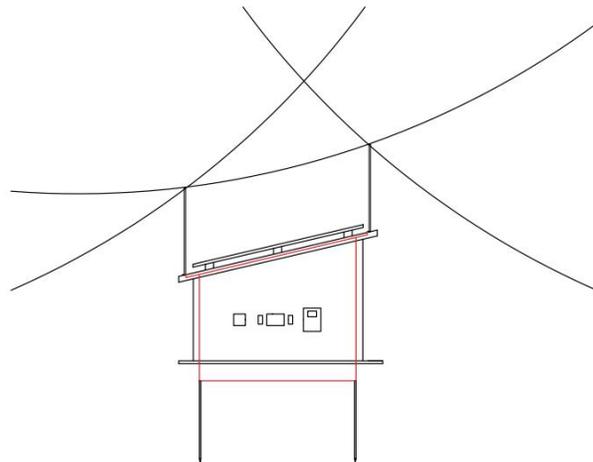


Figura 80: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.

Para el caso de Acajutla se utilizaran seis varillas punta hueca (punta Franklin) de $\text{Ø}18 \times 3000 \text{ mm}$ de aluminio, conectadas por un conductor bimetalico de aluminio cobrizado (cobre/aluminio) redondo de $8 \times 1000 \times 8 \text{ mm}$, utilizando 75 metros aproximadamente de cable.

SAN MIGUEL:

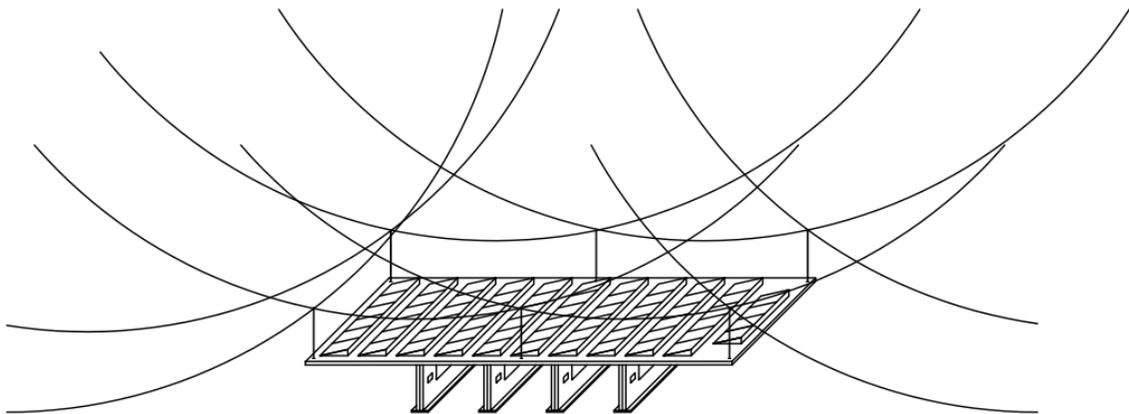


Figura 81: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.

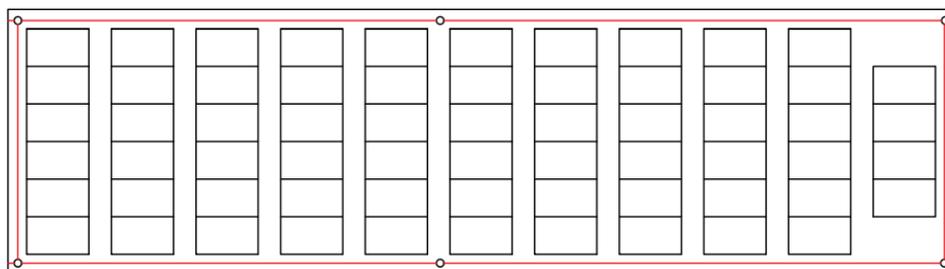


Figura 82: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.

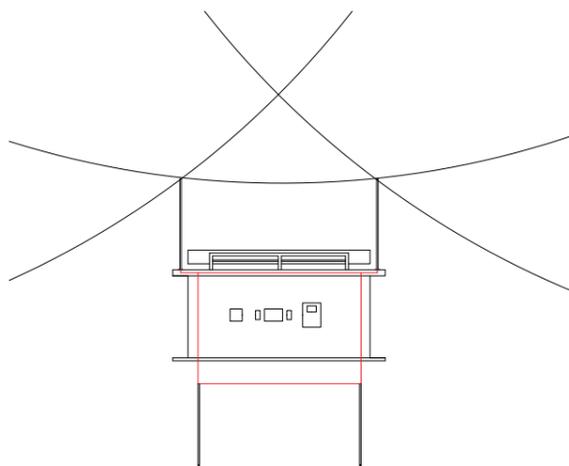


Figura 83: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.

Para el caso de San Miguel se utilizarán seis varillas punta hueca (punta Franklin) de $\text{Ø}18 \times 3000 \text{ mm}$ de aluminio, conectadas por un conductor bimetalico de aluminio cobrizado (cobre/aluminio) redondo de $8 \times 1000 \times 8 \text{ mm}$, utilizando 80 metros aproximadamente de cable.

SANTA TECLA:

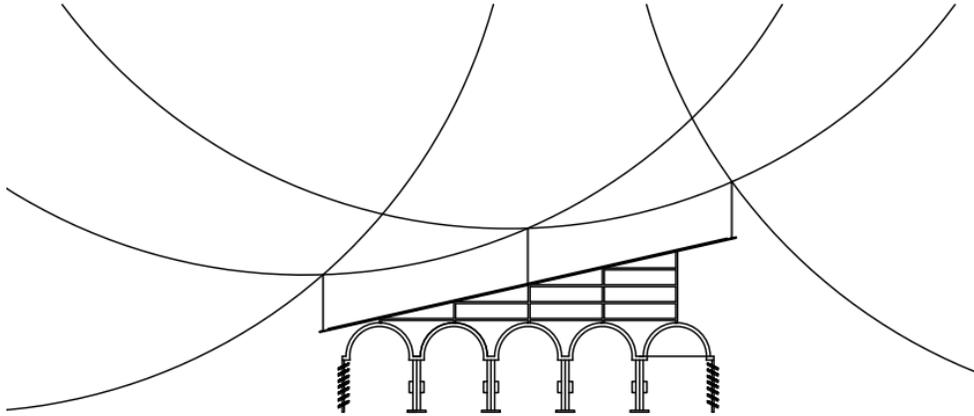


Figura 84: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.

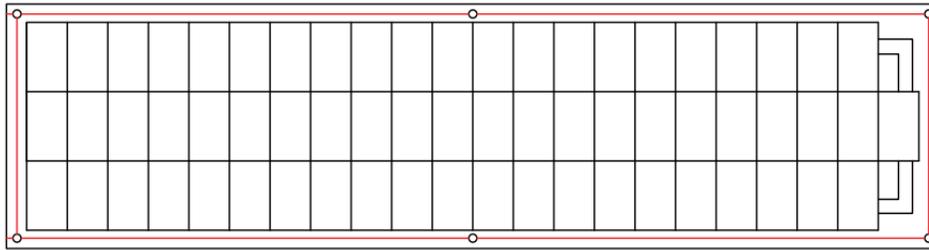


Figura 85: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.

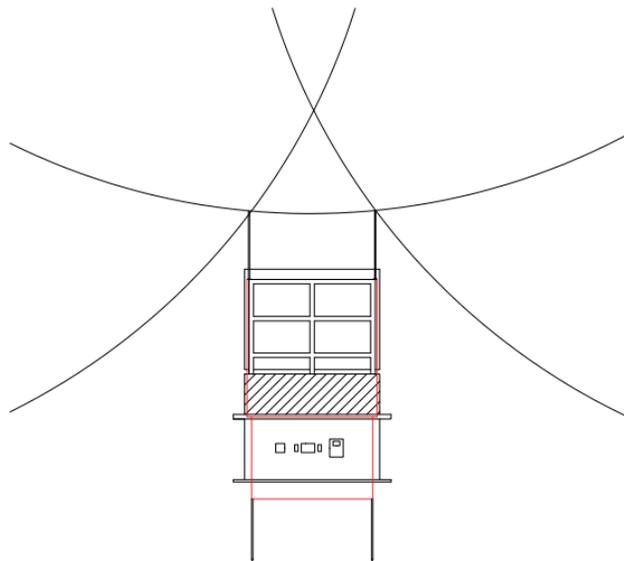


Figura 86: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.

Para el caso de Santa Tecla se utilizaran seis varillas punta hueca (punta Franklin) de $\text{Ø}18 \times 3000 \text{ mm}$ de aluminio, conectadas por un conductor bimetalico de aluminio cobrizado (cobre/aluminio) redondo de $8 \times 1000 \times 8 \text{ mm}$, utilizando 85 metros aproximadamente de cable.

SAN SALVADOR:

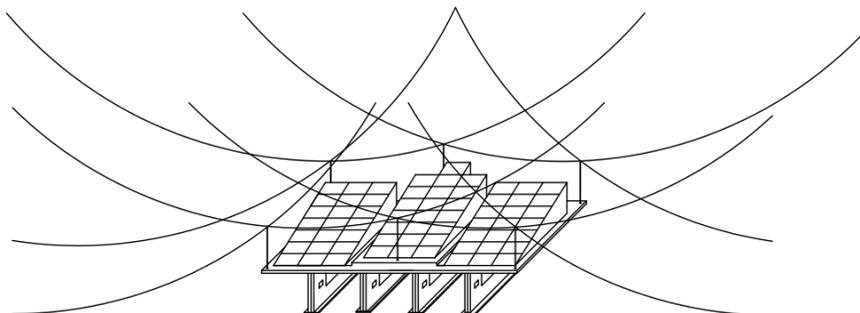


Figura 87: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.

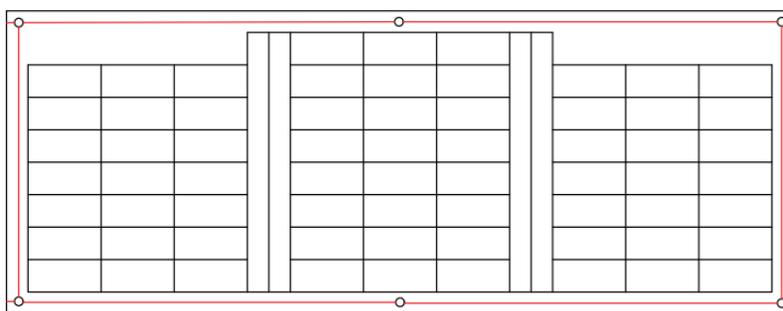


Figura 88: Ubicación de puntas Franklin, vista de planta.

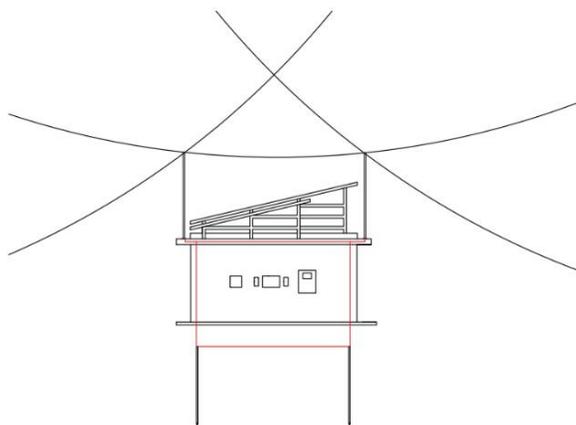


Figura 89: Ubicación de puntas Franklin, vista de perfil.

Para el caso de San Salvador se utilizaran seis varillas punta hueca (punta Franklin) de $\text{Ø}18 \times 3000 \text{ mm}$ de aluminio, conectadas por un conductor bimetalico de aluminio cobrizado (cobre/aluminio) redondo de $8 \times 1000 \times 8 \text{ mm}$, utilizando 65 metros aproximadamente de cable.

5.7 LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EN LAS ESTACIONES DE CARGA:

A continuación, procedemos a indicar la localización de cada uno de los elementos que conforman las estaciones de carga, los cuales son: Tienda de conveniencia, cargadores con sus respectivos módulos fotovoltaicos, estacionamiento y la subestación (compuesta por un transformador trifásico de 225 KVA y un transformador trifásico de 25 KVA) como se muestran en las imágenes:

ACAJUTLA:

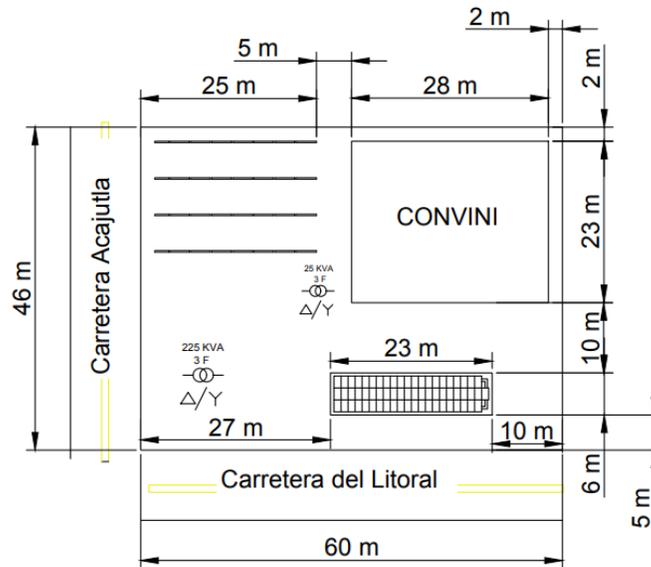


Figura 90: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de Acajutla.

SAN MIGUEL:

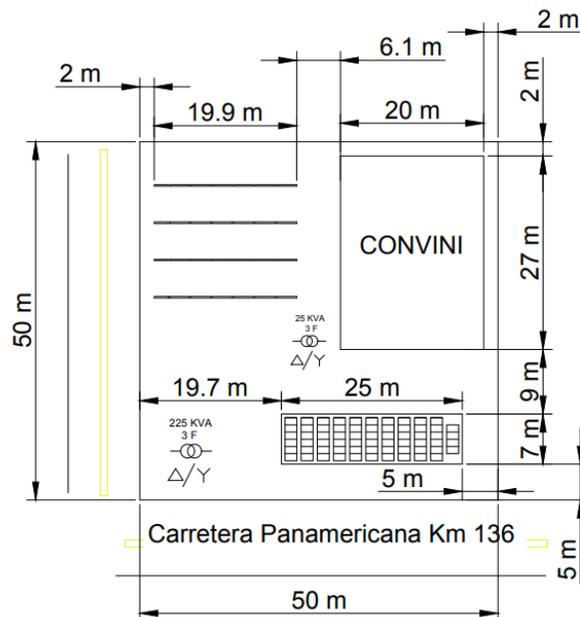


Figura 91: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de San Miguel.

SANTA TECLA:

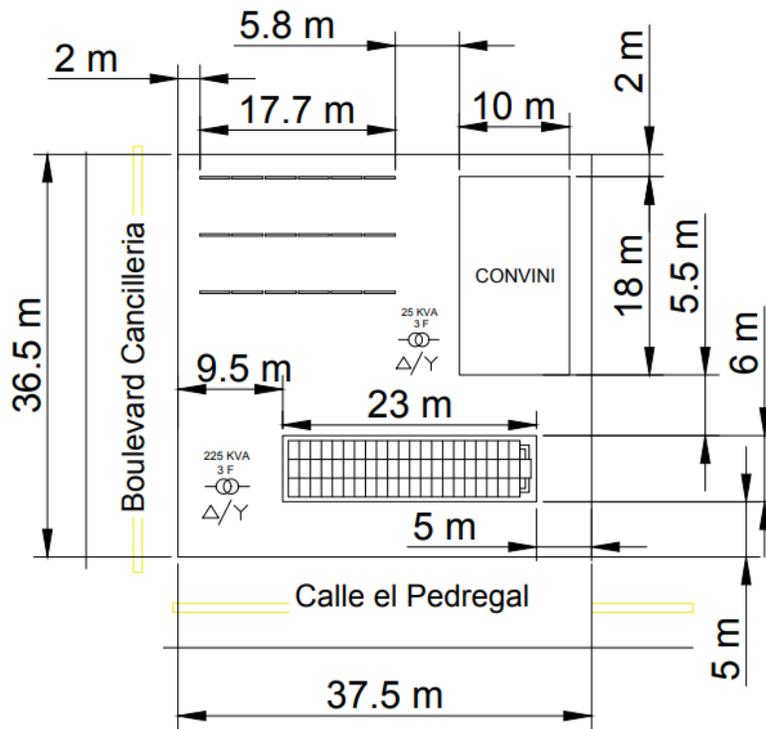


Figura 92: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de Santa Tecla.

SAN SALVADOR:

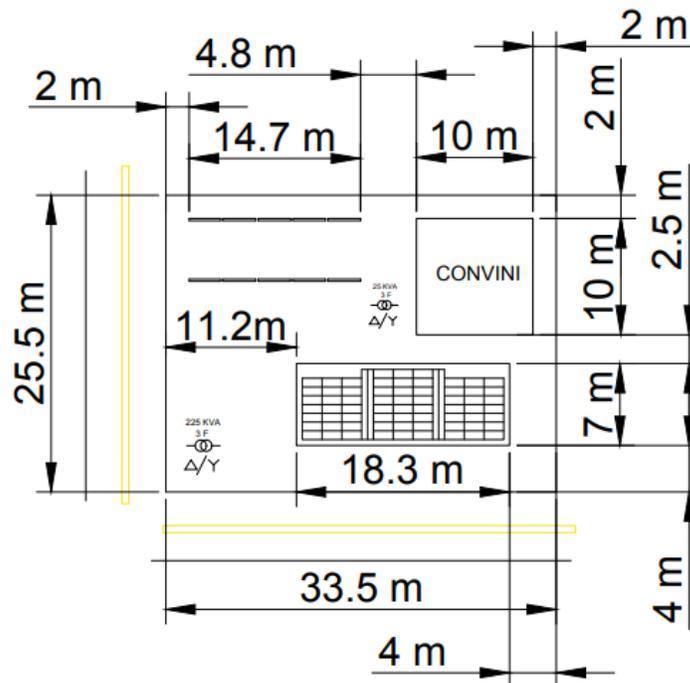


Figura 93: Distribución de los elementos que conforman una estación de carga para el caso de San Salvador.

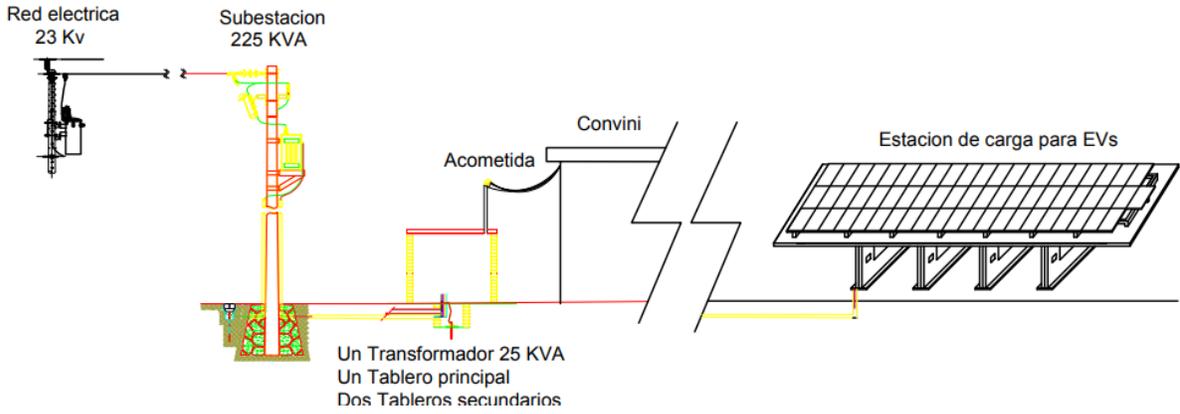


Figura 94: Vista general de línea de alimentación.

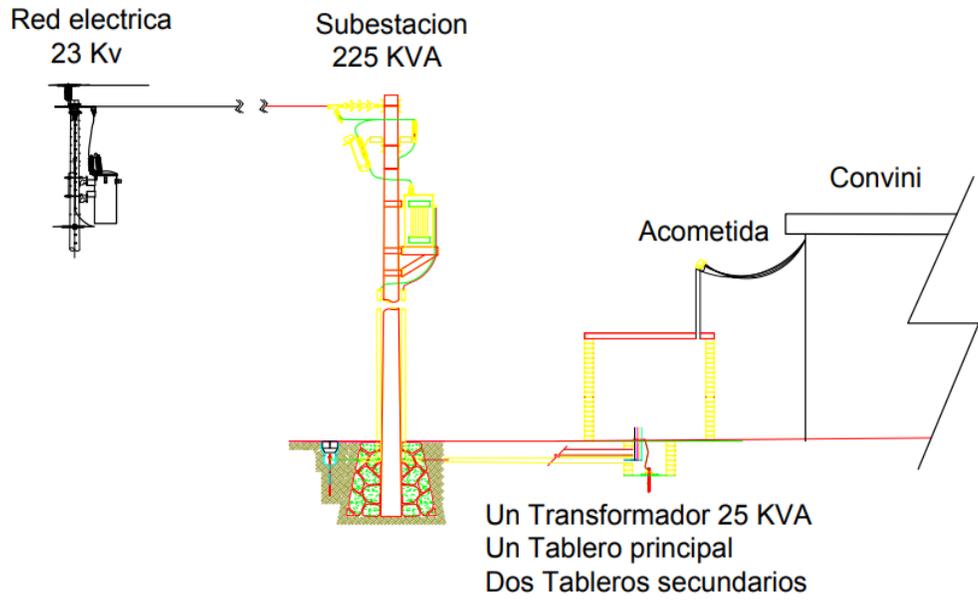


Figura 95: Detalle de la acometida.

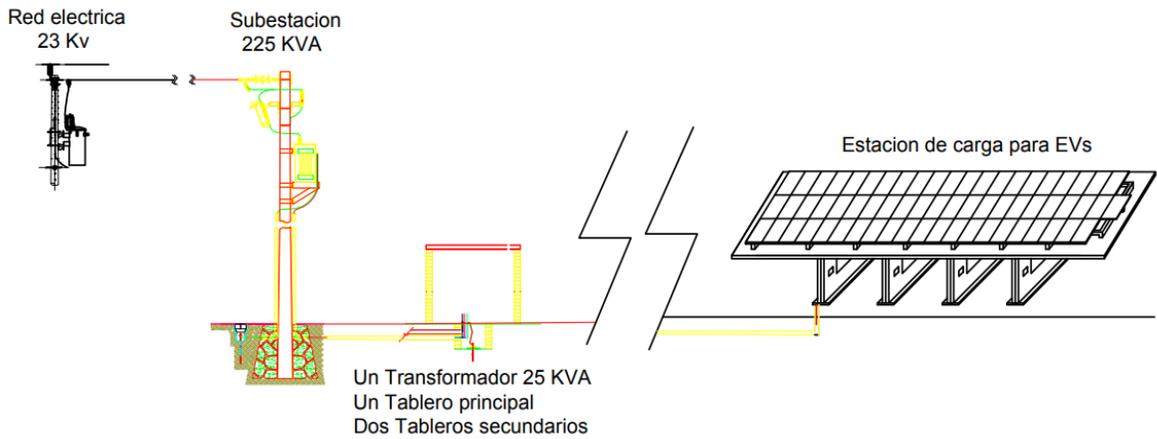
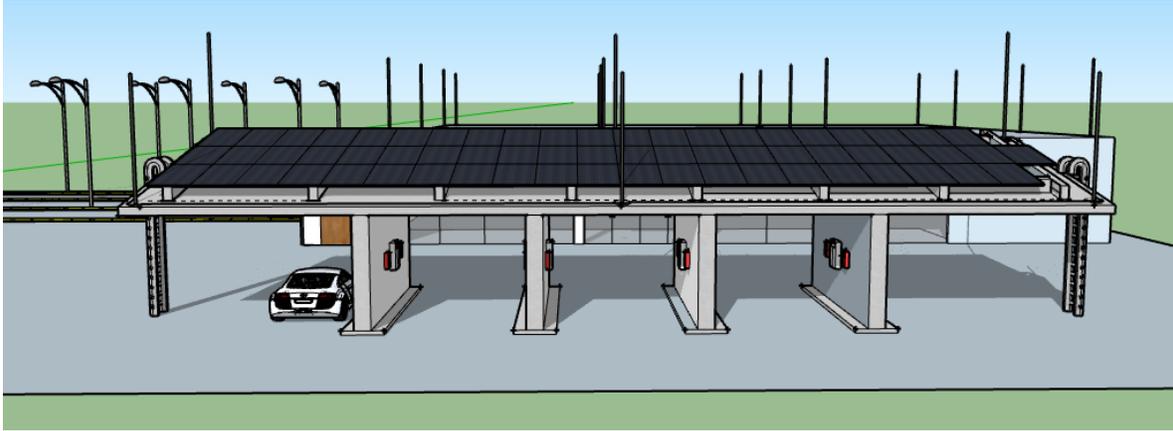


Figura 96: Vista general de la línea de alimentación.

A continuación, se muestra el diseño de dos de las cuatro estaciones de carga implementadas en Sketchup (software de diseño 3D), como se muestra en las siguientes imágenes:

Para el caso de **Acajutla**:



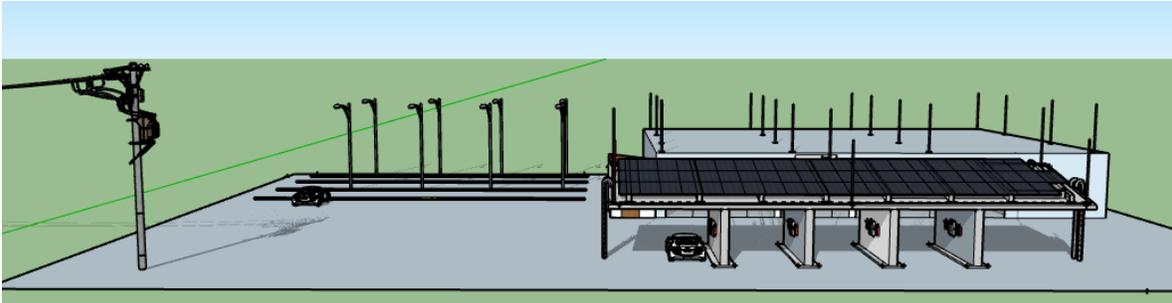
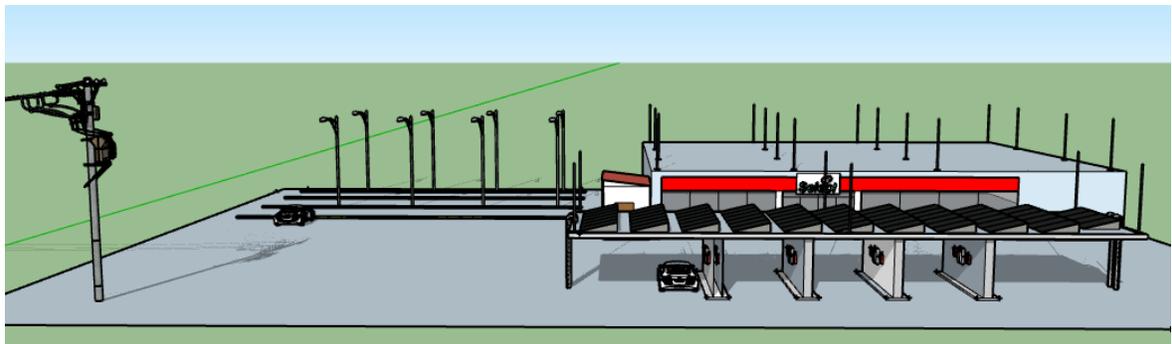
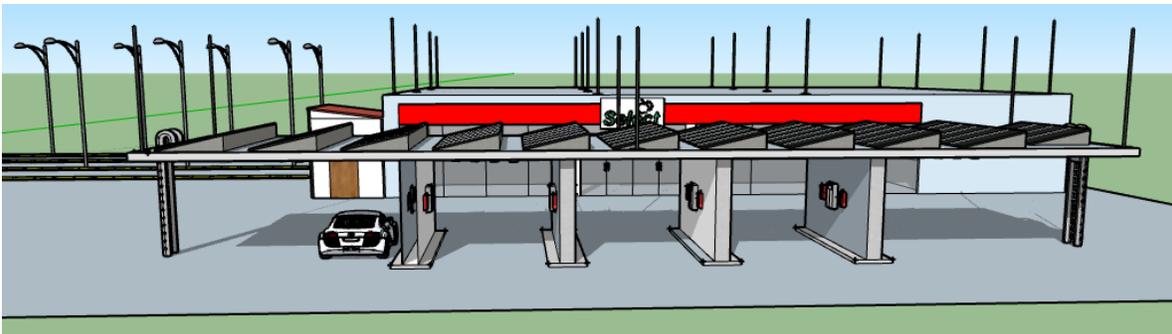


Figura 97: vistas 3D de estación Acajutla

Para el caso de **SAN MIGUEL**:



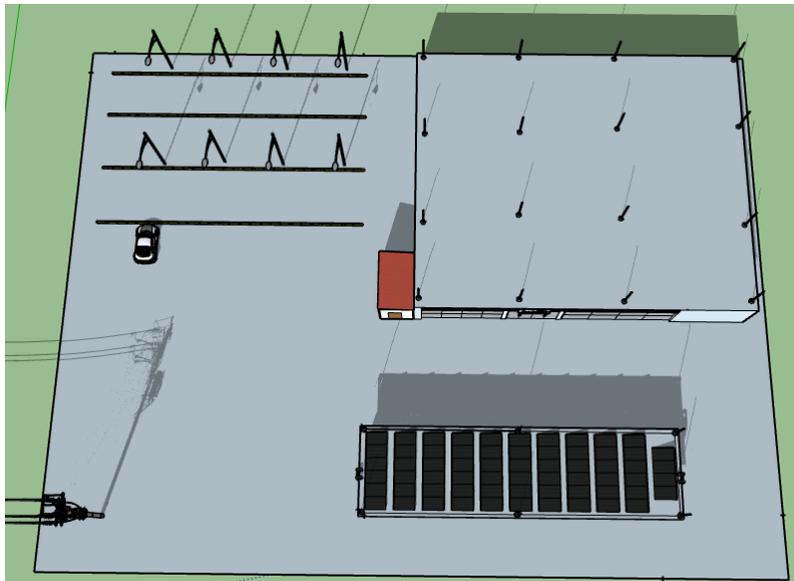


Figura 98: Vistas 3D estación San Miguel

CAPITULO VI: DISEÑO DE LA ESTACION DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS PARA EL CASO DE ESTAR AISLADO DE LA RED ELÉCTRICA.

6.1 DISEÑO DE LA RED DE TIERRA:

La ubicación de la estación de carga aislada, tomara la misma área y ubicación que la estación de carga ubicada en Acajutla.

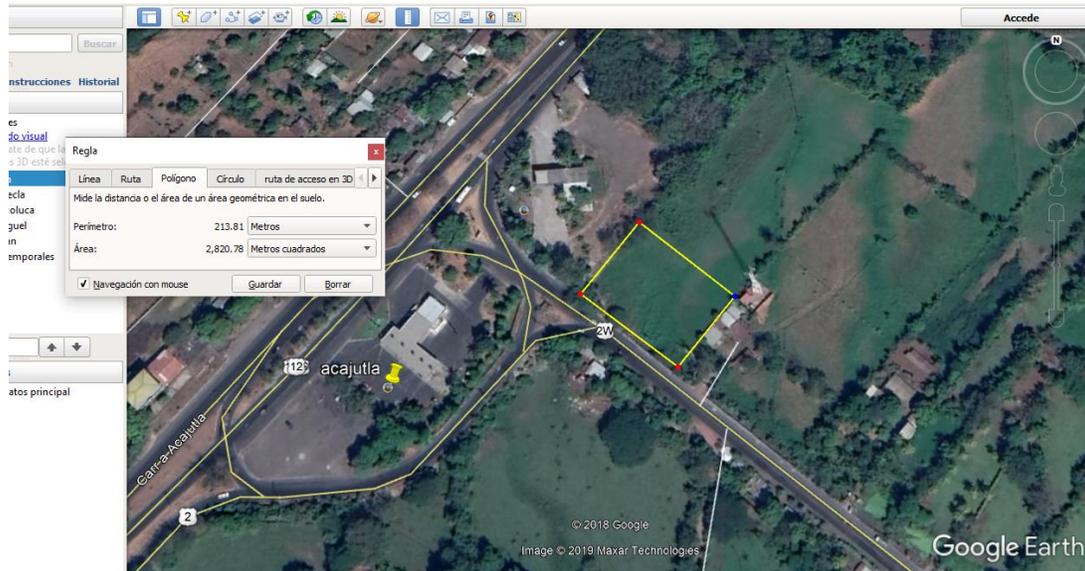


Figura 99: Localización del área para estación de carga aislada para EVs en Acajutla (60x46m).

Resistividad Aparente del Terreno Modelo del Terreno: <input checked="" type="radio"/> Una capa <input type="radio"/> Dos capas Resistividad Capa Superior: 100 Ω .m Resistividad Capa Inferior: Ω .m Ingresar la Resistividad: <input checked="" type="radio"/> Manualmente Longitud Capa Superior: m	Datos de Subestación Corriente de Falla Simétrica: 3000 A Duración de la Falla: 1 s Frecuencia: 60 Hz Relación X/R: Potencia: 0.25 MVA	Datos de Varilla <input checked="" type="checkbox"/> ¿Con Vanillas? Número de Vanillas: 4 Longitud de Varilla: 3 m Radio de la Varilla: 7.14 mm	Datos de Cuadrícula Profundidad: 1.2 m Filas: 4 Columnas: 4 Material de Conductor: Manual Cobre recoido de suave consistencia
Geometría del Terreno Largo: 45 m Ancho: 60 m Forma del terreno: Rectangular	Capa Superficial Resistividad: 10000.0 Ω .m Espesor de Capa Superficial: 0.1 m <input checked="" type="checkbox"/> ¿Tiene Capa? Catálogo	Factores de IG Cálculo de Sf: Manualmente Cálculo de Df: Manualmente Ejecutar Análisis Limpiar datos	
Capa Superficial Material: Asphalt Resistividad del Material: 10000.0 Ω .m Factor Reductivo de la Grava [Ca]: 0.69 Altura Capa Superficial [hs]: 0.1 m	Resistividad del Terreno Modelo Utilizado: Una capa Resistividad de la Capa Superior: 100.00 Ω .m Resistividad de la Capa Inferior: Ω .m Profundidad de la Capa Superior: m	Datos de Conductor Calibre: 1/0 Hilos: 7 Diámetro: 9.47 mm Longitud Total de Conductor: 525.00 m Espaciamiento entre Conductores: 11.25 m	Puesta a Tierra Resistencia de Puesta a tierra: 1.06 Ω Voltajes Críticos Tolerables Voltaje de Malla [Em]: v Voltaje Tolerable de Toque (Etouch): 788.45 V Voltaje de Toque [Es]: V Voltaje Tolerable de paso (Estep): 682.79 V Vista de perfil Generar Reporte
Geometría del Terreno y La Cuadrícula Área: 2700.00 m ² Forma del Terreno: Rectangular Configuración: S16	Parámetros Críticos Factor de División de Corriente de Falla [Sf]: Factor de Decremento [Df]: Corriente Máxima de cuadrícula [IG]: A	Datos de Varillas Longitud Total de Varillas: 12.00 m Número de Varillas: 4.00 Longitud de Varilla: 3.00	

Figura 100: Calculo de la resistencia de puesta a tierra por medio del programa de computadora RPAT.

Como se puede visualizar en la imagen, la resistencia de puesta a tierra que nos presenta el programa de computadora **RPAT** es de 1.06 Ω el cual es una excelente resistencia, ya que una resistencia de 2 Ω o menor se considera óptima para la implementación de una red de tierra según nos indica la normativa IEEE 80 (dicho programa fue construido por un estudiante Universitario como su trabajo de graduación).

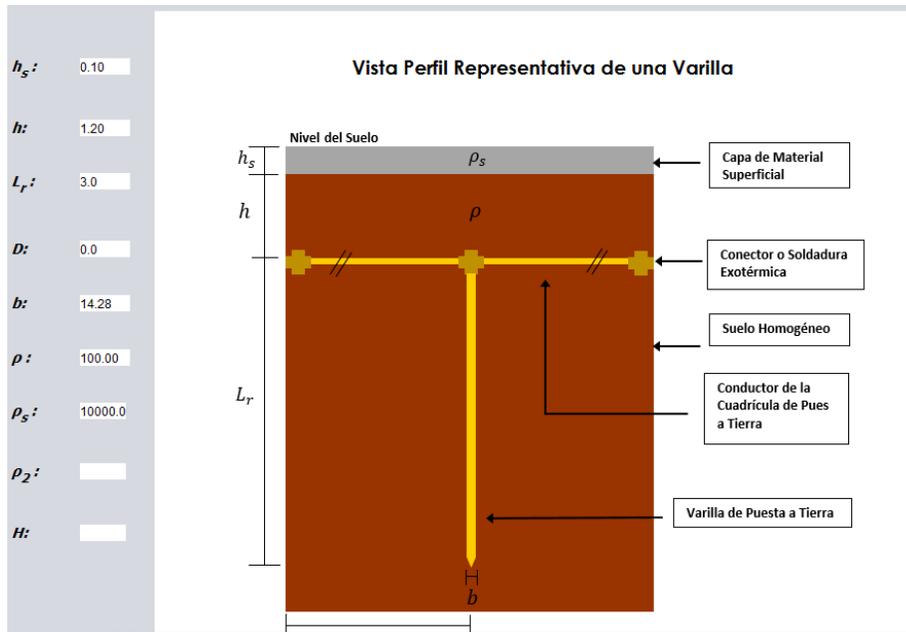


Figura 101: Vista de perfil de la varilla de puesta a tierra.

Como se puede observar en la imagen, se ha utilizado una varilla recubierta en cobre de 3 m con un diámetro de 14.28 mm, a una profundidad “h” de 1.20 m y recubierta por una capa de asfalto de 0.1 m.

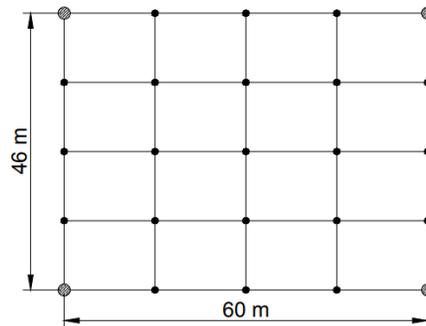


Figura 102: Malla para puesta a tierra para la estación de carga aislada en Acajutla.

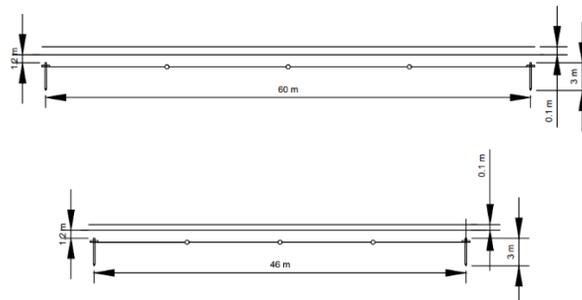


Figura 103: Varillas de tierra y parámetros de la malla de tierra para la estación de carga aislada en Acajutla.

En total se utilizarían 4 varillas de 3 m de largo por 14.28 mm de diámetro, a una profundidad de 1.20 m con una capa de asfalto de 0.1m, 600 m de cable de cobre 1/0 (dejando 70 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.

También se realizó el análisis de la red de tierra en el programa de computadora ASPIX, arrojándonos los siguientes resultados:

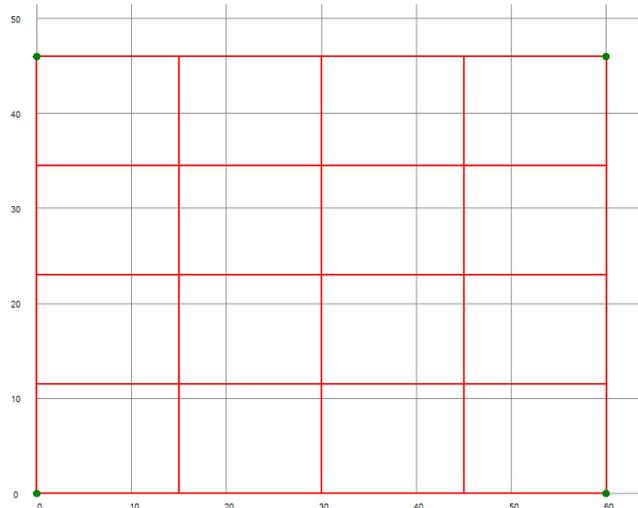


Figura 104: Vista de planta de la red de tierra, para la estación de carga aislada del sistema eléctrico.

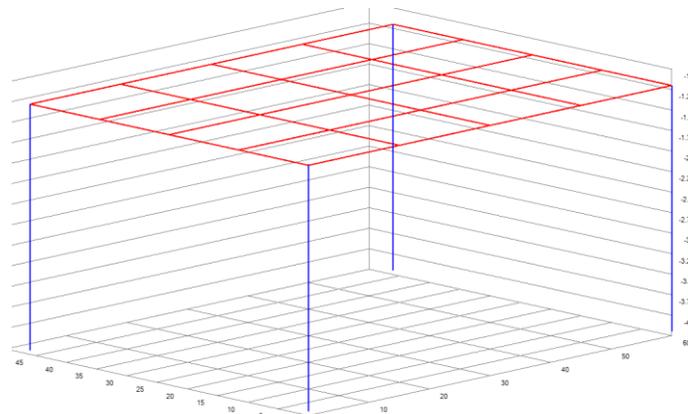


Figura 105: Vista de perfil de la red de tierra de la estación de carga para el caso aislado de la red eléctrica.

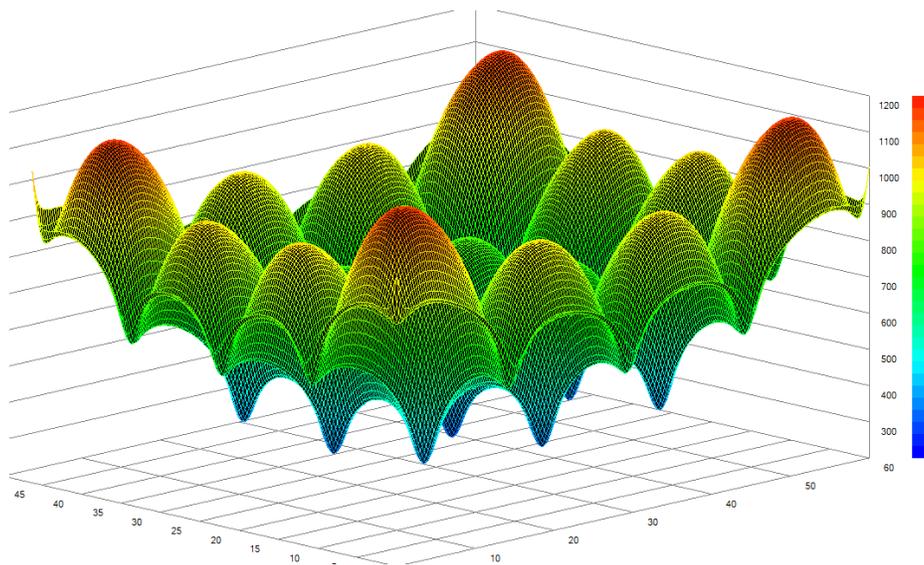


Figura 106: Representación en 3D del voltaje de toque de la red de tierra en el programa ASPIX.

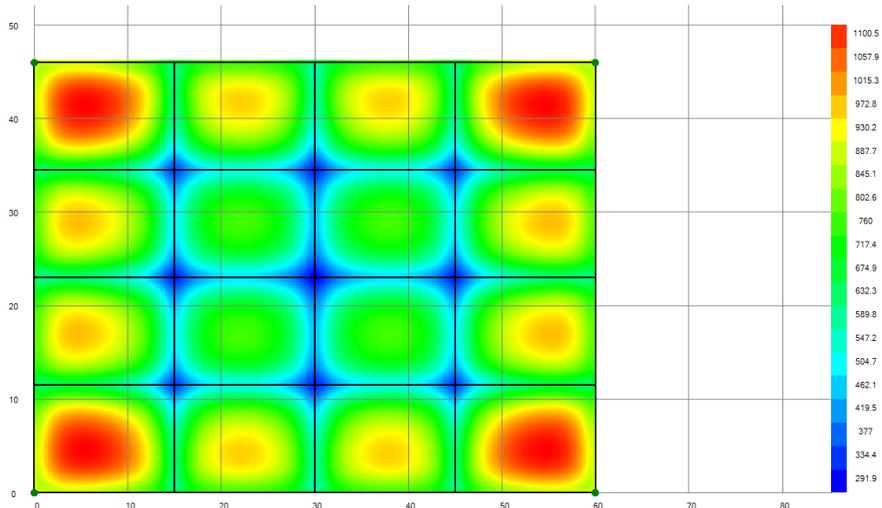


Figura 107: Representación en 2D del voltaje de toque de la red de tierra en el programa ASPIX.

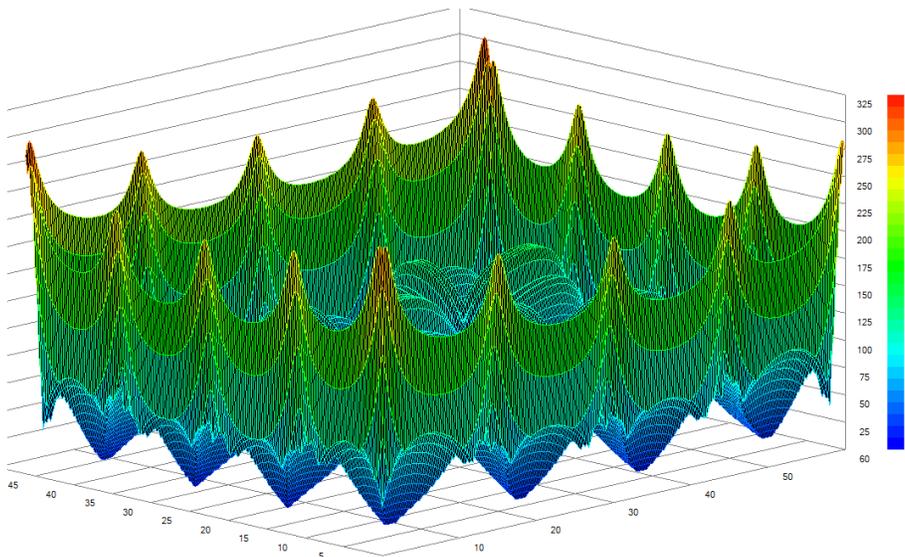


Figura 108: Representación en 3D del voltaje de paso de la red de tierra en el programa ASPIX.

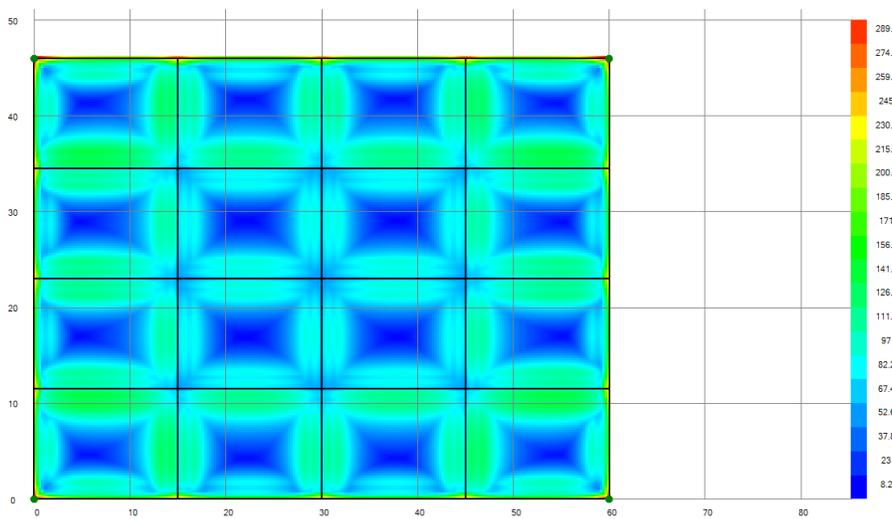


Figura 109: Representación en 2D del voltaje de paso de la red de tierra en el programa ASPIX.

Arrojando los siguientes resultados:

Description	Value
Grounding grid resistance (Ohm)	0.917
Ground Potential Rise GPR (V)	4584.977
Grid Current (A)	5000.000
Fault Current Division Factor Sf	1.000
Tolerable Touch Voltage - 70 kg person (V)	783.560
Tolerable Touch Voltage - 50 kg person (V)	578.936
Touch Voltage (V)	1143.022
Tolerable Step Voltage - 70 kg person (V)	2663.239
Tolerable Step Voltage - 50 kg person (V)	1967.743
Step Voltage (V)	304.142
Total length of the conductor (m)	530.000
Total number of rods	4

Tabla 11: Resultados de la red de tierra con el programa ASPIX.

Como se puede ver la resistencia que nos da como resultado el programa ASPIX es de 0.917 Ohm, siendo muy cercana a la que nos da RPAT, esto es debido a que RPAT es un programa de computadora hecho por un estudiante Universitario para su trabajo de graduación, mientras que ASPIX utiliza la misma normativa IEEE 80 solo que este ya es un programa profesional, los parámetros utilizados en el programa ASPIX son los mismo que los utilizados con RPAT, es decir, 4 varillas de 3 metros de largo, con diámetro de 14.28 mm, a una profundidad de 1.2 m y una capa de asfalto de 0.1 m, con 600 m de cable de cobre 2/0 (dejando 70 m de holgura) con 25 nodos realizados por medio de soldadura exotérmica.

6.2 DISEÑO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA:

Ahora procedemos al diseño fotovoltaico de la estación de carga aislada con sus respectivos paneles solares e inversores:

Datos generales del inversor Sunny Mini Central 10000TL:

Datos técnicos	Sunny Mini Central 9000TL	Sunny Mini Central 10000TL	Sunny Mini Central 11000TL
Entrada (CC)			
Potencia máxima de CC (con $\cos \varphi=1$)	9300 W	10350 W	11400 W
Tensión máx. de CC	700 V	700 V	700 V
Rango de tensión MPP	333 V - 500 V	333 V - 500 V	333 V - 500 V
Tensión nominal de CC	350 V	350 V	350 V
Tensión de CC mín. / tensión inicial	333 V / 400 V	333 V / 400 V	333 V / 400 V
Corriente máx. de entrada / por String	28 A / 28 A	31 A / 31 A	34 A / 34 A
Cantidad de seguidores del punto de máxima potencia (MPP) / Strings por seguidor del punto de máxima potencia (MPP)	1 / 5	1 / 5	1 / 5
Salida (CA)			
Potencia nominal de CA (a 230 V, 50 Hz)	9000 W	10000 W	11000 W
Potencia aparente de CA máxima	9000 VA	10000 VA	11000 VA
Tensión nominal de CA; rango	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V (262 V*)	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V (262 V*)	220, 230, 240 V; 180 V - 260 V (262 V*)
Frecuencia de red de CA; rango	50, 60 Hz; $\pm 4,5$ Hz	50, 60 Hz; $\pm 4,5$ Hz	50, 60 Hz; $\pm 4,5$ Hz
Corriente máx. de salida	40 A	44 A	48 A
Factor de potencia ($\cos \varphi$)	1	1	1
Fases de inyección / fases de conexión / Power Balancing	1 / 1 / ●	1 / 1 / ●	1 / 1 / ●
Rendimiento			

Figura 110: Datos del inversor

Datos generales del panel fotovoltaico SUNPOWER SPR-MAX3-400:

MAXEON[®] 3 | 400 W Residential Solar Panel

Electrical Data			Operating Condition And Mechanical Data	
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370	
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W	Temperature
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%	-40° C to +85° C
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%	Impact Resistance
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V	25 mm diameter hail at 23 m/s
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A	Solar Cells
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A	Tempered Glass
Max. System Voltage	1000 V IEC			High-transmission tempered anti-reflective
Maximum Series Fuse	15 A			Junction Box
Power Temp Coef.	-0.29% / °C			IP-65, Stäubli (MC4), 3 bypass diodes
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C			Weight
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C			19 kg
				Design Load
				Wind: 2660 Pa, 274 kg/m ² front & back Snow: 4000 Pa, 408 kg/m ² front
				Max. Load ¹⁰
				Wind: 4000 Pa, 408 kg/m ² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m ² front
				Frame
				Class 1 black anodized (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730 Class 1 fire rated per UNI 9177
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV ⁹

Figura 111: Extracto de la hora de datos del panel fotovoltaico

Datos importantes a utilizar del panel fotovoltaico:

$$P = 400wp, \quad I_{sc} = 6.58A, \quad I_{mp} = 6.08A, \quad V_{oc} = 75.6V, \quad V_{mp} = 65.8V$$

Datos importantes a utilizar del inversor:

$$P = 10.35kwp, \quad I_{ent} = 31A, \quad V_{op} = 333 - 400V, \quad V_{mpp} = 333 - 500V$$

$$V_{max} = 700V$$

$$CT_p = -0.29\%/^{\circ}c$$

$$CT_{voc} = -0.1768v/^{\circ}c$$

$$CT_{isc} = 0.0029A/^{\circ}c$$

$$CT_{vmp} = -0.29\%/^{\circ}c$$

$$\Delta'T_{vocmax} = CT_{voc} * (75 - 25) = -0.1768 v/^{\circ}c * (75 - 25) = -8.84v$$

$$\Delta'T_{vocmin} = CT_{voc} * (15 - 25) = -0.1768 v/^{\circ}c * (15 - 25) = 1.768v$$

$$\Delta'T_{vmpmax} = \frac{CT_{vmp}}{100\%} * V_{mp}(75 - 25) = -\frac{0.29\%}{100\%c} * 65.8(75 - 25) = -9.541v$$

$$\Delta'T_{vmpmin} = \frac{CT_{vmp}}{100\%} * V_{mp}(15 - 25) = -\frac{0.29\%}{100\%c} * 65.8(15 - 25) = 1.908v$$

$$\Delta' Tiscmax = CTisc * (75 - 25) = 0.0029 A/^\circ C * (75 - 25) = 0.145A$$

$$\Delta' Tiscmin = CTisc * (15 - 25) = 0.0029 A/^\circ C * (15 - 25) = -0.029A$$

$$\Delta Tvocmax = \Delta' Tvocmax + Voc = -8.84v + 75.6v = 66.76 Vocmin$$

$$\Delta Tvocmin = \Delta' Tvocmin + Voc = 1.768v + 75.6v = 77.368 Vocmax$$

$$\Delta Tvmptmax = \Delta' Tvmptmax + Vmp = -9.541v + 65.8v = 56.259 Vmptmin$$

$$\Delta Tvmptmin = \Delta' Tvmptmin + Vmp = 1.908v + 65.8v = 67.708 Vmptmax$$

$$\Delta Tiscmax = \Delta' Tiscmax + Isc = 0.145A + 6.58A = 6.725 Iscmax$$

$$\Delta Tiscmin = \Delta' Tiscmin + Isc = -0.029A + 6.58A = 6.551 Iscmin$$

$$\# \text{ max de MFV} = \frac{Vmaxoperación}{Vocmax} = \frac{700v}{77.368v} = 9.0476 \approx 9 \text{ MFV}$$

$$\# \text{ min de MFV} = \frac{Vstart}{Vocmin} = \frac{333v}{66.76v} = 4.988 \approx 5 \text{ MFV}$$

$$Mpptmax = \frac{Mpptmax}{Vmptmax} = \frac{500v}{67.708v} = 7.384 \approx 7 \text{ MFV}$$

$$Mpptmin = \frac{Mpptmin}{Vmptmin} = \frac{333v}{56.259v} = 5.919 \approx 6 \text{ MFV}$$

Como se puede observar el rango de módulos fotovoltaicos que puede tener cada STRING son:

$$\Delta MFV = 6 - 9 \text{ MFV/string}$$

Ahora procedemos a calcular el número de módulos fotovoltaicos por inversor:

$$\# \frac{inversor}{MFV} = \frac{10.35kwp}{400wp} = 25.875 \approx 25 \text{ MFV}$$

Teniendo cuatro entradas por inversor, tenemos:

$$\frac{25MFV}{4Mppt} = 6.25 \approx 6 \text{ MFV}/MPPT = 6 \text{ MFV}/STRING$$

Como se puede observar, el número máximo de módulos fotovoltaicos que puede tener cada STRING son de 6 paneles.

Con estos datos y valores procedemos a realizar el cálculo del número de paneles fotovoltaicos, número de inversores y número de baterías, así como el diseño de las ubicaciones de los módulos fotovoltaicos:

Asumiendo 10 recargas diarias en la estación de carga (25 kWh por carga):

$$E_{carga} = 25 \text{ kWh}$$

$$E_{diezrecargas} = 25 \text{ kWh} * 10 \text{ recargas} = 250 \text{ kWh}$$

Esos 250 kWh son los necesarios para que la estación de carga esté en funcionamiento cada día.

Datos a tomar en cuenta:

Utilizando baterías con un Pd (profundidad de descarga) del 80%

Utilizando una eficiencia del inversor del 95%

Utilizando una eficiencia de la batería del 85% (baterías de Ion-Litio)

Por tanto, la carga necesaria en las baterías será de:

$$C_d = \frac{250 \text{ kWh}}{0.8 * 0.95 * 0.85} = 386.996 \text{ kWh} \approx 387 \text{ kWh}$$

Al tener una autonomía de 1.5 días se obtiene:

$$387 \text{ kWh} * 1.5 = 580.5 \text{ kWh}$$

Si se utilizan las baterías en STRING de 48 v:

$$\frac{580.5 \text{ kWh}}{48 \text{ v}} = 12.094 \text{ kWh}$$

Si las baterías son Freedom DF3000 de 170 Ah a C10:

$$N_{STRING} = \frac{12.094 \text{ kWh}}{170 \text{ Ah}} = 71.14 \approx 72 \text{ STRING} * 4 \frac{\text{baterias}}{\text{STRING}} \rightarrow \mathbf{288 \text{ baterias en total}}$$

Con un consumo diario de 580.5 kWh se tiene al mes un total de 17.415 MWh/mes, y teniendo en cuenta que el factor de generación en el país es de 1550 kWh/kWp anual, pasándolo mensualmente da de 129.2 kWh/kWp por mes, por tanto:

$$\frac{17.416 \text{ MWh mes}}{129.2 \text{ kWh/kWp mes}} = 134.791 \text{ kWp}$$

La razón para tomar un Pd del 80% es porque normalmente la descarga de las baterías no sobrepase el 20%, alargando su vida útil.

Ahora procedemos a calcular el número de paneles fotovoltaicos a utilizar (los módulos fotovoltaicos a utilizar son modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400):

$$P_{paneles} = 400 \text{ Wp}$$

$$\#paneles = \frac{134.791 \text{ kWp}}{400 \text{ Wp}} = 336.977 \approx 337 \text{ MFV}$$

Ahora procederemos a calcular el número de inversores a utilizar:

Como cada STRING tiene 6 MFV y el inversor a utilizar es el Sunny Mini Central 10000TL el cual posee 4 entradas por inversor, entonces:

$$6MFV * 4MPPT = 24 \frac{MFV}{inversor}$$

$$\frac{337 \text{ MFV totales}}{24 \frac{MFV}{inversor}} = 14.0416 \approx \mathbf{15 \text{ inversores}}$$

Y como tenemos un sistema trifásico, para que el sistema esté balanceado se tiene que tener un número múltiplo de 3 de inversores, por lo tanto, se opta por 15 inversores, de modo que:

$$15 \text{ inversores} * 24 \frac{MFV}{inversor} = \mathbf{360 \text{ MFV}}$$

En conclusión, se estarán utilizando 360 paneles fotovoltaicos, 15 inversores y 288 baterías.

El área de esta estación de carga aislada es la misma que la estación de carga de Acajutla, la cual es de $2,760 \text{ m}^2$, donde la estación de carga posee las dimensiones de $23 \times 6 \times 4.39 \text{ m}$, el cual utilizara 360 módulos fotovoltaicos distribuidos entre la estación de carga y la tienda de conveniencia, paneles modelo SUNPOWER SPR-MAX3-400, con inclinación de 13° , y 15 inversores Sunny Mini Central 10000TL que posee cuatro entradas con un seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), cada entrada posee un STRING con 6 paneles cada uno, alimentando de esta forma la estación de carga (DC WALLBOX CHARGER de la marca DELTA) junto con un banco de baterías de 288 baterías en total (la hoja técnica del inversor, panel fotovoltaico, estación de carga y batería se encuentran en la parte de anexos).

Igualmente, como se hizo en el caso de San Miguel, se realizará un estudio de sombras para conocer la distancia mínima de entre los módulos fotovoltaicos ubicados en la tienda de conveniencia, como se muestra a continuación:

$$\gamma_s(\text{asimut}) = -90^\circ$$

$$S(\text{inclinacion del panel}) = 13^\circ$$

$$\emptyset(\text{latitud}) = 14^\circ$$

$$\delta(\text{declinacion para 21 diciembre}) = -23.45^\circ$$

$$\omega(10 \text{ a. m. hora sol}) = -30^\circ$$

$$\cos\theta = \text{sen}\delta * \text{sen}\emptyset * \cos S + \cos\delta * \cos\emptyset * \cos\omega + \cos\delta * \text{sen}S * \text{sen}\gamma_s * \text{sen}\omega$$

$$\cos\theta = \text{sen}(-23.45) * \text{sen}(14) * \cos(13) + \cos(-23.45) * \cos(14) * \cos(13) * \cos(-30) + \cos(-23.45) * \text{sen}(13) * \text{sen}(-90) * \text{sen}(-30)$$

$$\cos\theta = -0.0938 + 0.75114 + 0.1032$$

$$\cos\theta = 0.76054$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.76054) = 40.488^\circ \approx 40.49$$

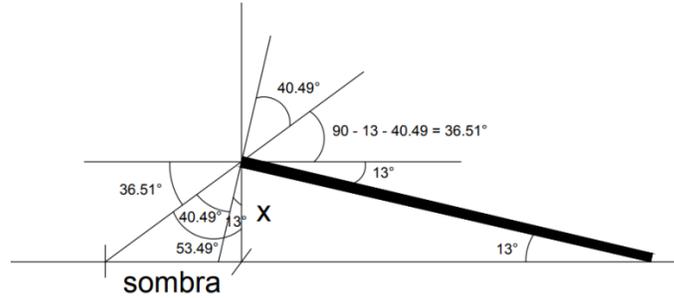


Figura 112: Esquema del estudio de sobras para los paneles fotovoltaicos ubicados en la tienda de conveniencia.

$$\text{sen}(13) = \frac{x}{2} \rightarrow x = 2 * \text{sen}(13) = 0.4499 \text{ m}$$

$$\text{tan}(53.49) = \frac{\text{sombra}}{0.4499} \rightarrow \text{sombra} = 0.4499 * \text{tan}(53.49) = 0.6027$$

$$\text{sombra} \approx 0.60 \text{ m}$$

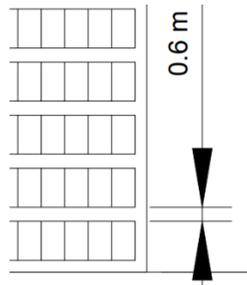


Figura 113: Dibujo representativo de la separación entre filas de paneles ubicadas en el Convini.

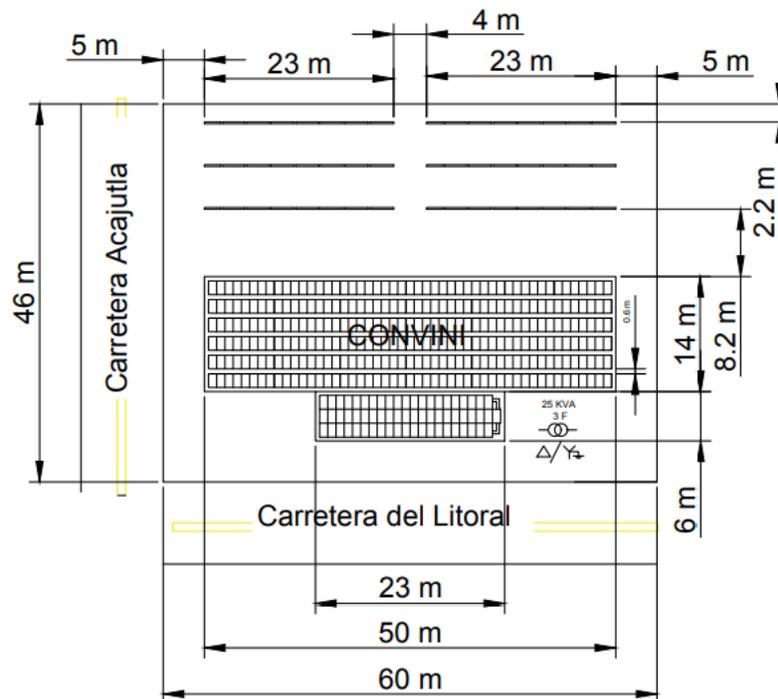


Figura 114: Vista de perfil de la estación de carga y la distribución de los elementos en la misma.

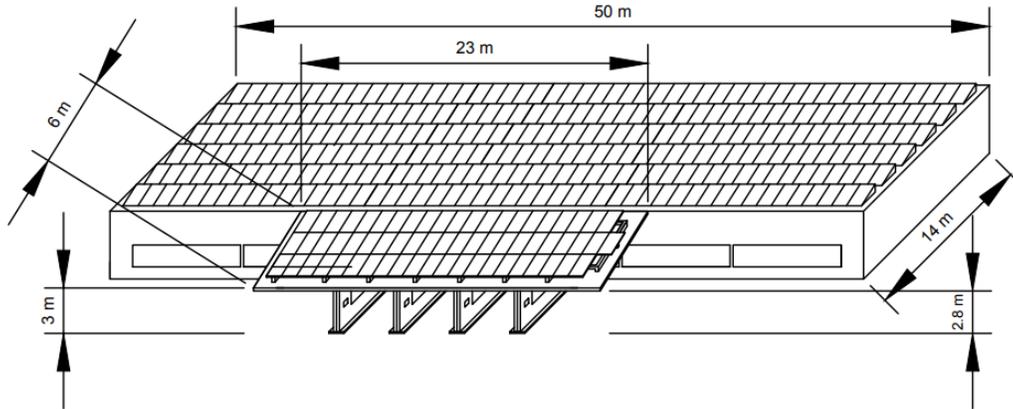


Figura 115: Vista de perfil de la estación de carga asilada.

Para el cálculo de las protecciones (fusibles) en cada STRING, se procede a dividir la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico entre el producto del 80% de incrementos de la irradiancia con el 80% de holgura del fusible, como se muestra a continuación:

$$I_F = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8} = \frac{6.58A}{0.8 * 0.8} = 10.28 A$$

Como se puede ver la corriente que nos da para el fusible es de 10.28 A, es por ello que se colocará un fusible de 10 A un polo por STRING, por ende, la entrada del inversor recibirá el cuádruple de corriente, es decir 41.12 A utilizando fusibles de 40 A por entrada del inversor.

El tipo de cable que se utilizara para la interconexión de los paneles fotovoltaicos es TopSolar PV ZZ-F de cobre (las especificaciones del cable se pueden observar en la hoja técnica ubicada en la parte de anexos), ya que es un tipo de cable unipolar con doble aislamiento y con una gran resistencia a la intemperie, calibre #12, así mismo la conexión de los STRING con el inversor utilizaran el mismo tipo y modelo de cable, con calibre #8.

Como se mencionó anteriormente y como se puede visualizar en los dibujos anteriores, cada inversor está conformado por cuatro entradas, de la cual cada una de las entradas tiene un total de un STRING, el cual está compuesto por 6 módulos fotovoltaicos, generando 24 paneles por inversor, 15 inversores y 360 en total.

Para alimentar a la estación desde las baterías, se hará uso de los inversores Sunny Island 5048-US (hoja de datos en anexos), los cuales tienen una tensión nominal de 120V y una salida de 5kW. La potencia máxima requerida por el sistema es de 225kW, pero se toma como consideración que solo se usaría 180kW de forma sostenida, teniendo picos de potencia por periodos máximos de 30 min de 216kW, por lo tanto, la cantidad de inversores a usar es:

$$N_{inv} = \frac{180kW}{5kW/inv} = 36 \text{ inversores}$$

Los inversores tienen que estar en agrupaciones de tres (Clúster) para poder trabajar en sistemas trifásicos, por lo tanto, la cantidad de clústeres será la siguiente:

$$N_{cluster} = \frac{36inv}{3inv/clúster} = 12 \text{ clústeres.}$$

Las baterías serán repartidas entre los inversores de forma equitativa, de modo que la cantidad de baterías por inversor será la siguiente:

$$N_{bat-inv} = \frac{288 \text{ baterias}}{26 \text{ inversores}} = 8 \text{ baterias por inversor}$$

Para comprobar si se puede instalar esa cantidad de baterías por inversor, se toma como base los datos de la hora técnica del Sunny Island, la cual nos dice que, la carga máxima que puede manejar el Sunny Island 5048-US es de 10,000 Ah, para asegurarnos de que tal condición se cumple tenemos que la cantidad de carga por inversor será de:

$$E_{inv} = \frac{170Ah}{batería} \times 8 \text{ baterias} = 1360 \text{ Ah}$$

Los inversores Sunny Island 5048-US tiene como tensión nominal para la entrada de baterías de 48V, pero las baterías Freedom DF3000 tienen como tensión nominal 12V, por lo tanto, será necesario instalarlas de la siguiente manera:

$$N_{string} = \frac{8 \text{ baterias} \times 12V}{48V} = 2 \text{ strings de 4 baterías}$$

También se realiza el cálculo de la producción promedio anual, mensual y diaria de los módulos fotovoltaicos:

Dado los datos experimentales del índice de producción final dados por SIGET y la UCA se estima un promedio del índice de producción de: $Y_F = 1550 \text{ kWh/kWp}$

Utilizando 360 paneles fotovoltaicos: $360 \text{ paneles} \times 400Wp = 144 \text{ kWp}$ instalados

Producción anual por estación: $1550 \times 144kWp = 223.2 \text{ MWh/año}$

Producción promedio mensual: $223.2 \text{ MWh/año} \div 12 \text{ meses} = 18.6 \text{ MWh/mes}$

Producción promedio diaria: $223.2 \text{ MWh/año} \div 365 \text{ dias} = 611.507 \text{ kWh}$

Potencia del lado de AC: $Potencia \text{ de DC} \times \text{eficiencia} = 144 \text{ kwp} \times 0.965 = 138.9 \text{ kW}$

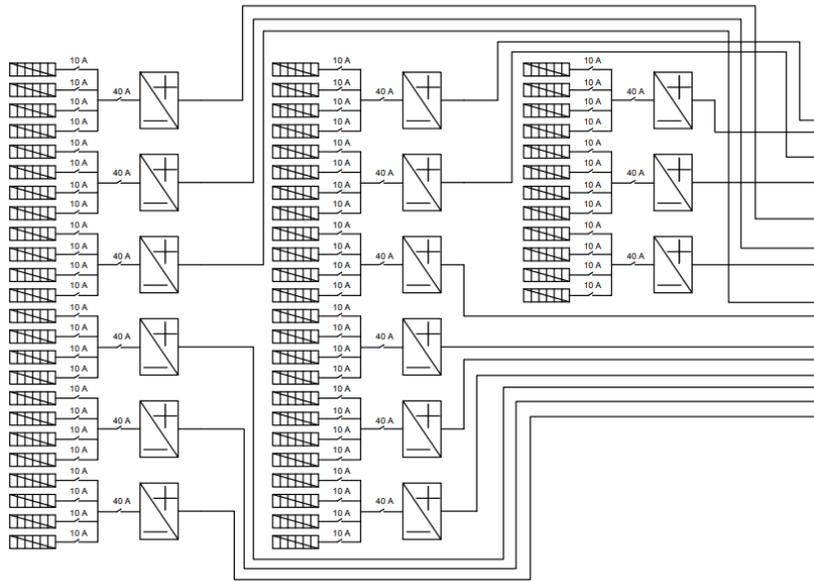


Figura 116: Esquema de la conexión de los paneles fotovoltaicos con los inversores.

6.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:

Así como se mencionó para el caso de las estaciones de carga conectadas a la red, es importante el diseño e implementación de la protección contra descargas atmosféricas para la estación de carga aislada, es por ello que se ha realizado el análisis y diseño de las puntas Franklin, para ello se deben cumplir unas ciertas normas como se mencionó para el caso de que esté conectado a la red, las cuales son las siguiente:

- **IEC 62305:2013** Lightning protection (Parte 1, 2, 3 y 4).
- **UNE - EN 62305:2011** Protección contra el rayo (Partes 1, 2, 3 y 4)
- **NFPA 780:2014** Standard for the installation of lightning protection systems.

En base a la norma IEC 62305-1, se determinó el nivel de riesgo que posee la estructura (I, II, III, IV), y de acuerdo a ella, el radio de la esfera rodante a utilizar.

Nivel de protección	Radio de la esfera (rsc)	Corriente mínima presunta de rayo (Kac de cresta)	Eficiencia de protección
Nivel I	20	3 kAc	99%
Nivel II	30	5 kAc	98%
Nivel III	45	10 kAc	97%
Nivel IV	60	16 kAc	97%

Tabla 12: Nivel de protección y radio de esfera rodante.

Para nuestro caso se seleccionó el NIVEL II (radio de la esfera rodante de 30 metros), para el cálculo de las puntas franklin del sistema fotovoltaico (SFV), como se muestra a continuación:

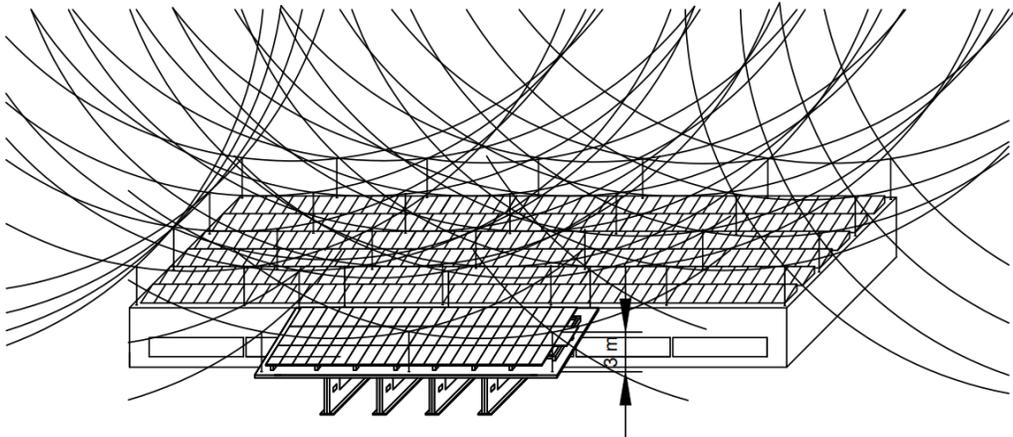


Figura 117: Ubicación de puntas Franklin, vista frontal.



Figura 118: Ubicaciones de puntas Franklin, vista en planta.

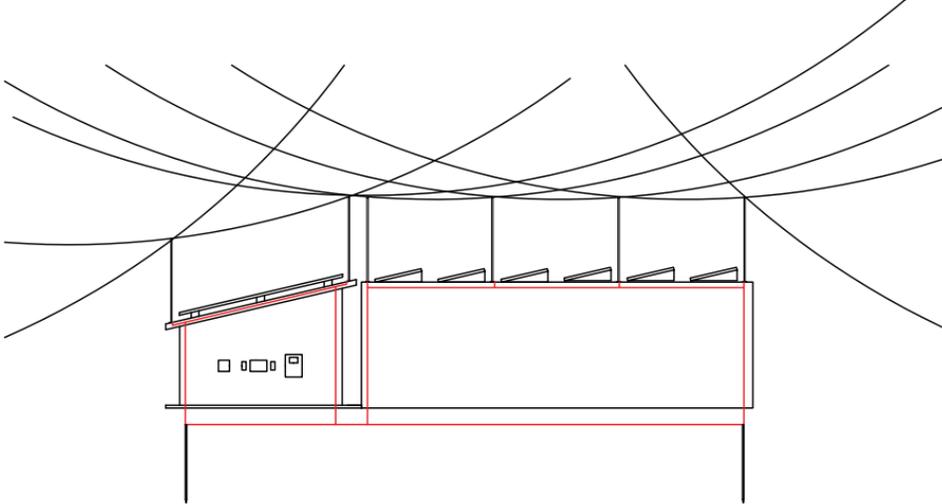
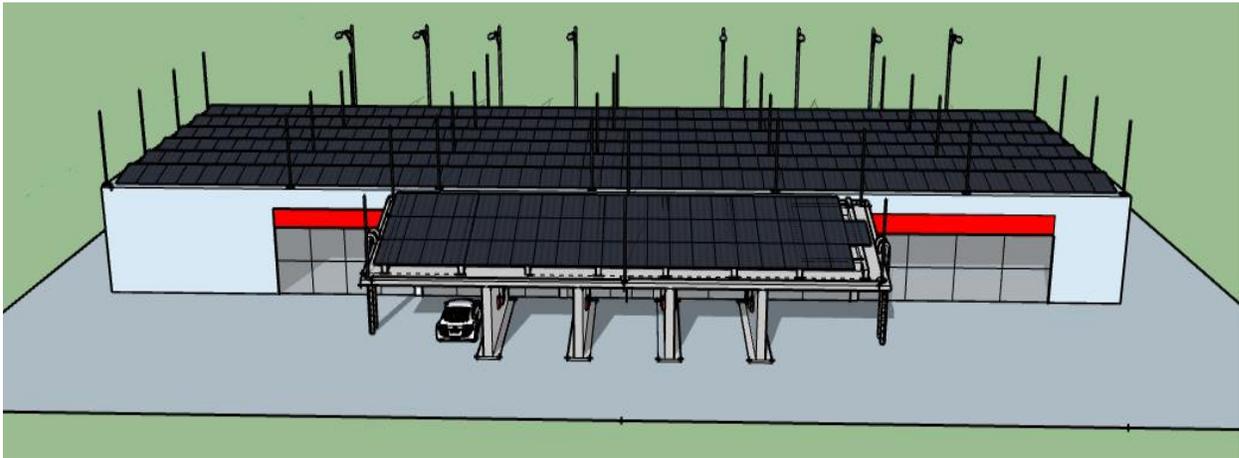


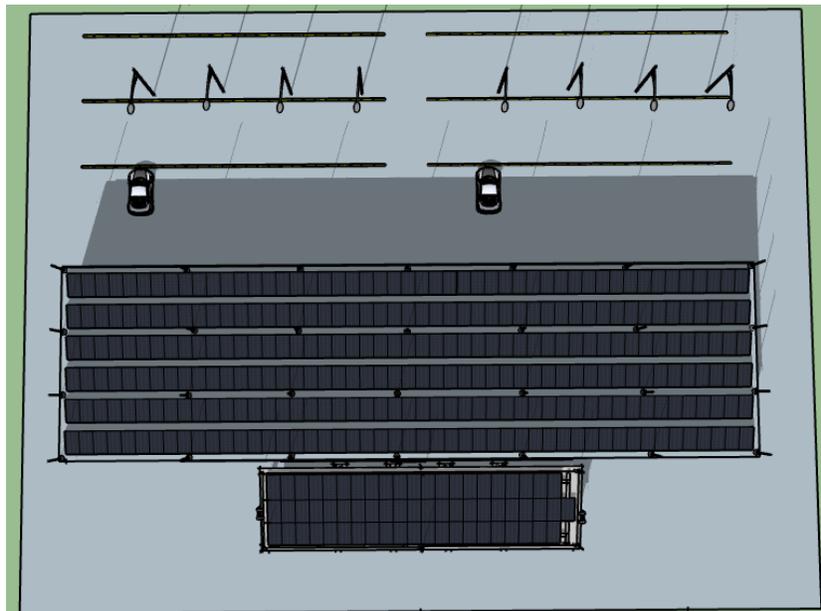
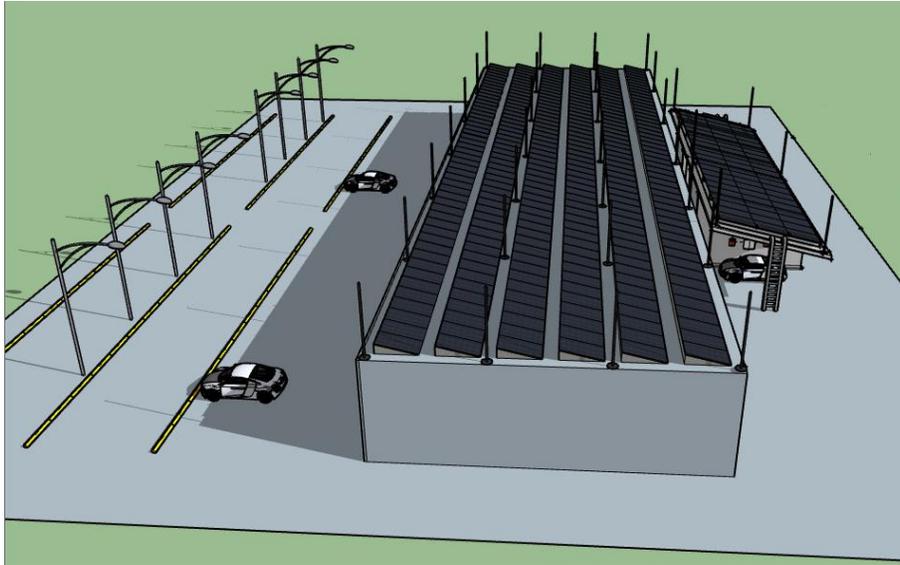
Figura 119: Vista de perfil de la ubicación de las puntas Franklin.

Se utilizarán 34 varillas punta hueca (punta Franklin) de $\varnothing 18 \times 3000 \text{ mm}$ de aluminio, conectadas por un conductor bimetalúico de aluminio cobrizado (cobre/aluminio) redondo de $8 \times 1000 \times 8 \text{ mm}$, utilizando 325 metros aproximadamente de cable.

6.4 LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EN LAS ESTACIONES DE CARGA:

A continuación, procedemos a indicar la localización de cada uno de los elementos que conforman la estación de carga aislada (realizado en Sketchup), los cuales son: Tienda de conveniencia, cargadores con sus respectivos módulos fotovoltaicos y estacionamiento, como se muestran en las imágenes:





6.5 CALCULO DE PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN:

Un punto de vital importancia en la estación de carga son las protecciones a colocar en la subestación, ya que nuestro sistema es aislado y a un nivel de tensión bajo (208 V), las corrientes son mucho más elevadas que en los casos anteriores, por lo tanto, la mayoría de protecciones a instalar serán fusibles.

El sistema eléctrico está separado en dos subsistemas, puesto se ha diseñado así para disminuir las corrientes implicadas en los puntos críticos, de modo que el diagrama unifilar de la estación es el siguiente:

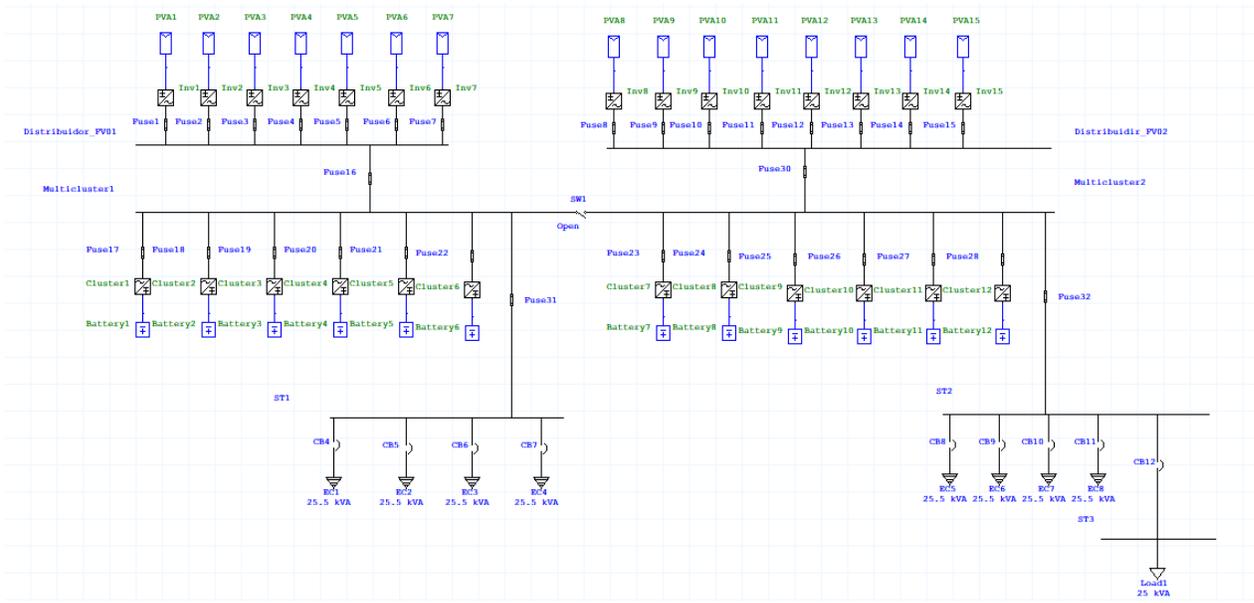


Figura 120: Diagrama unifilar de la estación de carga

Según se observa en la figura anterior, la configuración consta de dos sistemas aislados con cargas similares, y con una conexión normalmente abierta entre los dos buses principales (los cuales son en realidad Multicluster de la marca SMA).

El primer sistema consta de 7 grupos trifásicos de inversores Sunny Mini Central, Cada uno con sus paneles fotovoltaicos, un Multicluster Box 12 como barra principal y control de carga y 6 grupos trifásicos de Sunny Island 5048-US, donde cada uno tiene instalados 8 baterías Freedom DF3000. Todo lo anterior funge como generación, por otro lado, se tiene como carga a cuatro cargadores DC WallBox con un consumo máximo de 25kW. De modo que el diagrama unifilar es el siguiente:

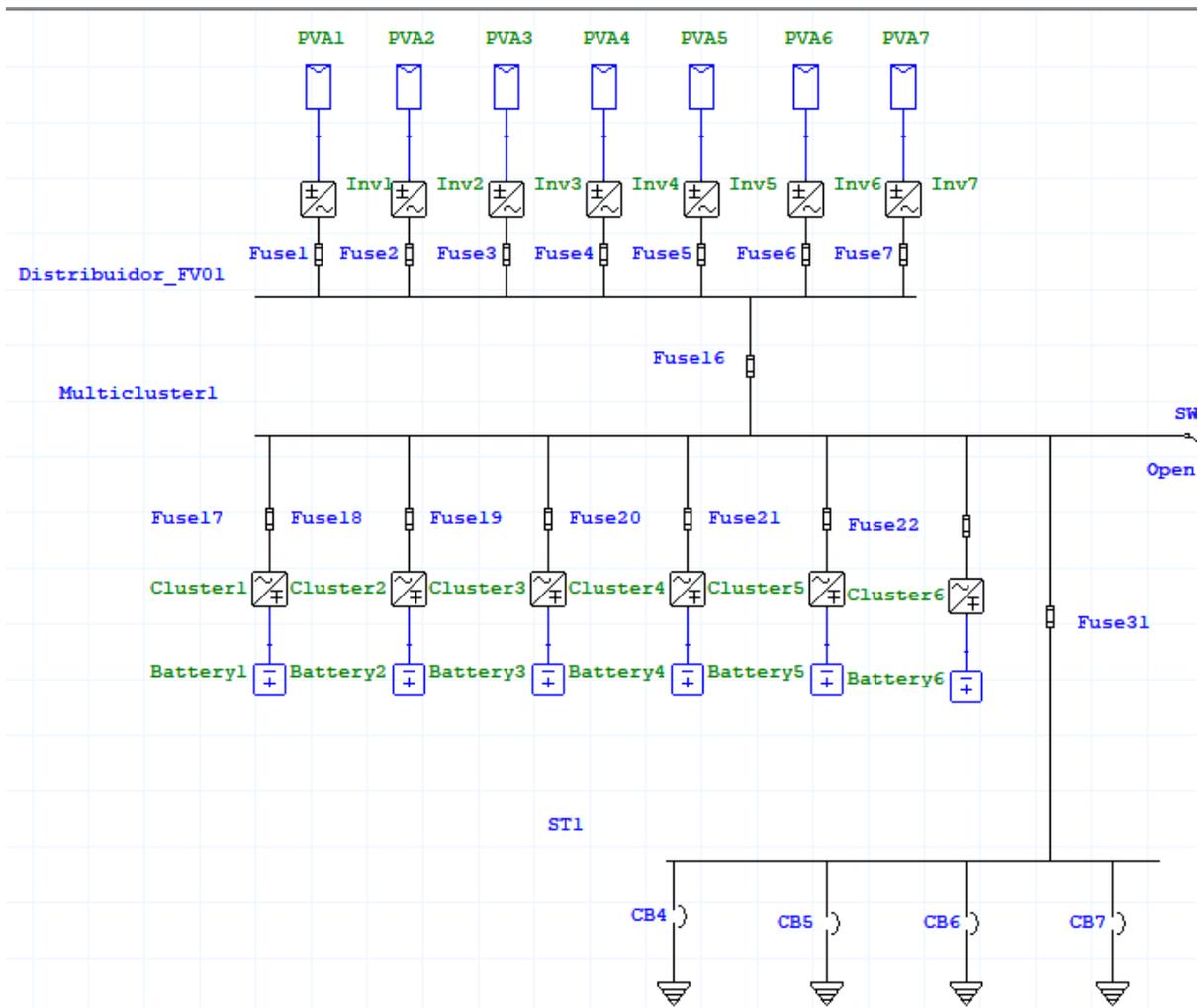


Figura 121: Sistema de carga 1

El segundo sistema consta de 8 grupos trifásicos de inversores Sunny Mini Central, Cada uno con sus paneles fotovoltaicos, un Multicluster Box 12 como barra principal y control de carga y 6 grupos trifásicos de Sunny Island 5048-US, donde cada uno tiene instalados 8 baterías Freedom DF3000. Todo lo anterior funge como generación, por otro lado, se tiene como carga a cuatro cargadores DC WallBox con un consumo máximo de 25kW y un sub tablero con una carga asignada de 25kW para usos varios. De modo que el diagrama unifilar es el siguiente:

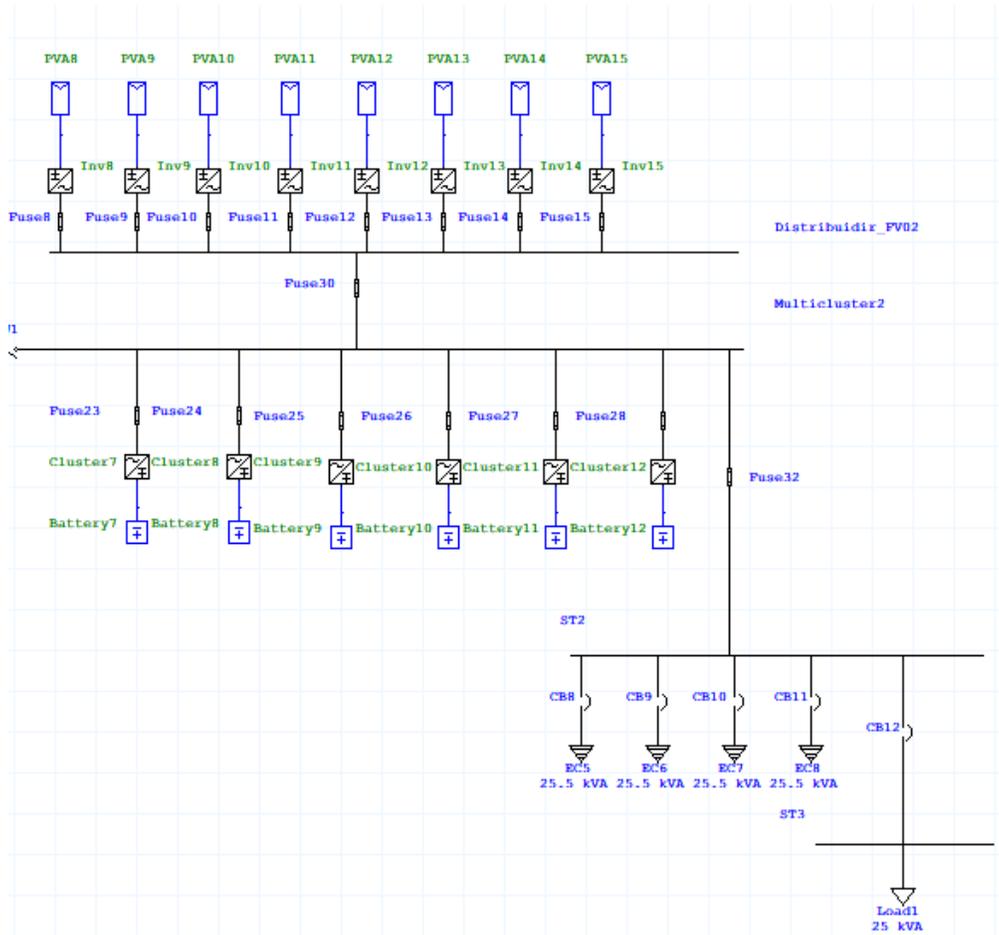


Figura 122: Sistema de carga 2

Las protecciones que son fusibles irán dentro de un gabinete, este gabinete a sus ves tiene interruptores con control electrónico para la conexión de las diferentes fuentes de energías, dicho gabinete es el Multicluster Box 12, de la compañía SMA, el cual se muestra a continuación:



Figura 123: Multicluster Box 12

Ya teniendo claro las conexiones del sistema, se procede a calcular las protecciones del sistema. Los Sunny Mini central tiene una potencia de 10kW cada uno, de modo que la protección a usar es regida por el siguiente cálculo:

$$F_{Mini_{central}} = \frac{10kW}{120V} \times 1.25 = 104.16$$

Por lo tanto, la protección será un fusible de 100 A, cuyo valor también es el recomendado por el fabricante del equipo.

La siguiente protección a calcular es la que protege la conexión entre el distribuidor fotovoltaico y el Multicluster, la cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$F_{Distribuidor} = \frac{70kW}{120V} \times 1.25 = 729.16$$

Para dicha corriente, el fusible más cercano es el de 800 A.

Por otro lado, para los inversores de baterías Sunny Island, cada uno puede suministrar una potencia sostenida de 5kW, por lo que la protección a utilizar es:

$$F_{Island} = \frac{5kW}{120V} \times 1.25 = 52 A$$

Por lo tanto, el fusible más próximo es de 50 A, que también es la protección recomendada por el fabricante del equipo.

Como protección principal para los sub tableros, se tiene los siguientes cálculos:

$$F_{ST1} = \frac{25kW}{120V} \times 4 \text{ cargadores} \times 1.25 = 347 A$$

$$F_{ST2} = \frac{25kW}{120V} \times 5 \times 1.25 = 434 A$$

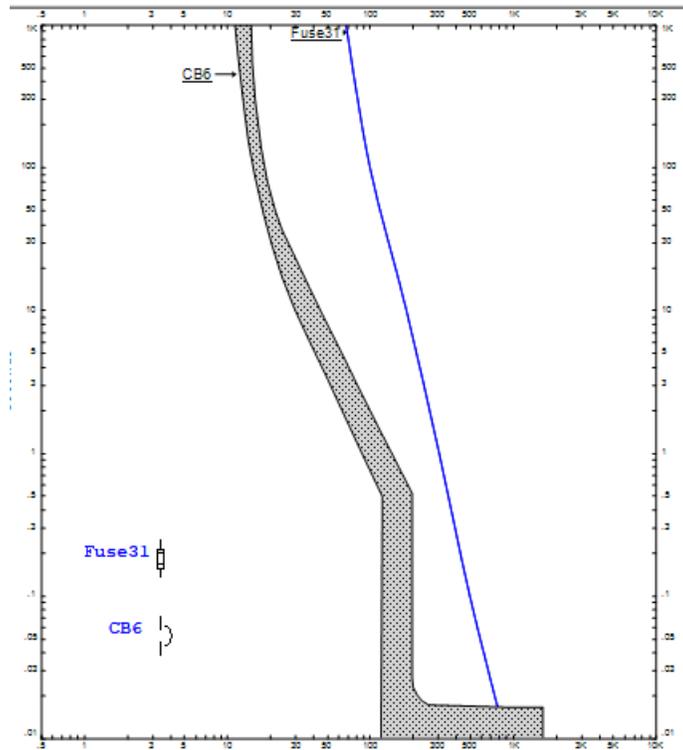
Con lo que se tiene que las protecciones serán fusibles de 355 A y 450 A respectivamente.

Ahora que ya se calcularon todos los fusibles del sistema, se procede a calcular los interruptores termo magnéticos que darán control a los cargadores. En este caso nos valemos de las recomendaciones del fabricante, por lo que tiene que ser un interruptor de 100 A

6.6 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES:

Es de suma importancia que las protecciones estén coordinadas de forma adecuada en cualquier instalación eléctrica. Para este caso de diseño, la coordinación del accionamiento de los fusibles no supone mayores cálculos, ya que, los fusibles a utilizar son los que recomienda el fabricante, el cual se respalda ya con un estudio previo del buen funcionamiento de éstos, por lo tanto, el punto de interés para una buena coordinación se da en la transición entre los fusibles y los interruptores termo magnéticos.

A continuación, se muestra el diagrama de coordinación entre el fusible principal de la salida de carga y los interruptores termo magnéticos de las estaciones de carga:



Gráfica 8: Coordinación entre fusible principal e interruptor termo magnético.

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe una buena coordinación entre el interruptor de 100 A y el fusible de 355 A.

6.7 CALCULO DE ALAMBRADO Y DUCTERÍA DE LA SUBESTACIÓN:

Para calcular alambrado y ductería de la estación, se hará uso de la tabla C.1 y la tabla 316.16 del NEC 2008 versión español, los cuales se encuentran en los anexos, por lo que los cálculos son los siguientes:

Para los Sunny Mini central tiene una potencia de 10kW cada uno:

$$I_{Mini_{central}} = \frac{10kW}{120V} \times 1.25 = 104.16$$

Por lo tanto, el cable a utilizar es el THHN 2 AWG, el cual tiene una corriente nominal de 130 A y el conduit EMT a utilizar es de 1 ½”

El siguiente cable a calcular es el que conecta el distribuidor fotovoltaico y el Multicluster, el cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$I_{Distribuidor} = \frac{70kW}{120V} \times 1.25 = 729.16$$

Para dicha corriente, se utilizarán dos cables THHN 350 MCM en paralelo por fase, separados en conduit diferente, de como que el conduit a utilizar es de 2 ½”.

Por otro lado, para los inversores de baterías Sunny Island, cada uno puede suministrar una potencia sostenida de 5kW, por lo que la corriente a utilizar es:

$$I_{Island} = \frac{5kW}{120V} \times 1.25 = 52 A$$

Por lo tanto, el calibre de conductor a utilizar es el THHN 8 AWG, con conduit de ¾”.

Como alimentación para los sub tableros, se tiene los siguientes cálculos:

$$I_{ST1} = \frac{25kW}{120V} \times 4 \text{ cargadores} \times 1.25 = 347 A$$

Con lo que tiene que tener un cable calibre 350 MCM en tubería de 2 ½”.

$$I_{ST2} = \frac{25kW}{120V} \times 5 \times 1.25 = 434 A$$

Para lo cual se utilizarán 2 cables calibre 2/0 AWG en paralelo, pero en tubería diferente, de modo que el conduit a utilizar será de 2”.

Y, por último, el cable que conecta a los sub tableros con los cargadores se rigen por el siguiente cálculo:

$$I_{Cargador} = \frac{25kW}{120V} \times 1.25 = 86.8 A$$

Por lo tanto, el cable a utilizar tiene que ser THHN 4 AWG, en tubería de 1”.

CAPÍTULO VII: MODOS DE CARGA PARA LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Una parte importante de las estaciones de carga para automóviles eléctricos, es la forma en la que transmite la energía de la estación de carga hacia los vehículos, así como el modo en que lo hacen, es por ello que en el presente capítulo, se verán los modos de carga que existen o que se pueden utilizar en el diseño de las cuatro estaciones de carga que se han implementado en el presente trabajo de graduación, para ello se deben conocer los tipos de conectores existentes, los cuales ya se hicieron mención en la parte de “**TIPOS DE CONECTORES PARA AUTOMOVILES ELECTRICOS**” ubicada en el marco teórico; en la parte de anexos se encuentra la hoja de datos del cargador utilizado, donde se indica el tipo de cargador el cual es Delta DC Wallbox EV Charger, en este caso el cargador cuenta con la compatibilidad con dos tipos de conectores, los cuales son el CHAdeMO (50-500 Vdc, 60 A, 25 kW max.) y el SAE J1772 DC Level 2 (200-500 Vdc, 65 A, 25 kW max.), en ambos casos la alimentación que ofrecen es corriente directa (DC) la cual es para carga rápida, siendo ambas utilizadas en Estados Unidos, Europa y Asia.

Conociendo el tipo de cargador utilizado por las estaciones de carga, procedemos a mencionar el modo de carga que utilizan, en la parte de “**MODOS DE CARGA PARA AUTOMOVILES ELECTRICOS**” ubicada en el marco teórico, se hace mención de todos los tipos de modos de carga que existe actualmente, para el cargador Delta DC Wallbox EV Charger cuenta con dos modos de carga, las cuales son el modo de carga 3 (que proporciona 7.3 kW de potencia, siendo un modo de carga semi-rápido), y el modo de carga 4 (que proporciona 350 kW de potencia, siendo un modo de carga rápido), en la imagen siguiente se pueden observar dichos modos:

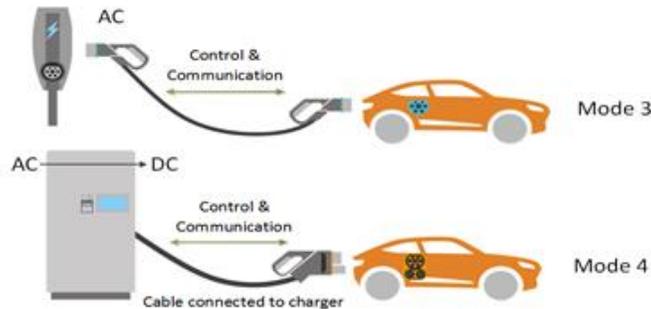


Figura 124: Modos de carga 3 y 4 para vehículos eléctricos.



Figura 125: Conector SAE 1772 DC Level 2 para EVs.



Figura 126: Conector CHAdeMO para EVs.

Una parte importante que se debe tener en cuenta al momento de utilizar los conectores de los cargadores, es la compatibilidad con los vehículos eléctricos, para el caso de CHAdeMO la compatibilidad que posee son para los vehículos siguientes:

- Citroën C-Zero
- Citroën Berlingo eléctrico
- Fiat 500e
- Honda Fit EV
- Hyundai Ioniq Eléctrico
- Kia Soul EV
- Mazda Demio EV
- Mitsubishi i-MiEV
- Mitsubishi Minicab MiEV
- Mitsubishi Outlander P-HEV
- Nissan Leaf
- Nissan e-NV200
- Peugeot iOn
- Peugeot Partner EV
- Subaru Stella EV
- Tesla Model S (con adaptador opcional) En enero de 2015 Tesla puso a la venta el adaptador CHAdeMO que permite cargar a 50 kW en las estaciones de carga que usan dicho protocolo
- Tesla Model X (con adaptador opcional)
- Tesla Model 3 (con adaptador opcional)
- Toyota eQ
- Toyota RAV4 EV First Generation 2001-2003 (con adaptador de terceros)
- Toyota RAV4 EV Second Generation 2012-2014 (con adaptador de terceros)
- Zero Motorcycles (a través de un conector opcional)
- Entre otros

Para el caso del conector SAE 1772 presenta compatibilidad con los siguientes vehículos:

- Nissan Leaf
- Chevrolet Bolt Eléctrico
- Chevrolet Volt Híbrido
- Fisker Karma

- Coda Automotive sedan
- Toyota Prius Plug-in Hybrid&It
- Mitsubishi i MiEV
- Honda Fit EV (concept)
- Ford Focus Electric
- Smart electric drive
- Tesla Roadster
- Tesla Model S
- OKA NEV ZEV AC
- Th!nk City
- Renault
- Kangoo Z.E (230V-16 A max.)
- Renault Fluence Z.E.
- BMW ActiveE
- Entre otros

Alguna de las normativas que cumplen los conectores de CHAdEMO y SAE 1772 son las siguientes: la IEC 62196 conocida como CSS o Combo, es un estándar para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de carga (especialmente rápida), y está regido por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), posee dentro de ella la norma IEC 62196-1, 62196-2 y la 62196-3 (La norma IEC 62196-3 amplía la IEC 62196-1 y describe diseños específicos de conectores y enchufes de vehículos para la carga DC en modo 4, tal y como se describe por la IEC 61851-1 y la IEC 61851-23), la norma IEC 60309 (anteriormente conocida como IEC 309) que al igual que la IEC 62196 es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional para “Enchufes de uso industrial” también conocidos como **cetac**, la norma nos permite un voltaje de 690 V CC o CA, corrientes hasta 250 A, frecuencias hasta 500 Hz y temperaturas que rondan entre -25 °C a 40 °C y contiene las siguientes estandarizaciones:

- La IEC 60309-1 que especifica la funcionalidad general y los requerimientos de seguridad para todos los enchufes de elevada corriente para uso industrial.
- La IEC 60309-2 que especifica un rango de los principales enchufes con tomas circulares, y diferentes números y configuraciones de las clavijas para aplicaciones distintas.
- La IEC 60309-3 que trataba de los conectores para uso en ambientes explosivos, pero fue anulada en 1998.
- La IEC 60309-4 que se ocupa de la interconexión entre clavijas y tomas, y entre distintos conectores.

La norma IEC 61851 en la cual se basa la norma IEC 62196, contiene un mecanismo que no permite la entrega de electricidad, a menos que esté conectado a un vehículo que este inmovilizado, para evitar que se marche mientras siga conectado, dicha norma tiene las siguientes partes, estandarizadas en el documento de la IEC 61851:

- IEC 61851-1, que indica los requisitos generales (en la bibliografía se anexa el link de los requisitos para mayor información).
- IEC 61851-21-1, que contiene la información sobre vehículo eléctrico, cargador de a bordo, requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM o EMC) para conexión conductora a un suministro de AC/DC.
- IEC 61851-21-2, que habla sobre los requisitos de vehículos eléctricos para conexión conductora a un suministro de AC/DC –requisitos EMC de sistemas de carga del vehículo eléctrico embarcados.
- IEC 61851-22, que trata sobre estaciones de carga AC de vehículos eléctricos.
- IEC 61851-23, referente a estación de carga DC de vehículos eléctricos.
- IEC 61851-24, referente a comunicación digital entre una estación de carga DC de VE y un vehículo eléctrico, para el control de carga DC

Algunas de las normativas mencionadas en esta sección, se hicieron mención en el capítulo 3 sobre “LEYES Y NORMATIVAS APLICABLES A LAS ESTACIONES DE CARGA PARA AUTOMOVILES ELECTRICOS”, en la parte de bibliografía se anexan los links de las normativas para mayor información.

7.1 ALTERNATIVA DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS:

Una alternativa (que se está considerando a futuro) para alimentar los automóviles eléctricos es inalámbricamente, la cual puede ser por medio de inducción electromagnética o por medio de la resonancia magnética, ambos modos presentan una baja eficiencia al momento de cargar los automóviles, debido a las pérdidas que presenta el mecanismo al momento de transferir la energía de un punto “A” a un punto “B, es importante recalcar que debido a esto el tiempo de carga es bastante grande.

Para el caso de inducción electromagnética, la carga es netamente inductiva y utiliza un campo electromagnético para realizar la transferencia de energía, se requiere que el dispositivo encargado de transferir energía este en contacto o a pocos centímetros del dispositivo a cargar (en este caso del automóvil eléctrico), una de las ventajas de este modo de carga es que no recibe un desgaste, ya que no cuenta con un contacto directo con la fuente y no presenta partes móviles que lo desgasten, aparte de ser funcional al contacto con el agua.

Para el caso de resonancia magnética, la carga debe estar ubicada a unos 50 cm aproximadamente de distancia, esta utiliza dos bobinas de cobre, una que realiza el trabajo de enviar la energía de la fuente y la otra que recibe la energía y que va conectada al dispositivo a cargar, ocurriendo la transferencia de energía cuando las dos bobinas están a la misma frecuencia y se encuentran cerca.

Para la carga inalámbrica de automóviles eléctricos (WEVC del inglés Wireless Electric Vehicle Charging), se cuenta con dos tipos principales de sistemas, los cuales son:

- **Sistemas estáticos o estacionarios:** este tipo de sistemas está pensado para cargar los EV’s mientras están estacionados, actualmente la compañía Toyota en

colaboración con WiTricity pretende implementar dicho sistema de carga, algunos modelos a implementarse con este sistema son el Chevrolet Volt así como el Nissan Leaf, este sistema está pensado para enchufes nivel 2 (240 V).

- **Sistema dinámico:** este dispositivo tiene por objetivo carga los automóviles eléctricos cuando están en movimiento, como sucede con la versión dinámica de Qualcomm Halo (compañía estadounidense productora de chipsets).

Actualmente no existen estándares y normas definidas para la utilización de dichos cargadores inalámbricos, es por ello que SAE, IEEE (Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica) y CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) están trabajando en ello.

Actualmente ya existen cargadores inalámbricos para automóviles eléctricos, pero como se mencionó al principio de este apartado, dichos cargadores presentan una baja eficiencia y tiempos relativamente largos de carga, es por ello que la Universidad de Zaragoza (UZ) junto con las empresas AITEL, Endesa, Circe y BALAY cuentan con un presupuesto de 2,3 millones de euros para la construcción de dispositivos de carga para EV's de una forma rápida por medio de inducción, haciendo a España uno de los primero pionero en este tema, dicho dispositivo cuenta con una eficiencia del 94% en su modelo de baja potencia (5 kWh) a una distancia de 20 cm y con tiempos de recarga de 15 minutos en alta potencia, como se muestra en las imágenes:



Figura 127: Modo de carga rápida por inductivo para EV's.

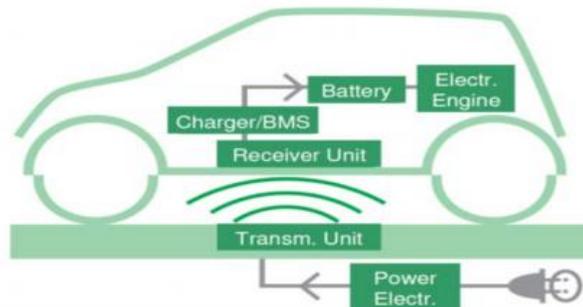


Figura 128: Sistema de carga rápida por inductivo de un vehículo eléctrico.

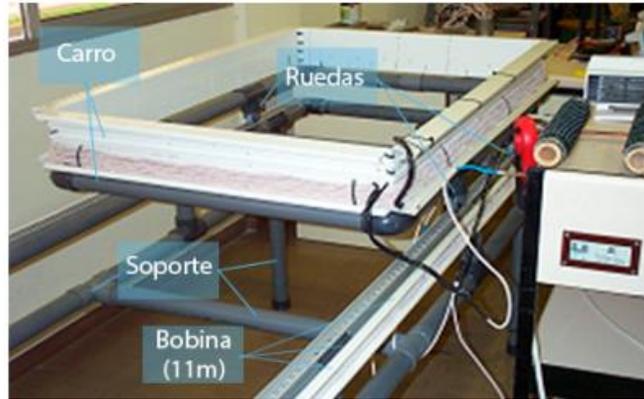


Figura 129: Prototipo de carga dinámica por inducción.

También es importante mencionar que ya existen automóviles capaces de interactuar con esta tecnología, como lo son el BMW Wireless Charging, Kia Soul, entre otros.



Figura 130: BMW Wireless Charging con carga lenta por inducción.



Figura 131: Vista interna de un BMW Wireless Charging por medio de inducción lenta



Figura 132: Cargador lento por medio de inducción.



Figura 133: Kia Soul con capacidad de recibir carga inductiva.

CAPÍTULO VIII: COSTO POR kWh CONSUMIDO

Para que un proyecto como el mostrado en el presente trabajo de graduación sea rentable, tiene que tener una recuperación de la inversión por debajo de los tres años, para que eso sea posible, el uso de los automóviles eléctricos tiene que ser una práctica habitual en nuestro entorno, así que, partiendo de la hipótesis de que en el salvador se tenga una cantidad aceptable de vehículos eléctricos para dentro de 5 años, y que las estaciones de carga den al menos 10 cargas completas a lo largo de un día normal, y asumiendo que las estaciones de carga entrarían en funcionamiento para ese tiempo, en base a las anteriores suposiciones se pueden hacer los siguientes cálculos para la rentabilidad del establecimiento, así como un cálculo aproximado del precio de venta para el kWh suministrado.

Para poder calcular el precio de venta del kWh suministrado por la estación, primero se tiene que sacar todos los costos de material, así como equipos e instalación que implican el poner en funcionamiento una electrolinera como la mostrada en el presente documento. Por lo tanto, el primer paso es tener una lista de todos los materiales y equipos que se necesitan.

8.1 COSTOS DE LA TIERRA PARA LAS DIFERENTES LOCALIDADES DE LA ESTACIÓN DE CARGA:

Como primer punto a tener en cuenta para los cálculos es el costo de la tierra, para obtener dicho valor se tomaron 4 precios representativos de terrenos en venta de las cercanías de cada estación de carga, de cada terreno se calculó a cuanto se está vendiendo el metro cuadrado de tierra, para posteriormente calcular un precio promedio por metro cuadrado. Con los datos obtenidos solo es necesario multiplicar el precio del metro cuadrado por la superficie de cada estación, de modo que se obtienen los siguientes resultados:

Costo de la tierra:				
Lugar	San Miguel	Santa tecla	San Salvador	Acajutla
Precio 1 (\$/m2)	124.45	78.70	115.85	56.00
Precio 2 (\$/m2)	114.28	465.15	200.37	54.38
Precio 3 (\$/m2)	311.14	97.00	787.17	23.36
Precio 4 (\$/m2)	80.00	305.50	365.20	66.55
Promedio (\$/m2)	157.47	236.59	367.15	50.07
Terreno (m2)	2500	1368.75	854.25	2760
Precio del terreno	\$ 393,668.75	\$ 323,829.14	\$ 313,635.75	\$ 138,200.10

Tabla 13: Cálculo de costos de la tierra.

8.2 COSTOS DE LA INSTALACIÓN ELECTRICA DE LA ESTACIÓN DE CARGA:

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes calibres de conductor y conduit necesarios para la instalación eléctrica, y sus respectivas cantidades promedios y precios.

Los precios son de distribuidores salvadoreños, mayoritariamente de la empresa VIDRI y CELASA.

Cableado y ductería:				
Material	Precio por unidad	Unidad	Cantidad	Precio
Cable THHN 350 MCM	\$ 17.58	m	45.00	\$ 791.10
Cable THHN 1/0 AWG	\$ 7.73	m	30.00	\$ 231.90
Cable THHN 4 AWG	\$ 3.13	m	135.00	\$ 422.55
Cable THHN 6 AWG	\$ 1.70	m	11.00	\$ 18.70
Cable THHN 8 AWG	\$ 1.12	m	600.00	\$ 672.00
Cable THHN 10 AWG	\$ 0.70	m	300.00	\$ 210.00
Cable THHN 12 AWG	\$ 0.69	m	150.00	\$ 103.50
Cable THHN 14 AWG	\$ 0.28	m	50.00	\$ 14.00
Conduit PVC 4"	\$ 4.33	m	15.00	\$ 64.88
Conduit PVC 2"	\$ 1.22	m	40.00	\$ 48.67
Conduit EMT 2"	\$ 4.08	m	12.00	\$ 49.00
Conduit EMT 1"	\$ 1.80	m	200.00	\$ 360.00
Conduit 3/4"	\$ 1.80	m	65.00	\$ 117.00
			TOTAL:	\$ 3,103.29

Tabla 14: Materiales y costos de la red eléctrica

A continuación, se muestran los costos de los tableros, protecciones y transformadores a instalar en la estación de carga:

Tableros, protecciones y transformadores				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Interruptor GE TEY320	\$ 160.00	Unidad	2	\$ 320.00
Interruptor GE TEY330	\$ 173.00	Unidad	3	\$ 519.00
Interruptor GE TEY340	\$ 65.00	Unidad	8	\$ 520.00
Interruptor GE TJJ436125	\$ 408.00	Unidad	2	\$ 816.00
Interruptor GE TJJ436300	\$ 560.00	Unidad	1	\$ 560.00
Interruptor GE THQL 60 ^a	\$ 47.95	Unidad	1	\$ 47.95
Tablero 18 espacios 3F 100 ^a	\$ 110.00	Unidad	1	\$ 110.00
Tablero industrial GE serie AS	\$ 181.27	Unidad	3	\$ 543.81
Transformador 225kVA 480V	\$1,099.00	unidad	1	\$1,099.00
Transformador 3F 25kVA	\$ 306.00	unidad	1	\$ 306.00
			TOTAL:	\$ 4,841.76

Tabla 15: Tableros, protecciones y transformadores

El presupuesto para la puesta a tierra, así como el sistema contra descargas atmosféricas, tiene diferentes variantes dependiendo de la estación, esto se debe a que las estaciones tienen diferentes tamaños, y por depender del área de las estructuras, no se puede usar un dato promedio como en el caso anterior, por lo tanto, existe un presupuesto diferente por cada estación de carga.

Estación de Acajutla:

Sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas: Acajutla				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Cable ASCR 1/0	\$ 0.98	m	425.00	\$ 416.50
barra de tierra 10'	\$ 14.95	Unidad	4.00	\$ 59.80
Punta Franklin	\$ 25.00	Unidad	6.00	\$ 150.00
			TOTAL:	\$ 626.30

Tabla 16: Materiales y costos de red de tierra Acajutla.

Estación de Santa Tecla:

Sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas: Santa Tecla				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Cable ASCR 1/0	\$ 0.98	m	455.00	\$ 445.90
barra de tierra 10'	\$ 14.95	Unidad	4.00	\$ 59.80
Punta Franklin	\$ 25.00	Unidad	6.00	\$ 150.00
			TOTAL:	\$ 655.70

Tabla 17: Materiales y costos de red de tierra Santa Tecla.

Estación San Salvador:

Sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas: San Salvador				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Cable ASCR 1/0	\$ 0.98	m	360.00	\$ 352.80
barra de tierra 10'	\$ 14.95	Unidad	4.00	\$ 59.80
Punta Franklin	\$ 25.00	Unidad	6.00	\$ 150.00
			TOTAL:	\$ 562.60

Tabla 18: Materiales y costos de red de tierra San Salvador.

Estación San Miguel:

Sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas: San Miguel				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Cable ASCR 1/0	\$ 0.98	m	580.00	\$ 568.40
barra de tierra 10'	\$ 14.95	Unidad	4.00	\$ 59.80
Punta Franklin	\$ 25.00	Unidad	6.00	\$ 150.00
			TOTAL:	\$ 778.20

Tabla 19: Materiales y costos de red de tierra San Miguel.

8.3 COSTOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE LA ESTACIÓN DE CARGA:

Los costos de los materiales y equipo para el sistema fotovoltaico tienen una pequeña variación dependiendo de la estación a considerar, esto debido a las diferentes formas que tienen las instalaciones propuestas. El mayor cambio entre los diferentes presupuestos viene dado por las diferentes cantidades del tubo estructural con el que está armada la estructura de soporte de los paneles. Para calcular las diferentes cantidades de material necesario, se hace uso de diagramas de la construcción de la estructura.

La sujeción de los paneles a los soportes se logra por medio de un riel de sujeción, el cual tiene la siguiente dimensión:

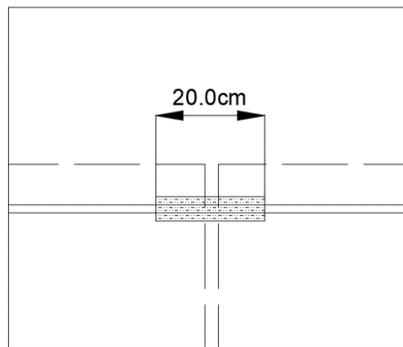


Figura 134: Riel de sujeción.

Dicho riel es compartido en los puntos de sujeción de los paneles continuos, y en los puntos extremos se tiene un riel de la mitad de longitud. Las demás estructuras de las estaciones de carga quedan de la siguiente manera:

Estación Acajutla y Santa Tecla:

La estructura de soporte para los paneles solares de la estación Acajutla tiene el mismo diseño que el de la estación de Santa Tecla, la cual no necesita formar un ángulo de 13° con los soportes, ya que el propio techo de la estación cuenta con esa inclinación, por lo tanto, el soporte descansa directamente sobre el techo, de tal forma que la estructura base tiene las siguientes dimensiones:

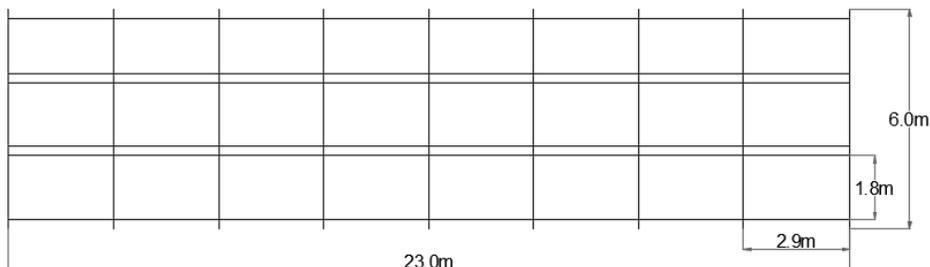


Figura 135: Soporte de paneles fotovoltaicos Acajutla y Santa Tecla

Por lo tanto, la tabla de costos queda de la siguiente manera:

Sistema fotovoltaico Acajutla y Santa Tecla				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Panel SunPower 400 Wp	\$ 64.00	Unidad	64.00	\$4,096.00
Inversor Fronius Symo 10.0-3 480	\$3,797.00	Unidad	2.00	\$7,594.00
Cable TopSolar PV ZZ-F	\$ 0.58	m	132.00	\$ 76.56
estructura acero galvanizado	\$ 1.94	m	138.00	\$ 267.72
Riel Acero para montaje	\$ 2.88	m	28.00	\$ 80.64
Conector MC4	\$ 0.60	par	128.00	\$ 76.80
Costo por instalación de panel	\$ 1.00	unidad	64.00	\$ 64.00
			TOTAL:	\$ 12,255.72

Tabla 20: Materiales y costos del sistema fotovoltaico Acajutla y Santa Tecla.

Estación San Salvador:

La estación de San Salvador tiene un techo plano, por lo que, la estructura de soporte tiene que generar el ángulo de 13° en los paneles, de forma que la estructura tiene la siguiente forma:

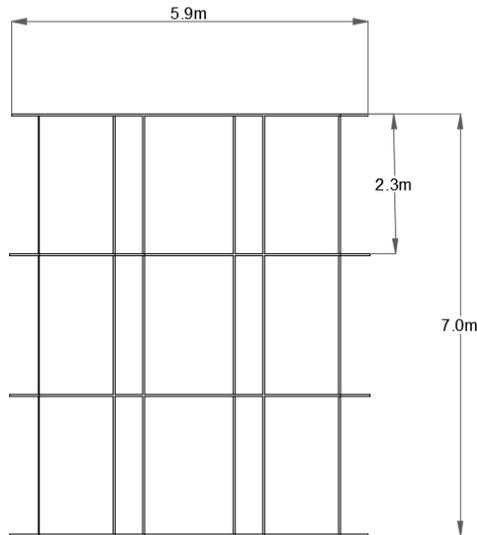


Figura 136: Vista en planta de una estructura de la estación San Salvador.

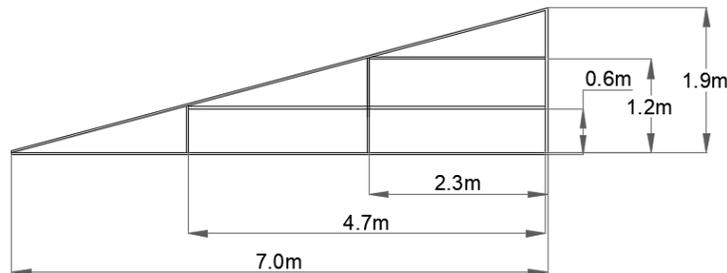


Figura 137: Vista lateral estructura San Salvador.

La estación cuenta con tres estructuras iguales en la cual reposan los paneles fotovoltaicos, de modo que las cantidades de material necesario sería lo antes postrado, pero por tres, por lo tanto, la tabla de costos queda de la siguiente manera:

Sistema fotovoltaico San Salvador				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Panel SunPower 400 Wp	\$ 64.00	Unidad	64.00	\$4,096.00
Inversor Fronius Symo 10.0-3 480	\$3,797.00	Unidad	2.00	\$7,594.00
Cable TopSolar PV ZZ-F	\$ 0.58	m	140.00	\$ 81.20
estructura acero galvanizado	\$ 1.94	m	297.00	\$ 576.18
Riel Acero para montaje	\$ 2.88	m	33.00	\$ 95.04
Conector MC4	\$ 0.60	par	128.00	\$ 76.80
Costo por instalación de panel	\$ 1.00	unidad	64.00	\$ 64.00
			TOTAL:	\$ 12,583.22

Tabla 21: Materiales y costos del sistema fotovoltaico San Salvador.

Estación San Miguel:

La estación de carga de San Miguel está diseñada de tal forma que pueda ser tomado como una adaptación a una gasolinera convencional, y por lo tanto el techo de ésta es plano. Partiendo de lo anterior, para poder proporcionarle a los paneles la inclinación óptima de trabajo, la estructura de soporte debe estar inclinada, la estación de Usuluán logra esto levantando secciones de 21 paneles. La siguiente alternativa de construcción busca no aumentar en la mayoría de lo posible el techo de la estación, de tal forma que la instalación está conformada por 11 secciones de 6 paneles cada una, por lo que cada sección tiene la siguiente estructura:

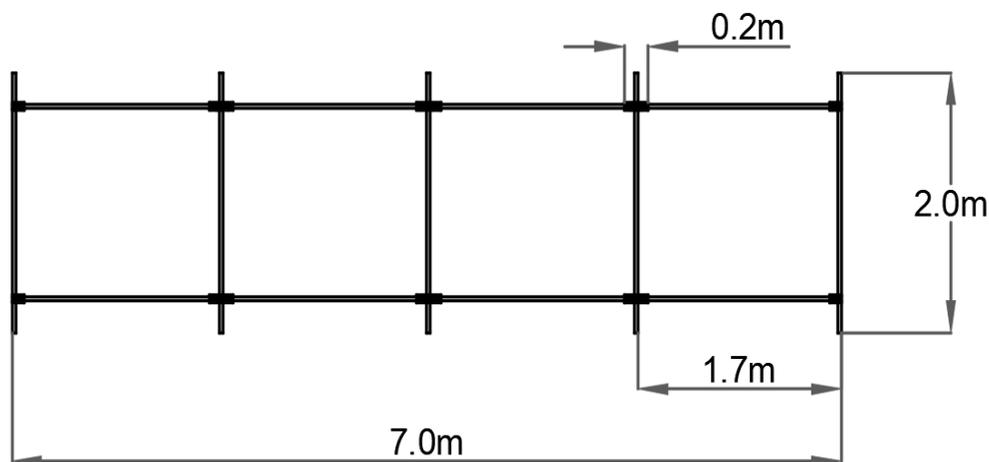


Figura 138: Vista en planta de una estructura de la estación San Miguel.

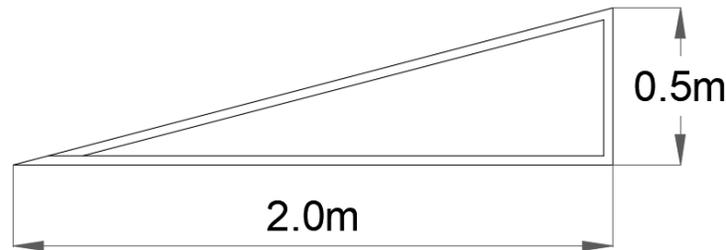


Figura 139: Vista lateral estructura San Miguel.

La estación cuenta con once estructuras iguales en la cual reposan los paneles fotovoltaicos, de modo que las cantidades de material necesario sería lo antes postrado, pero por once, por lo tanto, la tabla de costos queda de la siguiente manera:

Sistema fotovoltaico San Miguel				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Panel SunPower 400 Wp	\$ 64.00	Unidad	64.00	\$4,096.00
Inversor Fronius Symo 10.0-3 480	\$3,797.00	Unidad	2.00	\$7,594.00
Cable TopSolar PV ZZ-F	\$ 0.58	m	132.00	\$ 76.56
estructura acero galvanizado	\$ 1.94	m	294.00	\$ 570.36
Riel Acero para montaje	\$ 2.88	m	31.00	\$ 89.28
Conector MC4	\$ 0.60	par	128.00	\$ 76.80
Costo por instalación de panel	\$ 1.00	unidad	64.00	\$ 64.00
			TOTAL:	\$ 12,567.00

Tabla 22: Materiales y costos del sistema fotovoltaico San Miguel.

Como se puede observar al ver los totales del costo de la estación San miguel y San Salvador, aunque son diseños totalmente diferentes, aunque los dos partan de un techo plano, la cantidad de material a utilizar es aproximadamente igual en ambos casos.

8.4 COSTOS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

A continuación, se muestran los costos de los materiales necesarios para edificar las instalaciones, los materiales a utilizar en la construcción de edificio, así como el asfaltado de las instalaciones tienen precios basados en los proporcionados por los proveedores locales. La edificación es mayoritariamente una estructura de acero, por lo tanto, los costos estarán regidos por el precio del hierro, así como el precio de la mezcla asfáltica.

Las zonas para la movilización vehicular están pensadas para que el material de construcción sea asfalto, un criterio para poder elegir este material es por su alta resistividad en comparación con el concreto, por lo tanto, genera una protección adicional contra descargas a tierra.

Ya que cada estación de carga tiene áreas diferentes para la zona vehicular, a continuación, se muestran los cálculos necesarios para determinar las cantidades de material según la estación de carga.

v_m : volumen mayor

v_{mm} : volumen menor

v_T : volumen total

ACAJUTLA:

ACAJUTLA

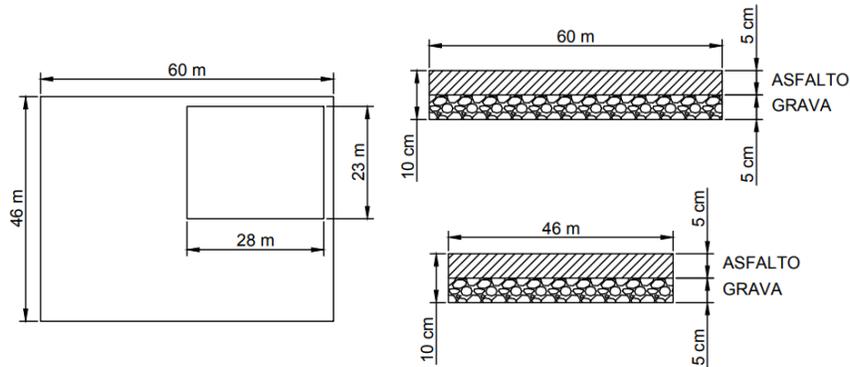


Figura 140: Área de asfalto y grava a utilizar en Acajutla.

Calculo de asfalto:

$$v_m = 46 * 60 * 0.05 = 138m^3 = 4873.42pie^3$$

$$v_{mm} = 23 * 28 * 0.05 = 32.2m^3 = 1137.132pie^3$$

$$v_T = v_m - v_{mm} = (4873.42 - 1137.132)pie^3 = 3736.288pie^3$$

Volumen total en galones:

$$v_{Tgalon} = (3736.288)(7.481) = 27951.17053 \text{ galones de asfalto}$$

Volumen total en toneladas:

Para realizar el cálculo en toneladas se multiplica el volumen total en pies cubico por el peso en libras de un pie cubico de asfalto:

Según la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico ha estimado un peso aproximado de 145 libras (65 kilogramos) por pie cuadrado, entonces:

$$v_{Tlibra} = (3736.288 pie^3) \left(\frac{145 lb}{1pie^3} \right) = 541761.76 lb$$

$$v_{Ttonelada} = \frac{541761.76}{2000} = 270.881 \text{ toneladas de asfalto}$$

Para el cálculo de grava se realiza el mismo procedimiento, dándonos el mismo resultado de 270.881 toneladas de grava.

SAN MIGUEL:

SAN MIGUEL

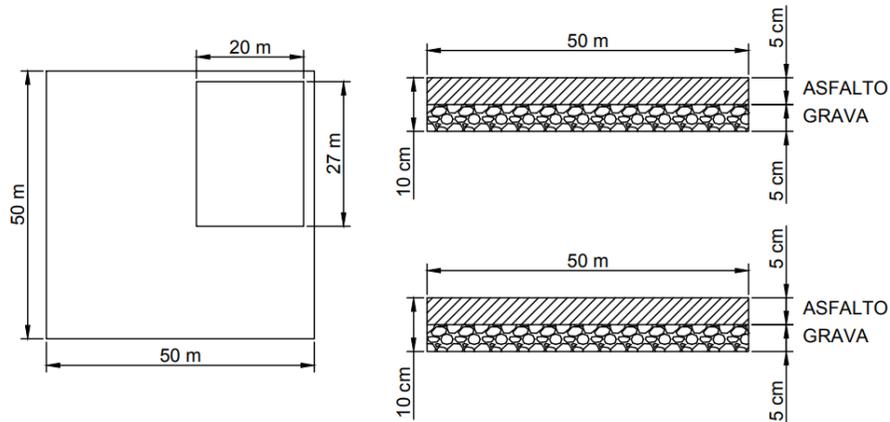


Figura 141: Área de asfalto y grava a utilizar en San Miguel.

Calculo de asfalto:

$$v_m = 50 * 50 * 0.05 = 125m^3 = 4414.33pie^3$$

$$v_{mm} = 20 * 27 * 0.05 = 27m^3 = 953.496pie^3$$

$$v_T = v_m - v_{mm} = (4414.33 - 953.496)pie^3 = 3460.834pie^3$$

Volumen total en galones:

$$v_{Tgalon} = (3460.834)(7.481) = 25890.499 \text{ galones de asfalto}$$

Volumen total en toneladas:

Para realizar el cálculo en toneladas se multiplica el volumen total en pies cubico por el peso en libras de un pie cubico de asfalto:

Según la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico ha estimado un peso aproximado de 145 libras (65 kilogramos) por pie cuadrado, entonces:

$$v_{Tlibra} = (3460.834 pie^3) \left(\frac{145 lb}{1pie^3} \right) = 501820.93 lb$$

$$v_{Ttonelada} = \frac{501820.93}{2000} = 250.91 \text{ toneladas de asfalto}$$

Para el cálculo de grava se realiza el mismo procedimiento, dándonos el mismo resultado de 250.91 toneladas de grava.

SANTA TECLA:

SANTA TECLA

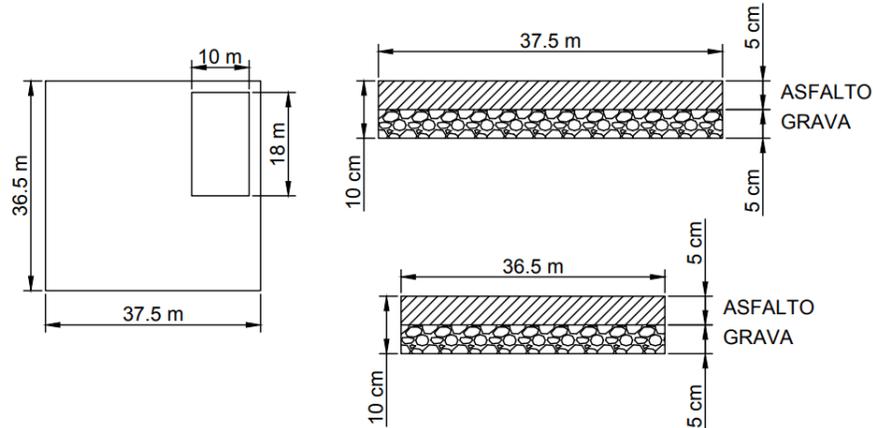


Figura 142: Área de asfalto y grava a utilizar en Santa Tecla.

Calculo de asfalto:

$$v_m = 37.5 * 36.5 * 0.05 = 68.4375m^3 = 2416.8475pie^3$$

$$v_{mm} = 18 * 10 * 0.05 = 9m^3 = 317.83pie^3$$

$$v_T = v_m - v_{mm} = (2416.8475 - 317.83)pie^3 = 2099.0155pie^3$$

Volumen total en galones:

$$v_{Tgalon} = (2099.0155)(7.481) = 15702.73496 \text{ galones de asfalto}$$

Volumen total en toneladas:

Para realizar el cálculo en toneladas se multiplica el volumen total en pies cubico por el peso en libras de un pie cubico de asfalto:

Según la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico ha estimado un peso aproximado de 145 libras (65 kilogramos) por pie cuadrado, entonces:

$$v_{Tlibra} = (2099.0155 pie^3) \left(\frac{145 lb}{1pie^3} \right) = 304357.2475 lb$$

$$v_{Ttonelada} = \frac{304357.2475}{2000} = 152.1786 \text{ toneladas de asfalto}$$

Para el cálculo de grava se realiza el mismo procedimiento, dándonos el mismo resultado de 152.1786 toneladas de grava.

SAN SALVADOR:

SAN SALVADOR

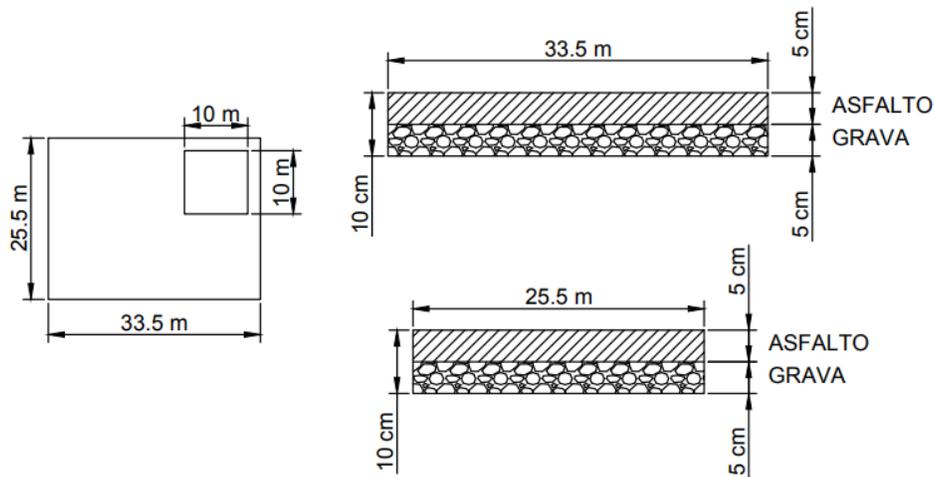


Figura 143: Área de asfalto y grava a utilizar en San Salvador.

Calculo de asfalto:

$$v_m = 33.5 * 25.5 * 0.05 = 42.7125m^3 = 1508.3777pie^3$$

$$v_{mm} = 10 * 10 * 0.05 = 5m^3 = 176.573pie^3$$

$$v_T = v_m - v_{mm} = (1508.3777 - 176.573)pie^3 = 1331.8047pie^3$$

Volumen total en galones:

$$v_{Tgalon} = (1331.8047)(7.481) = 9963.231 \text{ galones de asfalto}$$

Volumen total en toneladas:

Para realizar el cálculo en toneladas se multiplica el volumen total en pies cubico por el peso en libras de un pie cubico de asfalto:

Según la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico ha estimado un peso aproximado de 145 libras (65 kilogramos) por pie cuadrado, entonces:

$$v_{Tlibra} = (1331.8047 pie^3) \left(\frac{145 lb}{1pie^3} \right) = 193111.6815 lb$$

$$v_{Ttonelada} = \frac{193111.6815}{2000} = 96.556 \text{ toneladas de asfalto}$$

Para el cálculo de grava se realiza el mismo procedimiento, dándonos el mismo resultado de 96.556 toneladas de grava.

El soporte estructural de las estaciones de carga es mayoritariamente acero, por lo tanto, a continuación, se muestran los cálculos para las cantidades de acero necesarias para la construcción de cada una de las estaciones:

SAN MIGUEL:

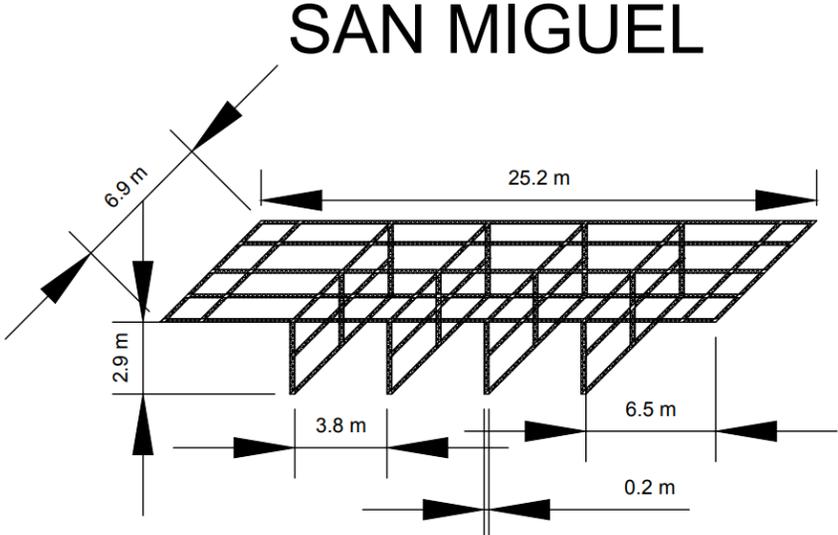


Figura 144: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en San Miguel.

$$(25.2)(5) + (16)(6.9) + (12)(2.9) = 271.2 \text{ m}$$

En total se utilizarán 271.2 metros de estructura metálica.

ACAJUTLA:

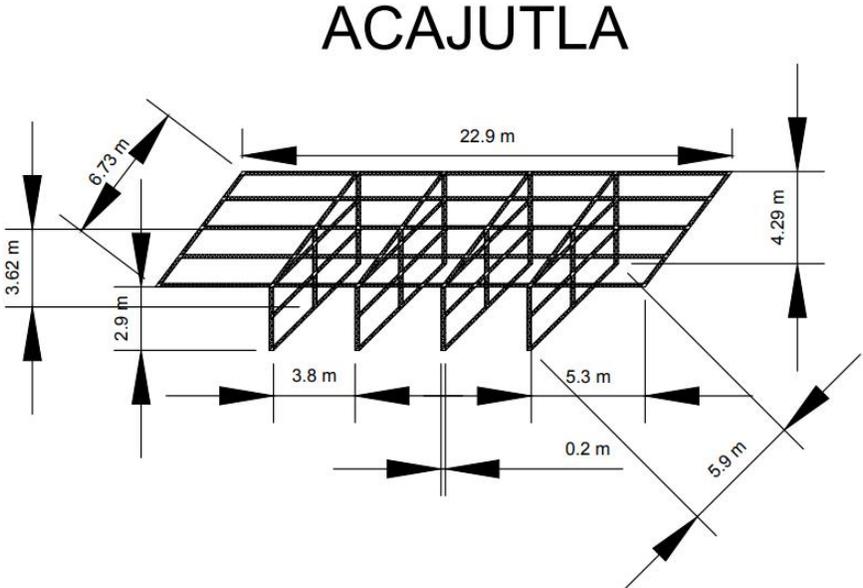


Figura 145: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en Acajutla.

$$(22.9)(5) + (6)(6.73) + (2.9)(4) + (12)(5.9) + (4)(4.29) + (4)(3.62) = 268.92 \text{ m}$$

En total se utilizarán 268.92 metros de estructura metálica.

SAN SALVADOR:

SAN SALVADOR

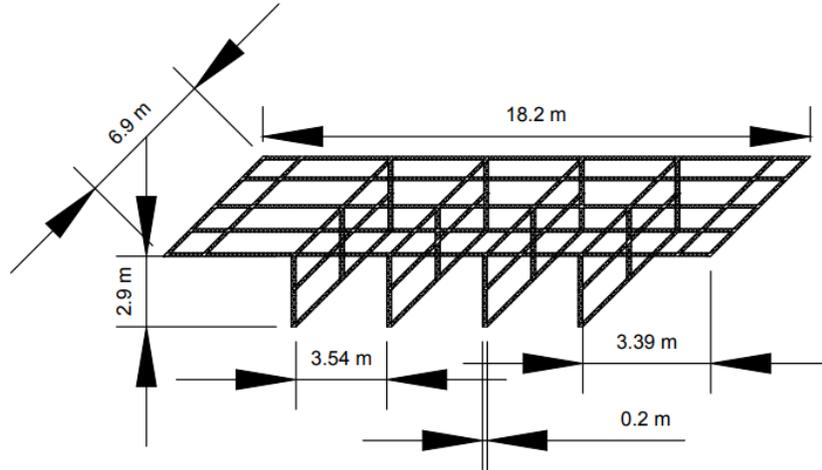


Figura 146: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en San Salvador.

$$(18.2)(5) + (16)(6.9) + (2.9)(12) = 236.2 \text{ m}$$

En total se utilizarán 236.2 metros de estructura metálica.

SANTA TECLA:

SANTA TECLA

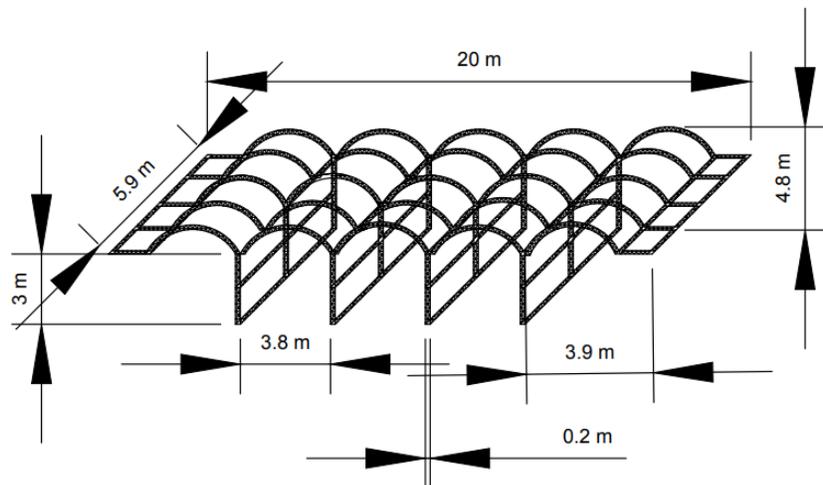


Figura 147: Estructura metálica para la estación de carga ubicada en Santa Tecla.

$$(3)(12) + (8)(5.9) + (5)(35) = 258.2 \text{ m}$$

En total se utilizarán 258.2 metros de estructura metálica.

Por lo tanto, los costos de los materiales de construcción quedan de la siguiente manera:

Materiales de construcción Acajutla				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Viga IPR 14"X8" POR 1/2"	\$ 60.01	M	169	\$10,141.21
Asfalto	\$ 88.71	ton	271	\$24,040.41
Grava	\$ 35.05	m3	106	\$ 3,715.30
Electrodos de soldadura	\$ 1.85	Lb	30	\$ 55.50
Lamina aluminio zinc 3x1 m	\$ 16.50	Unidad	55	\$ 907.50
Concreto	\$ 127.69	m3	5	\$ 638.45
			TOTAL:	\$ 39,498.37

Tabla 23: Materiales de construcción Acajutla.

Materiales de construcción San Miguel				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Viga IPR 14"X8" POR 1/2"	\$ 60.01	M	172	\$10,321.23
Asfalto	\$ 88.71	Ton	251	\$22,266.21
Grava	\$ 35.05	m3	98	\$ 3,434.90
Electrodos de soldadura	\$ 1.85	Lb	30	\$ 55.50
Lamina aluminio zinc 3x1 m	\$ 16.50	Unidad	63	\$ 1,039.50
Concreto	\$ 127.69	m3	5	\$ 638.45
			TOTAL:	\$ 37,755.79

Tabla 24: Materiales de construcción San Miguel.

Materiales de construcción Santa Tecla				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Viga IPR 14"X8" POR 1/2"	\$ 60.01	M	259	\$15,541.85
Asfalto	\$ 88.71	Ton	152	\$13,483.92
Grava	\$ 35.05	m3	60	\$ 2,103.00
Electrodos de soldadura	\$ 1.85	Lb	30	\$ 55.50
Lamina aluminio zinc 3x1 m	\$ 16.50	Unidad	43	\$ 709.50
Concreto	\$ 127.69	m3	5	\$ 638.45
			TOTAL:	\$ 32,532.22

Tabla 25: Materiales de construcción Santa Tecla.

Materiales de construcción San Salvador				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Viga IPR 14"X8" POR 1/2"	\$ 60.01	M	237	\$ 14,221.69
Asfalto	\$ 88.71	Ton	97	\$ 8,604.87
Grava	\$ 35.05	m3	38	\$ 1,331.90
Electrodos de soldadura	\$ 1.85	lb	30	\$ 55.50
Lamina aluminio zinc 3x1 m	\$ 16.50	Unidad	45	\$ 742.50
Concreto	\$ 127.69	m3	5	\$ 638.45
			TOTAL:	\$ 25,594.91

Tabla 26: Materiales de construcción San Salvador.

Los costos de mano de obra a considerar serán los costos de la instalación eléctrica, para ello se tomará un valor promedio de las cuatro estaciones de carga para los valores variables como lo es el cableado y canalizado, por lo tanto, se tiene los siguientes costos de mano de obra:

Costos de instalación eléctrica			
Obra	precio por u.	cantidad	costo
Acometida	\$ 292.71	1	\$ 292.71
puesta de barra a tierra	\$ 24.24	4	\$ 96.96
zanjando, cableado y rellenado (m)	\$ 13.00	350	\$4,550.00
Instalación de tablero	\$ 56.84	3	\$ 170.52
Instalación de tubería (m)	\$ 3.51	332	\$1,166.65
Instalación de caja metálica	\$ 10.00	15	\$ 150.00
instalación toma especial	\$ 9.86	8	\$ 78.88
Supervisión de instalación de transformador 225kVA	\$ 129.98	1	\$ 129.98
Instalación de transformador de 225kVA	\$ 222.36	1	\$ 222.36
Conexión del transformador a MT	\$ 16.50	1	\$ 16.50
Supervisión de instalación de transformador 25kVA	\$ 88.54	1	\$ 88.54
Instalación de transformador de 25kVA	\$ 72.39	1	\$ 72.39
Total con un descuento del 10%			\$ 6,331.94

Tabla 27: Costos por la instalación

Al ya contar con todos los costos de los materiales y mano de obra, se puede calcular el costo total de las cuatro estaciones de carga, de modo que queda de la siguiente manera:

Costos totales por las cuatro estaciones de carga:	
Cableado y ductería	\$ 12,413.17
Sistema de tierra y protecciones	\$ 2,622.80
Sistema fotovoltaico	\$ 49,661.66
Tableros, protecciones y transformador	\$ 19,367.04
Materiales de construcción	\$ 135,381.29
Costos por la tierra	\$1,169,333.74
Mano de obra instalación eléctrica	\$ 25,327.76
Total	\$ 1,414,107.45

Tabla 28: Costo total de las instalaciones.

8.5 CALCULO DE TIEMPOS DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN:

A continuación, se muestran los cálculos estimados de la venta de energía y un aproximado del recargo a incluir en el precio de venta en las diferentes estaciones de carga. Para poder realizar dichos cálculos se toman en consideración las siguientes suposiciones:

- Cada electrolinera tiene una venta promedio diaria de 250 kWh (10 recargas completas en auto de 25 kWh)
- Se toma como referencia el costo de la energía en punta (cuando es más alto)
- Al consumo total de energía de la subestación se le resta la generación fotovoltaica, dicha generación asumida según día promedio anual en el salvador.

Recargo a adicionar por kWh vendido:

Teniendo en consideración los puntos anteriores, se procede a calcular el recargo a agregar en la venta de energía asumiendo un tiempo de recuperación de 10 años. Como primer paso es necesario calcular el total de energía vendida en los 10 años considerados, de tal forma que el total de energía es el siguiente:

$$E_v = \frac{250kWh}{\text{día}} * 365 \text{ día} * 10 \text{ años} * 4 \text{ Estaciones} = 3.65 \text{ GWh}$$

Por lo tanto, al ya tener el costo total de las cuatro estaciones de carga, se tiene que diluir el costo entre la cantidad de energía vendida esperada en el lapso de 10 años, de forma que el recargo por kWh es el siguiente:

$$\text{Recargo} = \frac{\$ 1,414,107.45}{3,650,000 \text{ kWh}} = \$ 0.387427/kWh$$

Al no tomar el coste de la tierra, el tiempo de recuperación de la inversión puede ser menos.

A continuación, se presentan los cálculos del recargo para retorno de la inversión en 3 años sin tener en cuenta el coste de la tierra.

Sin el coste de la tierra, cada estación tendría un valor de \$244,773.71 y la generación para tres años sería un estimado de 1,095 MWh, por lo tanto, el recargo de recuperación quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Recargo} = \frac{\$ 244,773.71}{1,095,000 \text{ kWh}} = \$ 0.223537/kWh$$

Costos de la energía por kWh vendido:

Para poder calcular los costos por kWh vendido, se tiene que considerar que cada distribuidora eléctrica tiene costos diferentes, tanto por el cargo de la energía, como por cargo de distribución. Retomando las consideraciones del punto anterior, se tiene que cada estación de carga tendrá un consumo promedio mensual de:

$$E_m = 10 \text{ Cargas} * 25 \text{ kWh} * 30 \text{ Días} = 7.5 \text{ MWh/mes}$$

La instalación fotovoltaica una generación promedio mensual de:

$$G_F = \frac{108.712 \text{ kWh}}{\text{día}} * 30 \text{ Días} = 3.26 \text{ MWh/mes}$$

Por lo tanto, la energía demandada a la red será la resta de los datos anteriores, lo cual es:

$$E_m - G_F = 7.5 \text{ MWh} - 3.26 \text{ MWh} = 4.24 \text{ MWh}$$

En base al dato anterior, procedemos a calcular el costo por kWh consumido en la estación de carga, para ello se toma como consideración de que, en los 10 años en los que se tiene la recuperación de la inversión, en promedio mensual, no se tendrán más de 4 automóviles recargándose al mismo tiempo, por lo tanto se tendría una demanda de 100kW, dicha consideración se ha tomado en base a la cantidad de autos que se tienen en la actualidad en el país, así como las proyecciones que tiene las concesionarias de autos para este tipo de vehículo. Se toma como base para el cálculo del costo por kWh consumido el Priego tarifario vigente del 15 de octubre del 2019 al 14 de enero del 2020, por lo tanto, los costos quedan de la siguiente manera:

Costos de la energía con medición en BT medidor horario								
DISTRIBUIDORA	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Energía demandada. En kWh	4240	4240	4240	4240	4240	4240	4240	4240
Cargo x comercialización	12.385668	14.47726	11.349865	13.197498	12.013496	18.913206	16.576656	6.854962
Cargo x energía (\$)	683.0852	687.54144	728.4744	744.438	775.5384	665.49344	646.45584	553.58712
Cargo x distribución (\$)	691.3013	2169.7275	2255.7676	2712.9406	2858.1171	3043.6949	1704.9774	1999.3942
Total	1386.77217	2871.7462	2995.59187	3470.5761	3645.669	3728.10155	2368.0099	2559.83628
Costo del kwh suministrado	0.327069	0.677299	0.706508	0.818532	0.859828	0.879269	0.558493	0.603735

Tabla 29: Costo por kWh suministrado según distribuidora en dólares estadounidenses.

Por lo tanto, el precio de venta por kWh varía según la distribuidora a la que se esté conectando, de tal forma que los precios quedan de la siguiente manera:

DISTRIBUIDORA	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Costo del kwh suministrado	0.327069	0.677299	0.706508	0.818532	0.859828	0.879269	0.558493	0.603735
Cargo de recuperación	0.387427	0.387427	0.387427	0.387427	0.387427	0.387427	0.387427	0.387427
Total	0.714496	1.064726	1.093935	1.205959	1.247255	1.266696	0.945920	0.991162

Tabla 30: Precio de venta por kWh en dólares estadounidenses.

Si se utiliza el precio de venta donde no se toma en cuenta el coste de la tierra, se tiene un precio más competitivo, y el tiempo de recuperación es mucho menor, 3 años, de modo que los precios de venta son los siguientes:

DISTRIBUIDORA	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Costo del kwh suministrado	0.327069	0.677299	0.706508	0.818532	0.859828	0.879269	0.558493	0.603735
Cargo de recuperación	0.223537	0.223537	0.223537	0.223537	0.223537	0.223537	0.223537	0.223537
Total	0.550606	0.900836	0.930045	1.042069	1.083365	1.102806	0.782030	0.827272

Tabla 31: Precio de venta por kWh en dólares estadounidenses.

8.6 PRECIO DE VENTA PARA EL KWH EN ESTACIÓN AISLADA:

Para poder establecer el precio de venta por kWh, es necesario saber todos los costes implicados en la estación de carga, por lo tanto, es necesario tener en cuenta todos los equipos eléctricos a ser utilizados en la estación, gran parte de ellos ya fueron mencionados en las etapas anteriores del proceso de diseño de la presente estación. El terreno y el diseño arquitectónico a utilizar es el mismo que el de la estación de Acajutla, ya que es el tomado como base para el presente análisis comparativo, por lo tanto, los costos de los materiales de construcción, así como el costo de la tierra son los mismos que la estación de Acajutla. A continuación, se muestran los costos y cantidades de los materiales necesarios para la instalación eléctrica.

Materiales necesarios para la instalación eléctrica				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Cable THHN 350 MCM	\$ 17.58	m	45.00	\$ 791.10
Cable THHN 2/0 AWG	\$ 9.53	m	9.00	\$ 85.77
Cable THHN 4 AWG	\$ 3.13	m	135.00	\$ 422.55
Cable THHN 8 AWG	\$ 1.12	m	180.00	\$ 201.60
Cable THHN 10 AWG	\$ 0.70	m	369.00	\$ 258.30
Conduit EMT 3"	\$ 5.72	m	15.00	\$ 85.75
Conduit EMT 2"	\$ 4.08	m	160.00	\$ 653.33
Conduit EMT 1"	\$ 1.80	m	80.00	\$ 144.00
Conduit EMT 3/4"	\$ 1.80	m	120.00	\$ 216.00
Cable ASCR 1/0	\$ 0.98	m	965.00	\$ 945.70
barra de tierra 10'	\$ 14.95	Unidad	4.00	\$ 59.80
Punta Franklin	\$ 25.00	Unidad	35.00	\$ 875.00
Panel SunPower 400 Wp	\$ 64.00	Unidad	360.00	\$ 23,040.00
Multicluster box 12	\$ 14,670.92	Unidad	2.00	\$ 29,341.84
Sunny mini central 1000TL	\$ 2,916.20	Unidad	45.00	\$ 104,983.20
SMA BATFUSE B.03	\$ 987.80	Unidad	12.00	\$ 11,853.60
Sunny Island 5048-US	\$ 3,519.00	unidad	36.00	\$ 126,684.00
Cable TopSolar PV ZZ-F	\$ 0.58	m	720.00	\$ 417.60
estructura acero galvanizado	\$ 1.94	m	8916.00	\$ 17,297.04
Riel Acero para montaje	\$ 2.88	m	172.00	\$ 495.36
Conector MC4	\$ 0.60	par	720.00	\$ 432.00
Batería Freedom DF3000	\$ 289.77	Unidad	288	\$ 83,453.76
Fusible ABB OFAF	\$ 244.85	Unidad	98	\$ 23,995.30
Interruptor GE TEY3100	\$ 221.00	Unidad	9	\$ 1,989.00
Tablero 18 espacios 3F 100A	\$ 110.00	Unidad	1	\$ 110.00
Tablero industrial GE serie AS	\$ 181.27	Unidad	2	\$ 362.54
Total				\$ 429,194.14

Tabla 322: Precio del terreno

De igual manera, para el cálculo de los costes por la obtención de la tierra se utilizó un promedio del precio de venta de cuatro terrenos de las cercanías de la estación de Acajutla, de modo que el costo de la tierra se basa en la siguiente tabla:

Costo de la tierra:	
Lugar	Acajutla
Precio 1 (\$/m2)	56.00
Precio 2 (\$/m2)	54.38
Precio 3 (\$/m2)	23.36
Precio 4 (\$/m2)	66.55
Promedio (\$/m2)	50.07
Terreno (m2)	2760
Precio del terreno	\$ 138,200.10

Tabla 33: Precio del terreno

Otro cálculo a tener en cuenta, son los costos de los materiales de construcción, en este caso, los materiales de la capa asfáltica, así como las estructuras metálicas del diseño arquitectónico son las mismas que la estación de Acajutla, los cuales son los siguientes:

Materiales de construcción				
Material	Precio por u.	Unidad	Cantidad	Precio
Viga IPR 14"X8" POR 1/2"	\$ 60.01	m	169	\$ 10,141.21
Asfalto	\$ 88.71	ton	271	\$ 24,040.41
Grava	\$ 35.05	m3	106	\$ 3,715.30
Electrodos de soldadura	\$ 1.85	lb	30	\$ 55.50
Lamina aluminio zinc 3x1 m	\$ 16.50	Unidad	55	\$ 907.50
Concreto	\$ 127.69	m3	5	\$ 638.45
			TOTAL:	\$ 39,498.37

Tabla 34: Costos por materiales de construcción

Por último, se tienen los costes por la instalación eléctrica. Dichos costos son un aproximado de los precios actuales en el mercado laboral, por lo tanto, son solo datos de referencia con fines académicos. Los costes por la instalación eléctrica son los siguientes:

Costos de instalación eléctrica			
Obra	precio por u.	cantidad	Costo
Instalación de panel fotovoltaico	\$ 1.00	360	\$ 360.00
puesta de barra a tierra	\$ 24.24	4	\$ 96.96
zanjando, cableado y rellenado (m)	\$ 13.00	350	\$ 4,550.00
Instalación de tablero	\$ 56.84	3	\$ 170.52
Instalación de tubería (m)	\$ 3.51	375	\$ 1,317.75
Instalación de caja metálica	\$ 10.00	15	\$ 150.00
instalación toma especial	\$ 9.86	8	\$ 78.88
instalación de Multicluster	\$ 5,620.00	2	\$ 11,240.00

Total con un descuento del 10%	\$ 16,167.70
---------------------------------------	---------------------

Tabla 35: Costos por la instalación.

En base a todos los datos anteriores, se tiene que el coste total por una estación de carga completamente independiente del sistema de distribución, tiene un coste aproximado de \$623,060.

Teniendo en consideración los puntos anteriores, se procede a calcular el precio de venta por kWh de energía asumiendo un tiempo de recuperación de 10 años. Como primer paso es necesario calcular el total de energía vendida en los 10 años considerados, de tal forma que el total de energía es el siguiente:

$$E_v = \frac{250kWh}{\text{día}} * 365 \text{ día} * 10 \text{ años} = 912,500 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, al ya tener el costo total de la estación de carga, se tiene que diluir el costo entre la cantidad de energía vendida esperada en el lapso de 10 años, de forma que el precio por kWh es el siguiente:

$$\text{Precio} = \frac{\$623,060.31}{912,500 \text{ kWh}} = \$ 0.682058 /kWh$$

Esto en contra posición del coste promedio del precio de venta de una estación hibrida, de la cual se puede obtener de la Tabla 30, se tiene que el coste promedio es de \$1.066268, de modo que se tiene una disminución de:

$$\text{Disminucion} = \frac{1.066268 - 0.682058}{1.066268} * 100\% = 36.03\%$$

Haciendo a la estación de carga aislada un 36.03% más competitiva.

CONCLUSIONES

- El precio de venta final de las estaciones de carga para automóviles eléctricos, con una recuperación de 3 años y un promedio de 10 recargas diarias, ronda entre un promedio de \$0.539728 UDS conectado con la distribuidora CAESS (más económico) hasta \$1.091928 UDS con la distribuidora EDESAL (más caro), quedando un precio un tanto elevado con respecto a los costos de venta del kWh de los demás países pioneros en las estaciones de carga para EV's, aunque razonablemente más barato que los precios de los combustibles fósiles, esto se debe en gran parte al costo de la energía en el salvador, una forma de bajar el precio de venta sería el tener una mayor producción fotovoltaica, de tal forma que se tenga una mayor autonomía con respecto a los costos de la energía en la región.
- Una parte importante en el diseño y construcción de las estaciones de carga para automóviles eléctricos es la red de tierra, ya que esta permite proteger a los equipos y a las persona de una falla eléctrica en el sistema, es importante mencionar que para el diseño e implantación de una buena red de tierra se tiene que considerar una resistividad entre 100 a 150 ohm-metro y una resistencia menor o igual a 2 ohm (según Acuerdo N° 29-E-2000), la cual se basa en el tamaño de la subestación, es decir que en nuestro caso es de 225 KVA, dándonos una resistencia de la red de tierra menor o igual a 2 Ohm (en la parte de anexos se puede visualizar la tabla de la SIGET en la Tabla 5-6), para el caso de las cuatro estaciones de carga se realizó el análisis en el programa de computadora RPAT, el cual arrojó los siguientes resultados: para el caso de Acajutla se presenta una resistencia de 1.06 ohm, para Santa Tecla una resistencia de 1.45 ohm, para Usulután la resistencia es de 1.82 y para San Miguel la resistencia que nos proporciona el programa es de 1.09 ohm, tomando como base una barra recubierta de cobre, de diámetro de 14.28 mm, a una profundidad de 1.20 m y una capa de asfalto de 0.1 m, arrojándonos resultados bastante satisfactorios para la red de tierra.
- Las estaciones de carga, al ser sistemas que requieren grandes cantidades de energía, es necesario que las protecciones sean las adecuadas y acordes a las demandas del sistema, por lo tanto una buena coordinación de las protecciones (en nuestro caso se utilizó el programa de computadora ETAP para dicha coordinación) como se muestra en el proyecto, es de vital importancia para el buen funcionamiento de las estaciones de carga en caso de ocurrir alguna falla, ya que protege a los equipos de una forma correcta y en el menor tiempo posible.
- Como se pudo observar en el cálculo de costos de kWh comprados a las diferentes distribuidoras, el que las estaciones de carga cuenten con un sistema de paneles fotovoltaicos genera un ahorro considerable, así mismo, hace posible que la estación sea rentable, por lo tanto se puede decir, que la estación cuenten con paneles

fotovoltaicos favorece en gran medida a que tenga precios más competitivos, y de esta forma depender lo menos posible de las variaciones de los costos por distribución impuestos por las distribuidoras eléctricas.

- Como se puede observar en el cálculo de recargo para la recuperación de la inversión, aunque se tiene una inversión inicial considerable, se puede empezar a obtener beneficios de las instalaciones después de los primeros tres años de funcionamiento (tomando como promedio 10 recargas diarias) sin recurrir a precios de venta demasiados altos convirtiéndola en una inversión con precios competitivos en el mercado.
- Una forma de abaratar los costos es reutilizando la infraestructura de una gasolinera, ya que, las formas de los edificios son similares, y se han dado dos alternativas de diseño donde se toma como base la estructura de una gasolinera, de esta forma, solo se tiene que adecuar la red eléctrica para el funcionamiento de la estación.
- Al contrastar el coste de construcción e instalación de una estación de carga completamente aislada de la red (\$623,060.31), con una estación que sea híbrida, alimentación por fuentes alternativas y de la red de distribución (\$353,526.86), se tiene que los costos son un 43.26% mayores en una instalación completamente aislada.
- A pesar de que se tenga una inversión inicial significativamente más alta en la construcción de una estación de carga completamente aislada en comparación con una híbrida, el precio de venta por kWh es un 36.03% más barato que el precio promedio por kWh para una estación híbrida (\$1.07) teniendo como base un tiempo de recuperación igual para ambos casos, de modo que, el construir una instalación que no dependa de los costes por distribución genera unos precios de venta 36.03% más competitivos.
- Se recomienda el uso de cargadores de EV's cuyo TDH no sobrepase el 8% establecido por SIGET en el acuerdo 320-E2011, o si en dado caso el TDH está por encima del valor normado, hacer uso de filtros para poder llevarlos a valores normales.

RECOMENDACIONES

- Es de vital importancia que, para incentivar el mercado de los puntos de recarga para los EVs, se disponga de un ente regulador para la venta de energía eléctrica no realizada por distribuidoras, ya que, actualmente solo las distribuidoras eléctricas tienen el permiso de venta de energía, cerrando el mercado a solo estas entidades.
- Se recomienda tener una buena puesta a tierra en las instalaciones de carga para automóviles eléctricos, ya que esto permite prevenir accidentes tanto humanos como en equipos, para que la red de tierra sea óptima se requiere tener una resistencia mejor o igual a 5 ohm (según lo indica la IEEE 80) y una resistividad entre 100 a 150 ohm-metro, para nuestro caso se utilizó la normativa N° 29-E-2000 proporcionado por la SIGET, la cual hace referencia al tamaño de la subestación, para nuestro caso la resistencia de la red de tierra debe de ser igual o menor a dos Ohm debido a que se tiene una subestación de 225 KVA, en la tabla de anexos se puede visualizar la norma en la Tabla 5-6.
- Es recomendable conectar la red de tierra del sistema de las estaciones de carga con la fundación metálica de dichas instalaciones, esto para poder evitar diferenciales de potencial de paso y que pueda ocasionar algún accidente humano o material.
- Es de mucha importancia la utilización de protecciones para los diferentes equipos utilizados en las estaciones de carga, esto con la finalidad de protegerlos de sobrecargas en el sistema o algún problema que se presente en la red.
- Se recomienda realizar la coordinación de las protecciones para la estación de carga, ya que esto evita problemas y accidentes al momento de ejecución de las mismas, dañando a su vez equipos e instrumentos por la falta de coordinación, es por ello que es muy importante tener en cuenta la coordinación de protecciones de una forma óptima y segura. En el documento se muestra la coordinación de protecciones usando el software de computadora ETAP.
- Se recomienda al momento de realizar la construcción de una estación de carga para automóviles eléctricos o electrolinerías, que el cargador posea normas de seguridad y compatibilidad con la mayoría de modelos de automóviles eléctricos, esto con la finalidad de poder proteger tanto a la persona como al vehículo en caso de accidentes y poder brindarle el servicio a la mayor cantidad de automóviles.

- Se recomienda que al diseñar una estación de carga donde posea más de un cargador, el diseñador verifique la contaminación armónica que generarán en conjunto los cargadores de EV's, para ellos, deberá ponerse en contacto con su proveedor y solicitarle los datos detallados de los armónicos generados por el cargador.

REFERENCIAS

- <https://www.volkswagen.es/es/tools/>
- <https://resources.simonelectric.com/>
- <https://www.factorenergia.com/es/blog/movilidad-electrica/tipos-de-vehiculo-electrico/>
- <https://www.infotechnology.com/negocios/Cuanto-costaria-comercializar-autos-electricos-en-Argentina-20161109-0002.html>
- <https://www.elcarrocolombiano.com/resenas/informe-especial-estos-son-los-carros-electricos-a-la-venta-en-colombia-en-2018/>
- <https://promociones.renault.es/vehiculos-turismos/twingo/twingo/>
- <https://hipertextual.com/2019/02/coches-electricos-chinos>
- <https://www.energysage.com/electric-vehicles/costs-and-benefits-evs/electric-car-cost/>
- <http://www.electrincarpledge.com/electric-cars/electric-cars-for-sale-in-germany/>
- <http://wallbox.eu/es/wallbox-modo-3-punto-de-recarga/ehome-wallbox-modo-3-cable-tipo-1-sae-j1772-32a-72kw.html>
- <https://www.auto-moto.com/green/voitures-electriques-tous-les-modeles-du-marche-leur-prix-leur-autonomie-renault-tesla-nissan-peugeot-bmw-55400.html#item=1>
- <https://laopinion.com/2018/05/06/esto-cuesta-cargar-la-bateria-de-un-auto-electrico-en-casa/>
- <https://www.tuexperto.com/2018/05/20/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico/>
- <file:///C:/Users/INVITADO2/Downloads/La-incorporaci%C3%B3n-de-los-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-tarifas-luz-que-hay-espana>
- <https://computerhoy.com/noticias/life/cual-es-precio-justo-recargar-coche-electrico-69461>
- http://www7.mh.gob.sv/pmh/es/Temas/Manual_Unico_de_Operaciones_Aduaneras/Proceso_de_despacho/Proceso_Aduanero/Impuestos_a_pagar.html
- http://www7.mh.gob.sv/downloads/pdf/DC5610_CAP_87.pdf
- <http://appm.aduana.gob.sv/sacelectronico/GUIL/CalculoImpuestos.aspx>
- <http://appm.aduana.gob.sv/sacelectronico/GUIL/ShowPartDetails.aspx?Codigo=87029091>

- <http://www.minec.gob.sv/digestyc-presenta-resultados-de-encuesta-de-hogares-de-propositos-multiples-2017/>
- <https://www.danskerhverv.dk/presse-og-nyheder/nyheder/nye-krav-om-ladestandere-til-elbiler/>
- <https://ing.dk/artikel/ny-eu-aftale-alle-stoerre-bygninger-skal-have-ladestandere-209550>
- <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/3563133D-00FB-44FD-ADCA-7165FB817F72/375976/6RECARGAYSOLUCIONESDERECARGA.pdf>
- <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/correspondencia/4FA6CE16-A743-4332-AE60-BB0E21FC068A.pdf>
- <https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/alemania-propone-prohibir-la-venta-de-coches-no-electricos-en-2030>
- <https://www.theguardian.com/world/2016/apr/28/germany-subsidy-boost-electric-car-sales>
- <https://endesavehiculoelectrico.com/noruega-electrica/>
- <https://forococheselectricos.com/2016/10/reino-unido-presenta-un-plan-que-pretende-que-todos-los-coches-sean-electricos-en-2040.html>
- <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20181113/espana-prohibira-matriculacion-coches-diesel-gasolina-hibridos-desde-2040-7143700>
- [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Norma Internacional CEI/IEC International Standard 62196-1.
- Norma Técnica Colombiana 2050.
- Normatividad sobre Vehículos Eléctricos - Unidad de Inteligencia Estratégica Tecnológica (CIDET).
- Diseño de la instalación eléctrica de una electrolinera - Tesis 2012 Universidad Carlos III de Madrid.
- Decreto Ejecutivo número 41642 - República de Costa Rica.
- Análisis y diseño de la instalación eléctrica de una electrolinera en la Ciudad de Cuenca. Tesis 2018 Universidad Politécnica Salesiana Cuenca Ecuador.
- Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador - Tesis 2014 Universidad de El Salvador.
- Ley 1964 del 11 de julio del 2019 – Colombia
- <https://s67f1beceaa9fbd46.jimcontent.com/.../UNE%20EN%2062305%201.pdf>
Norma IEC 62305-1
- <http://spanish.alibaba.com/product-detail/solid-cu-conductor-pvc-insulation-nylon-sheathed-thhn-thwn-8-awg-wires-1728505864.html?spm=a2700.8698675.29.61.fa7114ffORtXkk>
- <https://www.electricalautomationnetwork.com/PDF/SPANISH/ABB/ABB1SDA063042R1.pdf>
- <https://www.vidri.com.sv/producto/15468/TUBO-ESTRUCTURAL-CUADRADO-1-1-2%22-CHAPA-14.html>

- <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>
- <https://at3w.com/producto/pararrayos/puntas-franklin-y-mallas-conductoras/s2xat1xp1102>
- https://www.eneldistribuiacao.com.br/rj/documentos/E-LT-002_R-05.pdf
- <https://www.siget.gob.sv/?wpmact=process&did=MTg2LmhvdGxpbnms>
- <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>
- <https://at3w.com/producto/pararrayos/puntas-franklin-y-mallas-conductoras/s2xat1xp1102>
- <https://www.lugenergy.com/tipo-de-conectores-vehiculo-electrico/>
- <https://webstore.iec.ch/publication/33644>
- <https://webstore.iec.ch/publication/32045>
- <https://webstore.iec.ch/publication/6032>
- <https://webstore.iec.ch/publication/6033>
- https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60309-1%7Bed4.1%7Db.pdf
- <https://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/mysearchajax?Openform&key=IEC%2060309&sorting=&start=1&onglet=1>
- <https://www.vde-verlag.de/iec-normen.html>
- https://www.ehowenespanol.com/averiguar-formula-tonelaje-asfalto-como_135045/
- <http://movilidadelectrica.com/wp-content/uploads/2012/12/ArticuloEndesa.pdf>
- <https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20180412/442482716499/cargar-coche-electrico-forma-inalambrica-presente.html>

ANEXOS

Preguntas de la encuesta:

1. ¿Cree que es una buena idea la introducción de automóviles eléctricos en El Salvador?
SI NO
2. ¿Cree usted que la introducción de automóviles eléctricos a El Salvador representara un cambio positivo tanto en la economía como en el medio ambiente del país?
SI NO
3. ¿Cree usted que la inserción o introducción de automóviles eléctricos a El Salvador representara una revolución tecnológica (boom), es decir una etapa en el desarrollo del país?
SI NO
4. ¿Cree que El Salvador tiene la capacidad económica y financiera para poder introducir vehículos eléctricos y ser capaz de mantener a flote dicho mercado?
SI NO
5. ¿En un futuro no muy lejano (entre 10 a 15 años) usted consideraría la posibilidad de adquirir un automóvil eléctrico?
SI NO
6. ¿Si los automóviles eléctricos en un futuro no muy lejano fueran introducidos al país, cree tener la estabilidad económica suficiente para poder adquirir un automóvil eléctrico?
SI NO
7. ¿Cree que se necesitan políticas y leyes que regulen la adquisición de automóviles eléctricos en El Salvador?
SI NO
8. ¿Si existiesen políticas, leyes y normativas que regularan y favorecieran la adquisición y compra de automóviles eléctricos, consideraría o se animaría a adquirir un automóvil eléctrico?
SI NO
9. ¿Cree que la introducción de automóviles eléctricos a El salvador reducirá en una buena parte los gases de efecto invernadero y la contaminación por CO2?
SI NO

Para la pregunta número 4 se tienen las siguientes graficas de barra:



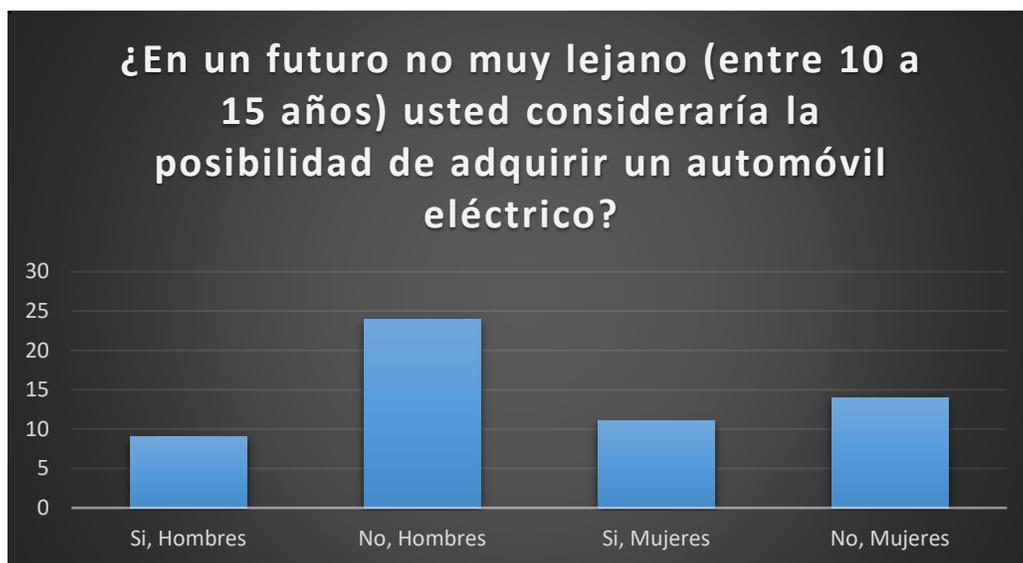
Gráfica 9: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



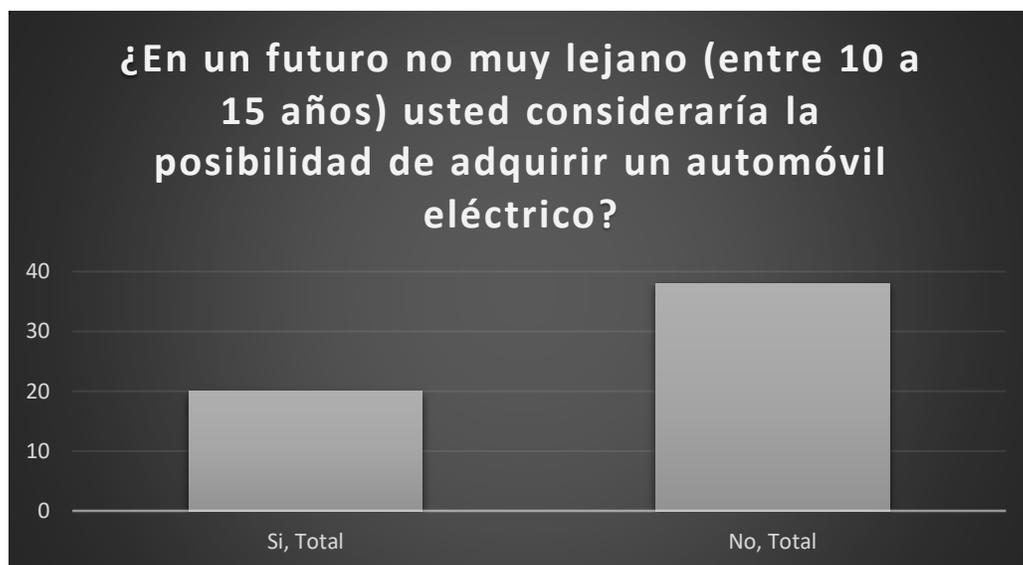
Gráfica 10: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 21 personas creen que El Salvador tiene la capacidad económica y financiera para poder introducir vehículos eléctricos y de ser capaz de mantener a flote dicho mercado, de las cuales 10 eran hombres y 11 mujeres, y 37 personas piensa que El Salvador no tiene la capacidad económica y financiera para poder introducir automóviles eléctricos, de las cuales 23 son hombre y 14 son mujeres.

Para la pregunta número 5 se tienen las siguientes graficas de barra:



Gráfica 11: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



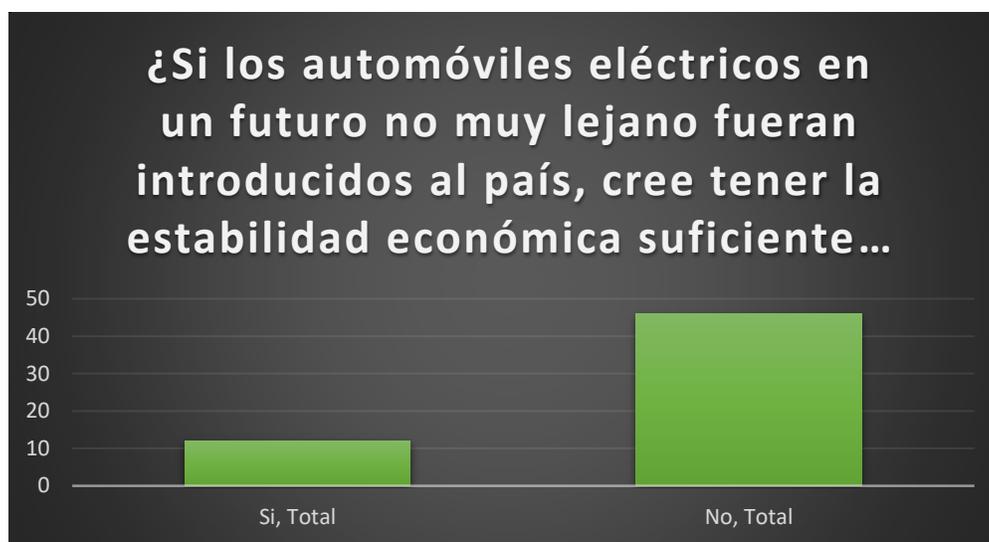
Gráfica 12: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 20 personas creen tener en un futuro no muy lejano (entre 10 a 15 años) la capacidad económica de poder adquirir un automóvil eléctrico, de las cuales 9 eran hombres y 11 mujeres, y 38 personas no se consideran tener la capacidad económica para poder adquirir un automóvil eléctrico en un futuro no muy lejano, de las cuales 24 son hombre y 14 son mujeres.

Para la pregunta número 6 se tienen las siguientes graficas de barra:



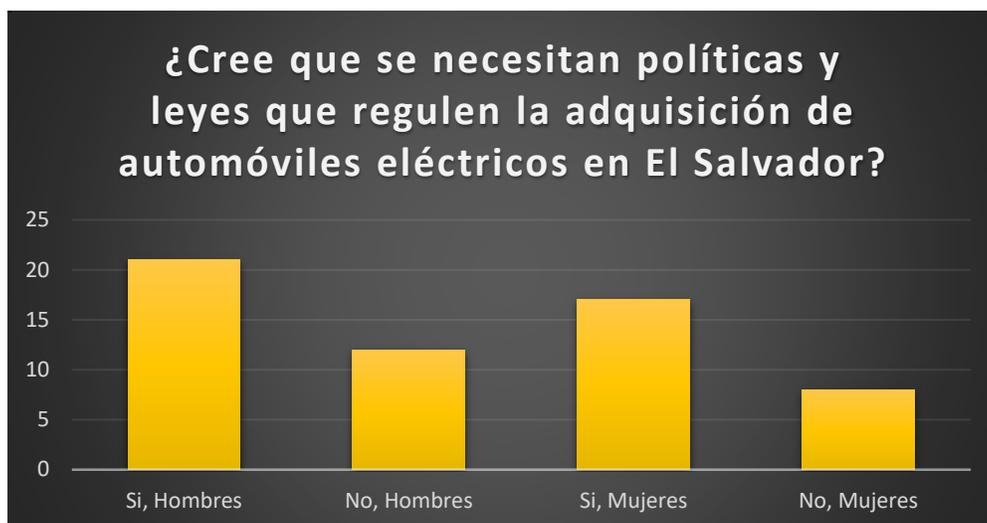
Gráfica 13: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



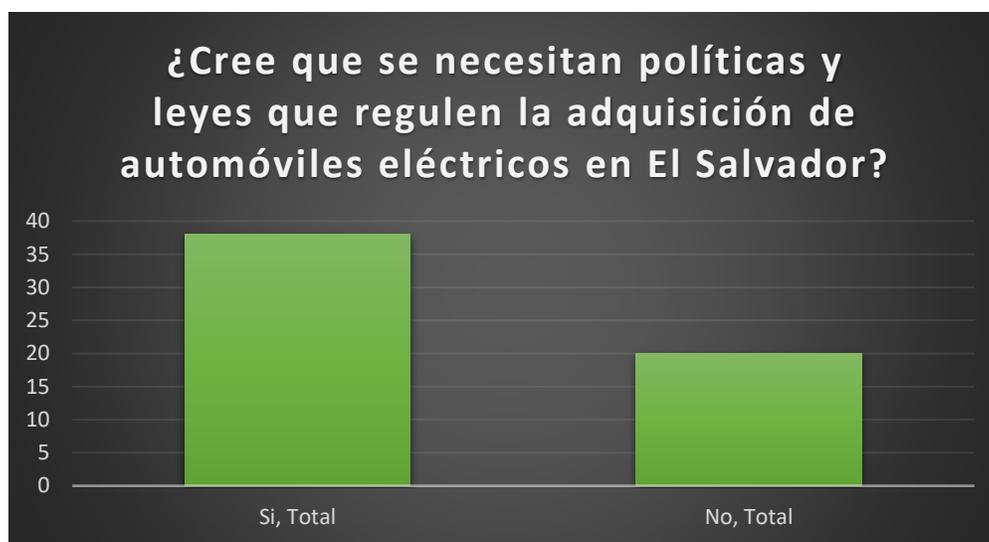
Gráfica 14: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 12 personas creen tener la estabilidad económica suficiente para poder adquirir un automóvil eléctrico en un futuro no muy lejano en el caso de que fueran introducidos al país, de las cuales 8 eran hombres y 4 mujeres, y 46 personas no creen tener la capacidad económica suficiente para poder adquirir un automóvil eléctrico en un futuro no muy lejano, de las cuales 25 son hombre y 21 son mujeres.

Para la pregunta número 7 se tienen las siguientes graficas de barra:



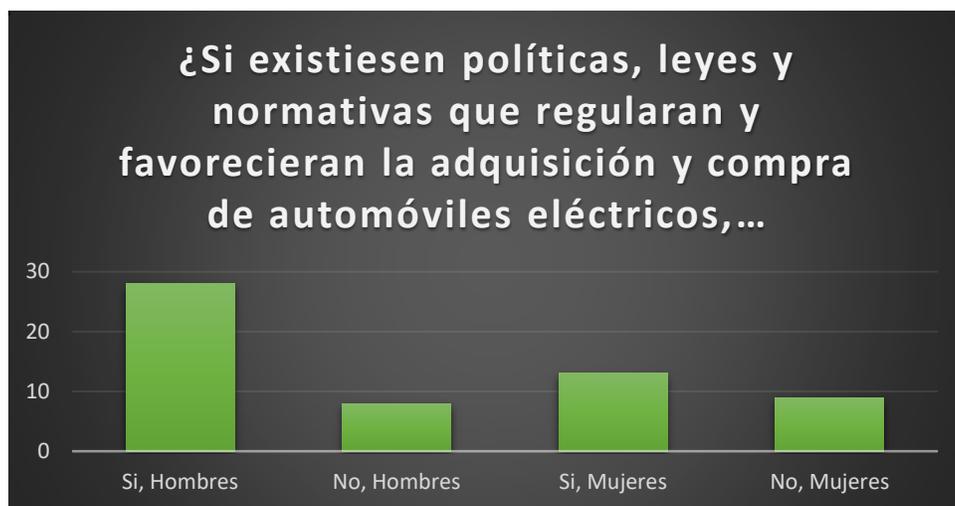
Gráfica 15: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



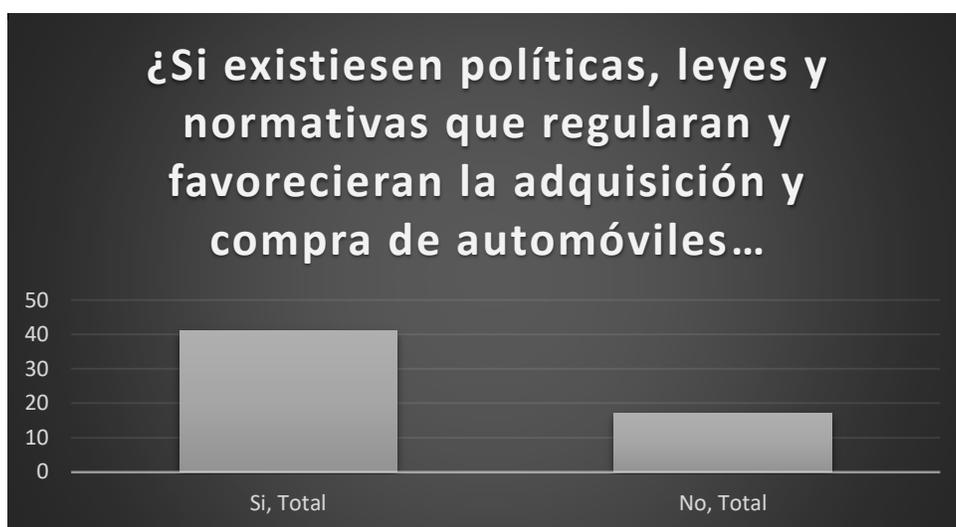
Gráfica 16: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 38 personas creen que se necesitan tener políticas y leyes que regulen la adquisición de automóviles eléctrico en el país, de las cuales 21 eran hombres y 17 mujeres, y 20 personas no creen necesario que deban existir políticas y leyes que regulen la adquisición de automóviles eléctricos en el país, de las cuales 12 son hombres y 8 son mujeres.

Para la pregunta número 8 se tienen las siguientes graficas de barra:



Gráfica 17: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



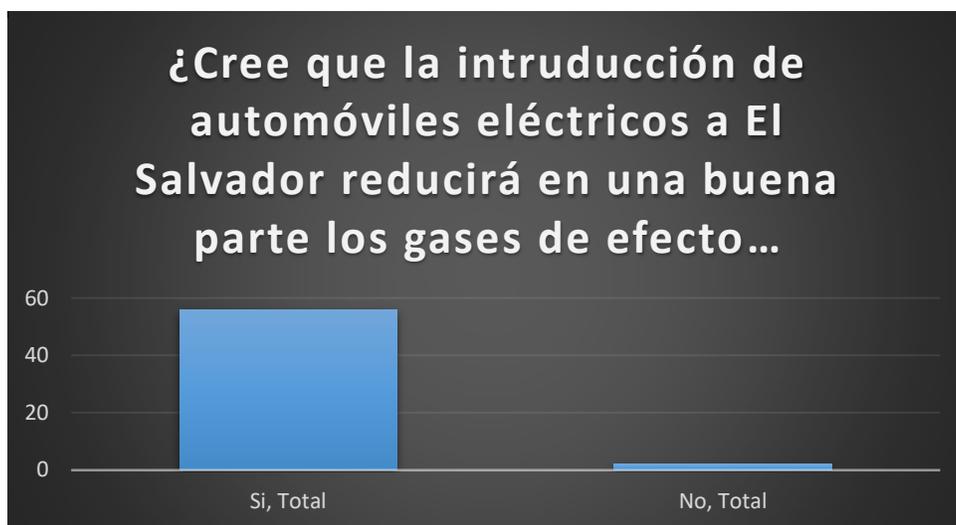
Gráfica 18: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 41 personas creen que, si existiesen políticas, leyes y normativas que regularan la adquisición de automóviles eléctricos se animarían a comprar un automóvil, de las cuales 28 eran hombres y 13 mujeres, y 17 personas no creen adquirir un automóvil eléctrico aun si existiesen políticas, leyes y normativas que regularan y favorecieran dicha adquisición, de las cuales 8 son hombre y 9 son mujeres.

Para la pregunta número 9 se tienen las siguientes graficas de barra:



Gráfica 19: Gráfico de barras que separa entre hombres y mujeres.



Gráfica 20: Gráfico de barras del total de la muestra.

Para este caso las 58 personas entrevistadas, 56 personas creen que la introducción de automóviles eléctricos al país reducirá en una buena parte los gases de efecto invernadero y la contaminación por CO₂, de las cuales 34 eran hombres y 22 mujeres, y 2 personas no creen adquirir un automóvil eléctrico disminuya los gases de efecto invernadero y la contaminación de CO₂, de las cuales 2 son hombre y 0 son mujeres.

A continuación, se presenta la noticia completa del Diario de Hoy (Capítulo II parte 2.1) que dice lo siguiente:

El Salvador se prepara para los carros eléctricos

DELSUR invirtió \$50,000 en la compra, documentación, permisos e importación del primer vehículo eléctrico en El Salvador.



El Salvador se sumó a la tendencia mundial al incorporar a su parque vehicular el primer carro alimentado 100 % con electricidad, el cual realizó sus primeros recorridos por algunas calles de San Salvador y supone el inicio de la movilidad eléctrica en el país.

El modelo Nissan importado desde México por DELSUR constituye el primer paso del proyecto de electromovilidad que ejecuta la casa matriz de la distribuidora, el colombiano Grupo EPM, en los países donde opera. En Medellín, por ejemplo, ya se instalaron 20 estaciones de carga.

Roberto González, gerente general de DELSUR, aseguró que la compañía no está interesada en comercializar vehículos, sino en ofrecer una red de estaciones de carga de energía rápida en diferentes puntos de El Salvador, distribuidas en agencias de la empresa, centros comerciales o gasolineras.

Asimismo, DELSUR le apostará a instalar cargadores eléctricos en los hogares salvadoreños por un costo que rondaría los \$700. “Nosotros estamos buscando proveer las instalaciones a nivel de residencia y demostrar que esto es factible”, agregó.

Actualmente, para llegar al país, los automóviles eléctricos deben pagar un 30 % de su valor en aranceles. Además, para obtener el permiso de circulación, el dueño debe especificar la capacidad del tanque y medir las emisiones de gases del vehículo, pero los autos eléctricos ni tienen tanque ni tubo de escape.

Delsur ya presentó el proyecto a la Asociación Salvadoreña de Distribuidores de Vehículos (Asalve), y considera que las empresas están entusiasmadas.

Sin muchos detalles, González indicó que una compañía le comentó que su casa matriz le ha ofrecido enviar 3 vehículos eléctricos y que solo esperará a que Delsur ponga a disposición los cargadores para que circulen en El Salvador; mientras que otra de las comercializadoras (de la marca que importó la distribuidora) envió a seis de sus empleados para conocer el auto y sus características.

“El interés está ahí y no nos ven como competencia sino como complemento”, apuntó González.

Aunque es una etapa muy temprana, Delsur insiste en que la movilidad eléctrica en el país debe considerarse como un proyecto de Asocio Público Privado Académico (APPA), que facilite un ecosistema tal, y sin precedentes, que permita a la población el acceso a esta

nueva tecnología, al tiempo que reduzca las emisiones ambientales y la contaminación sonora en las ciudades.

La propuesta para modificar las regulaciones y el porcentaje arancelario provendría precisamente de la empresa privada y la academia. González adelantó que “no sería una de otro mundo” que el impuesto sea solo del 5% como el que se paga en Panamá.

José Fernando Isaza, jefe de la Unidad Transacciones, Transmisión y Distribución de energía de Grupo Empresas Públicas de Medellín (EPM)- principal impulsor de la electromovilidad en Latinoamérica y corporativo al que pertenece Delsur- aseguró que esta es una tendencia que “va por que va” a todo el mundo; pues en los últimos cinco años ha bajado el costo de las baterías y ha aumentado la autonomía de los vehículos, de manera que se estima que para 2025 los autos eléctricos costarán lo mismo que los que usan combustibles fósiles.

Según Isaza, Grupo EPM apoya la movilidad eléctrica desde 1995. Iniciaron con el metrobús de Medellín y ahora unos 250 vehículos eléctricos y 3,500 motos y bicicletas ya ruedan en Colombia. Tienen 24 estaciones externas de carga con capacidad para atender a 6 mil autos y la ventaja de haber logrado la exención de impuestos para una cuota de vehículos eléctricos.

Pero los primeros pasos y en mayor medida el conocimiento sobre cómo funcionan, pruebas de autonomía, estudios de mercado, formulación de ofertas de estaciones de carga y muchas más, le ha costado a EPM una década y alrededor de \$10 millones de inversión.

Para El Salvador, el proceso de adopción e implementación de la electromovilidad será menos costoso, puesto que puede tomar los ejemplos que ya se ejecutan en Costa Rica, Guatemala y Panamá.

Delsur realizó este viernes un “Foro para el impulso de la electromovilidad en la región”, con el apoyo de la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA).



Automóvil Nissan Leaf adquirido por DELSUR.

Noticia de El Diario de Hoy sobre “Eliminan arancel para importar vehículos eléctricos en El Salvador”: 7 de diciembre de 2019.

La decisión, que aplicará a El Salvador y Honduras, fue adoptada por el COMIECO. La medida entrará en vigor en enero del próximo año.

A partir del próximo año, en El Salvador no se pagará ningún arancel por importar vehículos eléctricos. La medida fue aprobada esta semana por el Consejo de Ministros de la Integración Económica (COMIECO), grupo que se reunió en San Salvador para la tercera ronda de integración aduanera correspondiente a este semestre.

El arancel para el ingreso de este tipo de vehículos está fijado en 30 %. Desde enero de 2020, será de 0 %, dijeron ayer las autoridades. El acuerdo también aplica para Honduras.

El viceministro de Economía de El Salvador, Miguel Ángel Corleto, afirmó que la medida tiene "el propósito de contribuir con el medio ambiente", y que con la misma "se espera reducir el consumo de derivados del petróleo y propiciar la disminución de las emisiones de gases contaminantes".

Corleto explicó que las decisiones sobre los aranceles están sujetas a los instrumentos jurídicos que norman la comunidad económica centroamericana.

"Cada país tiene ese margen para tomar las decisiones, pero en acuerdo con el COMIECO", especificó.

"Los países del subsistema económico todos son suscriptores del convenio sobre el régimen arancelario y aduanero centroamericano, y, en ese contexto, la rectoría de la política arancelaria centroamericana le corresponde al Consejo de Ministros de Integración Económica", profundizó Melvin Redondo, secretario de la SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana).

El Ministerio de Economía (MINEC) informó que la eliminación del arancel entrará en vigor en enero de 2020, luego de cumplir una serie de pasos como su publicación en el Diario Oficial. Este fue uno de los resultados más importantes del encuentro, citó una fuente de la cartera estatal.

También el COMIECO aprobó la actualización de los reglamentos centroamericanos para la importación de hidrocarburos, con lo que se dispondrá de estándares comunes para la compra de combustibles, comentaron los viceministros de Economía de la región.

Entrevistas completas realizadas a UCA, DELSUR y concesionaria de Hyundai referente al capítulo II parte 2.1, y dicen lo siguiente:

Entrevista a Hyundai: Vendedor encargado para la venta de un Ioniq Evo a la UCA.

- 1- ¿Cuál fue el precio de venta del vehículo eléctrico?
El precio de venta fue de \$47,200 hablando en números redondos.
- 2- ¿Cuál fue el costo de los aranceles, permisos, aduanas, entre otros?
Los pagos totales rondaron entre los \$7000 y \$8000, aunque el pago de introducción fue de \$6000 aproximadamente.
- 3- ¿Qué tipo de impuesto le pusieron en aduana al vehículo?
Por el hecho de que aún no existen partidas específicas para éste tipo de vehículos se le dieron los costos de aranceles para un vehículo de transporte de carga, los cuales eran los más altos.
- 4- ¿País de importación?
El país originario del auto, donde fue fabricado, es Corea; pero el auto estaba en costa rica en el momento de pedirlo.
- 5- ¿la importación se realizó vía terrestre o marítima? ¿Por qué?
Vía marítima, los costos son menores.
- 6- ¿existen planes a futuro sobre propuestas de implementación de leyes al gobierno salvadoreño para la regulación de impuestos sobre la importación de vehículos eléctricos?
Existe un anteproyecto en la asamblea para reducir los impuestos para el año 2020, aunque no es algo llevado a la asamblea por Hyundai.
- 7- ¿se le han realizado pruebas al vehículo eléctrico, si es así, que tipo de pruebas se le han realizado y cuales han sido los resultados?
Hyundai solo le ha hecho pruebas de manejo y de carga.
- 8- ¿En qué lugar o lugares se recarga el automóvil eléctrico?
En cualquier enchufe de 115V o 220V, aunque para la carga rápida necesita una estación de carga.
- 9- ¿es una buena idea para ustedes la compra de automóviles eléctricos?
La compra de vehículos eléctricos es tendencia mundial en este momento, las empresas se preparan para surtir el mercado en el 2020.

10- ¿Cuál sería un precio atractivo para los clientes según sus estudios?

Para un país como el salvador los precios, para ser competitivos, tienen que ser entre \$23,000 y \$25,000.

11- ¿Cómo empresa concesionaria de autos, qué planes tienen en el campo de la venta de vehículos eléctricos en El Salvador?

Por el momento, por cómo están las leyes en el país, de parte de Hyundai no se tienen previsto las ventas de autos en masa hasta el 2025 como mínimo, probablemente para el año 2030 ya se tengan las leyes adecuadas para la comercialización.

Entrevista a UCA: Ingeniero encargado del proyecto cero emisiones.

1- ¿precio del vehículo eléctrico?

EL precio del vehículo fue de \$47,300

2- ¿precio de los aranceles, permisos, aduanas, entre otros?

Como UCA solo se recibió el vehículo desde la agencia, no se vio el detalle de los costos, todo eso fue ejecutado por USAID a través de ISED.

3- ¿Posee algún estudio para las estaciones de carga o el golpe generado a la red por éstos?

Por el momento no se tienen estudios para puntos óptimos de estaciones de carga, pero se tienen pensados hacer a futuro, es lo mismo con el impacto en la red eléctrica del país, se tiene pensado hacer ese tipo de estudios a futuro, otro estudio a tener en cuenta a futuro es la degradación de las baterías según las diferentes modalidades de carga.

4- ¿existen planes a futuro sobre propuestas de implementación de leyes al gobierno salvadoreño para la regulación de impuestos sobre la importación de vehículos eléctricos?

Por el momento no, pero se tiene pensado hacer un estudio económico para el posible impuesto que se les pondría a las zonas de carga.

5- ¿Qué tipo de cargador utilizan para el automóvil eléctrico?

EL auto tiene dos tipos de cargadores de modo 2, uno de 1000W para carga lenta y otro de 7000W para carga semi-rápida.

6- ¿El enchufe del automóvil eléctrico está normado por alguna ley internacional? Si es así, ¿Qué norma posee? En si la norma en la que vienen este tipo de vehículos a El Salvador es con un conector americano, pero no existen leyes en el país que te restrinjan a un conector en específico, otro punto importante es que el conector que

va desde el cargador al automóvil no es lo importante, algo que se tiene que normar en el país es el tomacorriente a 220V, ya que en El Salvador se puede poner de diferentes tipos sin problema, esto generará problemas a futuro para la carga de automóviles eléctricos.

- 7- ¿se le han realizado pruebas al vehículo eléctrico, si es así, que tipo de pruebas se le han realizado y cuales han sido los resultados?

Por el momento no se le han hecho pruebas al vehículo, la UCA no cuenta con la instrumentación necesaria para llevarlas a cabo, pero se tiene previsto hacerlas pronto, ya se están tramitando los pedidos de los equipos, para de esa forma llevar a cabo todos los estudios de laboratorio que se tienen planeados.

- 8- ¿En qué lugar o lugares se recarga el automóvil eléctrico?

El automóvil cuenta con dos cargadores, uno para carga lenta y otro para carga semi-rápida, el de carga lenta puede ser conectado en cualquier toma a 115 mientras que el de carga semi-rápida en uno de 220.

- 9- ¿es una buena idea para ustedes la compra de automóviles eléctricos?

Para que el uso de automóviles eléctricos sea rentable energéticamente hablando, las fuentes de energía con las que se recarguen tienen que ser 100% ecológicas, y no es así por el momento en el país.

Entrevista al DELSUR: Ingeniero encargado del proyecto de electromovilidad.

1. Precio comercial del automóvil eléctrico.

El precio total pagado por DELSUR del automóvil eléctrico es de 52,011 dólares, de los cuales 26,593 son el costo real del vehículo de México y 25,418 dólares en impuestos asociados.

2. ¿Por qué se eligió importar el automóvil eléctrico desde México? ¿se consideraron otras opciones?

Se escogió comprar e importar el automóvil eléctrico desde México, ya que allí se encontró el único lugar que quiso vendernos en su concesionaria sabiendo que era para El Salvador, por esta situación el automóvil se introdujo al país como usado para evitar problemas de importación, es por ello que se importó desde México, aunque si se hayan considerado otras opciones.

3. Aranceles (nacionales e internacionales) aplicados al automóvil eléctrico.

Los costes de exportación tenidos en México son de 9,860 dólares y los de importación en El Salvador son de 15,557 dólares, éstos costos ya tienen incluido los aranceles, costos por transporte, abordaje y des abordaje, así como los costos de almacenamiento en los respectivos países.

4. Vía de importación del automóvil eléctrico.
La vía de importación que se tuvo fue marítima.
5. ¿Existen leyes en el país que apoyen el consumo de automóviles eléctricos?
Actualmente no existen leyes que apoyen al consumo de automóviles eléctricos en El Salvador.
6. Pruebas aplicadas (en el país) al automóvil eléctrico.
Las pruebas que se le han aplicado al automóvil eléctrico son las de recorrido en carretera, kWh/km y pruebas de carga de la batería (lenta de 16 horas y media de 5.30 horas), la batería es de 24 kWh.
7. ¿Cuál fue el motivo de compra de un automóvil eléctrico?
El motivo que se tiene es el de impulsar la electromovilidad para la venta de energía y ser los primeros gatilladores del cambio en el país.
8. ¿Cuál fue el motivo de comprar el modelo Nissan Leaf?
Era el único vehículo disponible y uno de los que tenía menor costo.
9. ¿Cuál es la normativa del cargador que posee el automóvil eléctrico?
Pendiente
10. ¿Cuantos modos de carga tiene el automóvil eléctrico y cuánto tiempo tarda recargar la batería?
Los modos de carga que posee el carro eléctrico Nissan Leaf es: lenta que tarda 16 horas, media que tarda 5.30 horas y rápida de 30 minutos.
11. Tipos de tensión a la que se alimentan los automóviles eléctricos.
120/240 v (este en particular), hasta alta tensión de 500 Vdc.
12. Velocidad máxima alcanzada.
Para las pruebas de velocidad que se le aplicaron al automóvil, la máxima velocidad que se obtuvo fue de 90 km/h debido a que es el límite máximo permitido en El Salvador, haciendo mención de que puede correr más rápido, posee un motor de 106 caballos y un torque de 190 lb/pie.
13. Autonomía del vehículo eléctrico.
Para el Nissan Leaf que se tiene en DELSUR el automóvil tiene una autonomía de 140 km correspondiente al datasheet, y comprobados en el país es de 120 km, siendo un 80% en ciudad y 20% en carretera aproximadamente.
14. Peso máximo soportado por el automóvil eléctrico.

La carga máxima es de 395 kg, y caben 5 personas más 200kg de carga.

15. ¿Cuál es el tiempo de descarga de la batería cuando está completamente cargada?
Indeterminado
16. ¿Tipo de carga (DC o AC) que recibe el automóvil eléctrico?
Para el modelo que posee DELSUR el automóvil eléctrico se puede cargar AC como DC, aparte tiene un panel solar en el techo del automóvil que recarga un 1% al día el automóvil.
17. ¿Considera usted que es una inversión el consumir un automóvil eléctrico en un país en vías de desarrollo como el nuestro?
No se considera una inversión, sino como mejor alternativa.
18. ¿El automóvil eléctrico Nissan Leaf posee frenos regenerativos?
Si posee frenos regenerativos, regenerando un 30% en modo ahorrativo (para el caso del Nissan Leaf tiene el modo de conducción normal y conducción económica).
19. Especificaciones de la estación de carga del automóvil eléctrico y precio.
Modelo: eHome T1C16
Modo de carga: 3
Tipo de conector a la salida: 1 y 2
Tensión nominal: 230 V
Corriente nominal: 16 A y 32 A
Frecuencia 50/60 Hz
Longitud del cable: 5 m
Potencia máxima de salida: 3.7 kW y 7.4 kW
Las demás generalidades de la estación se pueden visualizar al final de la entrevista.
El precio ronda entre los 200 a 10,000 dólares, dependiendo del cargador que se compre.
20. ¿Cuáles son los planes a futuro como empresa distribuidora sobre la movilidad eléctrica?
Los planes a futuro que tiene DELSUR es impulsar la electromovilidad y con ello generar mayor consumo de energía, aparte de que los automóviles eléctricos sea una realidad en el país.
21. ¿se posee algún estudio sobre lugares óptimos para las primeras estaciones de carga en el país?
Se está elaborando el estudio actualmente.

	HEV	PHEV	BEV	FCEV
Tamaño de batería	Alrededor de 1-2 kWh	5-10 kWh	15-100 kWh	1-2 kWh
Conducción con una batería casi vacía.	Posible	Posible	No es posible	Posible
Conducción con tanque lleno.	400-700 km de combustible fósil.	Rango de conductividad eléctrica de la batería es 30 a 100 km; 400-700 km sobre combustibles fósiles.	Alcance eléctrico de la batería de 100-400 km.	400-700 km en combustible de hidrógeno.
Carga y recarga de combustible	Batería cargando solo durante la conducción; rellenar el tanque de combustible de las estaciones de combustible.	Batería cargando desde la red y durante la conducción; rellenar el tanque de combustible de las estaciones de combustible.	Batería cargando solo desde la red eléctrica.	Rellena el tanque de combustible de hidrogeno de las estaciones de combustible.
Economía de combustión y eficiencia	Mayor o similar ahorro de combustible que los vehículos ICE (ICEV).	Mayor economía de combustible que los ICEV; mayor ahorro de combustible que los HEV similares para la conducción eléctrica de la batería cargada de la red.	Mayor o igual ahorro de combustible que los HEVs e ICEVs; ahorro de combustible comparable al de los PHEVs por conducción eléctrica de la batería cargada de la red.	Mayor o similar ahorro de combustible que los ICEVs.
Emisión	Menos o similar que un vehículo ICE.	Menos o similar que HEV.	Emisión cero del tubo de escape.	Cero emisiones nocivas, el agua es un subproducto.

TABLA 1-1: tabla comparativa y resumen entre los principales vehículos eléctricos.

Clasificación de HEV	Micro híbrido	Semi híbrido	Completamente híbrido
Batería	Capacidad muy pequeña < 1 kWh, batería de bajo voltaje, típicamente de 12-48 v	Capacidad pequeña < 2 kWh, batería de media tensión, típicamente entre 48-200 v	Capacidad grande de 2 a 10 kWh, batería de alto voltaje, típicamente entre 200-400 v
Arranque/parada del motor mientras esta en ralentí	Si	Si	Si
Frenado regenerativo	Frenado regenerativo pequeño o nulo	Frenado regenerativo suave	Frenado regenerativo completo
Accionamiento eléctrico o asistencia al par eléctrico	Sin par adicional a las ruedas	Torque adicional a las ruedas, pero vehículo incapaz de propulsarlo solo	Todo el accionamiento eléctrico capaz de impulsar el vehículo solo
Batería cargando de la red	No es posible	No es posible	Posible, luego llamado automóvil eléctrico híbrido enchufable
Mejora en la economía de combustible (%)	2-4	10-20	> 25
Potencia del motor (kW)	< 5	5-25	20-50

TABLA 1-2: Tabla resumen de los tres tipos de HEV.

Fuente de energía	Año	Energía (Whr/kg)	Comparado a la gasolina
Gasolina	1900-20??	12.000	---
Plomo ácido	1900	10	1.200x peor
Plomo ácido	2000	35	350x peor
NiMH	2000	80	150x peor
Litio	2015	250	50x peor
Litio	2025	400	30 veces peor
Aire de litio	???	12.000	Mismo

TABLA 1-3: Tabla que muestra el desarrollo de la batería y comparación con la gasolina.

Motor térmico	Motor eléctrico	El motor eléctrico es...
1-3 kW/kg	3-10 kW/kg	3 veces más potente
0.4 kW/L	13.6 kW/L	40x más pequeño
5-30% de eficiencia	93-96% de eficiencia	3-20x más eficiente
Muchas partes móviles	Una parte móvil	Libre de mantenimiento

TABLA 1-4: Tabla comparativa entre el motor eléctrico y el motor de combustión interna.

Modo	Zócalo dedicado	Sistema de control, comunicación y protección	Carga AC/DC
1	No	No	AC
2	No	Si	AC
3	Si	Si	AC
4	Si	Si	DC

TABLA 1-5: Tabla resumen de los modos de carga de los automóviles eléctricos.

Bloque 3: Consumos mayores o iguales a 200 kWh/mes									
		CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.825711	0.965150	0.756658	0.879833	0.800900	2.297082	0.835768	0.892129
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.169366	0.170759	0.170576	0.175385	0.173186	0.167052	0.159614	0.146995
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.042498	0.070934	0.079840	0.075340	0.081026	0.064904	0.037076	0.042727

TABLA 1-6

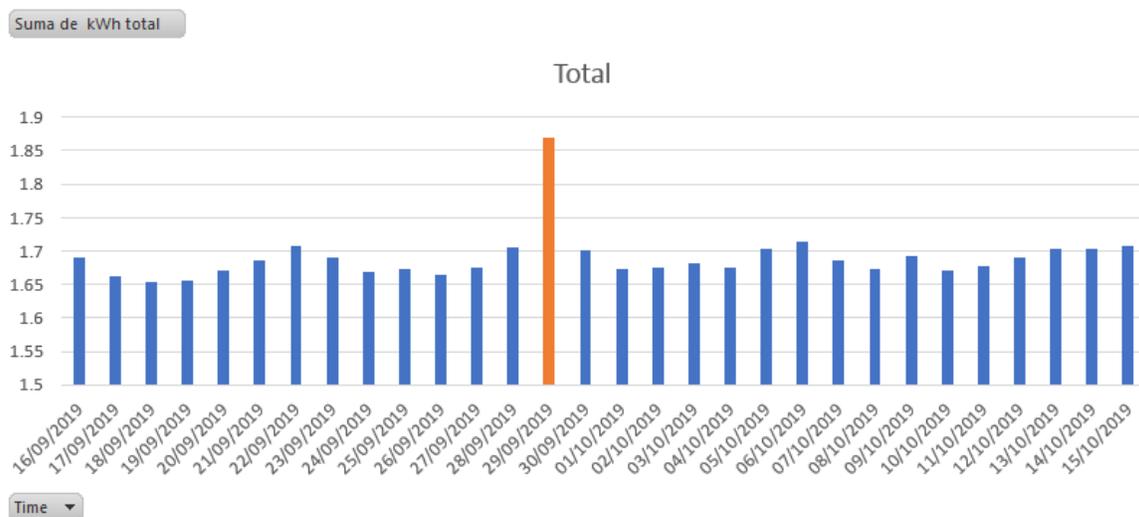
Uso General									
		CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.825711	0.965150	0.756658	0.879833	0.800900	2.297082	0.835768	0.892129
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.169290	0.170390	0.169908	0.171301	0.172339	0.167179	0.157355	0.146400
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.034300	0.042019	0.039963	0.059077	0.062187	0.061422	0.036641	0.033802

TABLA 1-7

En las *Directrices de la OMS (Organización Mundial de la Salud) sobre la Calidad del Aire* se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM₁₀) de 35 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 10 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses. En los países de bajos y medianos ingresos, la exposición a contaminantes en el interior y alrededor de las viviendas como consecuencia del uso de combustibles en estufas abiertas o cocinas tradicionales incrementa el riesgo de infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, así como el riesgo de cardiopatías, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón en los adultos. Existen graves riesgos sanitarios no solo por exposición a las partículas, sino también al ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂). Como en el caso de las partículas, las concentraciones

más elevadas suelen encontrarse en las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos.

El MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza y protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo transgeneracional, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.



Gráfica 5-4: Gráfico de barra que resume el consumo diario que tuvo la estación de carga implementada por DELSUR.

Mes	KWh	Monto
sep-19	49.85	\$ 8.11
oct-19	50.70	\$ 8.23

TABLA 5-5: Tabla resumen proporcionada por la distribuidora DELSUR, que muestra el monto total en dólares.

TABLA N° 22
VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE RESISTENCIA DE RED DE TIERRA DE UNA
SUBESTACION EN FUNCION DE SU CAPACIDAD.

CAPACIDAD DE LA SUBESTACION (MVA)	RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRA (OHMIOS)
≤0.05	12
0.05 - 0.1	6
0.1 - 0.5	2
0.5 - 1	1.5
1-50	1
50-100	0.5
>100	0.2

Tabla 5-6: Norma N° 29-E-2000 proporcionado por la SIGET, referente a la resistencia de la red de tierra adecuada.

Fotos de una estación de carga para automóvil eléctrico ubicada en la Universidad de Costa Rica (UC), San José:



Código de la Interfaz principal de la aplicación para celular de la figura 19:

```
1. <!DOCTYPE html>
2. <html>
3. <head>
4. <meta name="viewport" content="initial-scale=1.0, user-scalable=no">
5. <meta charset="utf-8">
6. <title>OurStation</title>
7. <style>
8.
9.     html, body {
10.         height: 100%;
11.         margin: 0;
12.         padding: 0;
13.     }
14.     #map {
15.         height: 100%;
16.     }
17. </style>
18. <script src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?v=3.exp&signed_in=true"
19. ></script>
20. <script type = "text/javascript">
21.
22. function draw_leg(fraction){
23.     dctx.lineTo(center_x + length * Math.sin(2 * Math.PI * fraction), center_y -
24.     length * Math.cos(2 * Math.PI * fraction));
25. }
26. function init(){
27.     var canvas = document.getElementById("clockface");
28. //Las siguientes variables se crean como globales, por lo que otras funciones pueden
29. acceder a ellas.
30. dctx = canvas.getContext('2d');
31. dctx.fillStyle = "white";
32. center_x = 100;
33. center_y = 100;
34. length = 100;
35. show_hands();
36. }
37. //Se dibuja una sola manecilla como un triángulo isósceles desde el centro hasta el
38. borde de la esfera del reloj.
39. function show_hand(fraction, width){
40.     dctx.beginPath();
41.     dctx.moveTo(center_x, center_y);
42.     draw_leg(fraction - width);
43.     draw_leg(fraction + width);
44.     dctx.fill();
```

```

42. }
43. function show_hands(){
44. //Borrar todo lo que ya esté presente en el área que representa la esfera del reloj.
45.     dctx.clearRect(0, 0, 200, 200);
46. //¿Cual es el tiempo "ahora"?
47.     var now = new Date();
48.     seconds = now.getSeconds();
49.     minutes = now.getMinutes() + seconds / 60;
50.     hours = now.getHours() + minutes / 60;
51. //la segunda manecilla es "más delgada" de las tres.
52.     show_hand(seconds / 60, 0.002);
53.     show_hand(minutes / 60, 0.005);
54. //la manecilla de la hora es dos veces más ancha que la manecilla de los minutos.
55.     show_hand(hours / 12, 0.01);
56.     var rate = 1000;
57.     setTimeout(show_hands, rate);
58. }
59.
60. </script>
61.
62. </head>
63.
64. <body background="fondo2.gif" onload = "init();" onload="load()" onunload="G
Unload()" align="right">
65.
66. <header>
67.     <h1 align="center" >OurStation</h1>
68. </header>
69.
70. <section align="center">
71.     <canvas id = "clockface" width = "200" height = "200"></canvas>
72.     
73. </section>
74.
75. <style type="text/css">
76.
77. body{
78.     color: red;
79. }
80.
81. .boton_personalizado{
82.     text-decoration: none;
83.     padding: 10px;
84.     font-weight: 600;
85.     font-size: 20px;
86.     color: #ffffff;
87.     background-color: #1883ba;

```

```

88. border-radius: 6px;
89. border: 2px solid #0016b0;
90. }
91.
92. </style>
93.
94. <section>
95.   <script>
96.
97. function initialize() {
98.   var myLatLng = {lat: 13.6880972, lng: -89.22795555555555};
99.   var myLatLng2 = {lat: 13.4935778, lng: -88.18949722222223};
100.     var myLatLng3 = {lat: 13.679075, lng: -89.25450555555555};
101.     var myLatLng4 = {lat: 13.6280389, lng: -89.788125};
102.     var mapOptions = {
103.       zoom:9.5,
104.       center:myLatLng
105.     }
106.
107.     var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'),
    mapOptions);
108.
109.     var marker = new google.maps.Marker({
110.       position: myLatLng,
111.       map: map,
112.       title: 'San Salvador'
113.     });
114.
115.     var marker = new google.maps.Marker({
116.       position: myLatLng2,
117.       map: map,
118.       title: 'San Miguel'
119.     });
120.
121.     var marker = new google.maps.Marker({
122.       position: myLatLng3,
123.       map: map,
124.       title: 'Santa Tecla'
125.     });
126.
127.     var marker = new google.maps.Marker({
128.       position: myLatLng4,
129.       map: map,
130.       title: 'Acajutla'
131.     });
132.   }
133.

```

```

134.     google.maps.event.addDomListener(window, 'load', initialize);
135.
136.     </script>
137. </section>
138.
139. <table id="tabla" align="right">
140. <BR CLEAR=RIGHT>
141.     <tr>
142.         <td>
143.             <a class="boton_personalizado" href="">INICIO</a>
144.             <a class="boton_personalizado" >ESTACION CERCANA</a>
145.             <br>
146.             <br>
147.             <br>
148.             <a class="boton_personalizado" link href="selector.html" rel="im
port"/>SELECCIONE ESTACION</a>
149.             <br>
150.             <br>
151.             <br>
152.             <a class="boton_personalizado" link href="tabla.html" rel="impor
t" />SONSULTAS O COMENTARIOS</a>
153.         </td>
154.
155.     </tr>
156. </table>
157.
158. <div id="map"></div>
159.
160. </body>
161. </html>

```

Código de la interfaz de la aplicación que muestra las cuatro estaciones de carga mostrada en la figura 20 es el siguiente:

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <head>
4. <title>Estaci&ocuten</title>
5. <script type = "text/javascript">
6.
7. function draw_leg(fraction){
8.     dctx.lineTo(center_x + length * Math.sin(2 * Math.PI * fraction), center_y -
length * Math.cos(2 * Math.PI * fraction));
9. }
10. function init(){
11.     var canvas = document.getElementById("clockface");

```

```

12. //Las siguientes variables se crean como globales, por lo que otras funciones pueden
    acceder a ellas.
13. dctx = canvas.getContext('2d');
14. dctx.fillStyle = "white";
15. center_x = 100;
16. center_y = 100;
17. length = 100;
18. show_hands();
19. }
20. //Se dibuja una sola manecilla como un triángulo isósceles desde el centro hasta el
    borde de la esfera del reloj.
21. function show_hand(fraction, width){
22.     dctx.beginPath();
23.     dctx.moveTo(center_x, center_y);
24.     draw_leg(fraction - width);
25.     draw_leg(fraction + width);
26.     dctx.fill();
27. }
28. function show_hands(){
29. //Borrar todo lo que ya esté presente en el área que representa la esfera del reloj.
30.     dctx.clearRect(0, 0, 200, 200);
31. //¿Cual es el tiempo "ahora"?
32.     var now = new Date();
33.     seconds = now.getSeconds();
34.     minutes = now.getMinutes() + seconds / 60;
35.     hours = now.getHours() + minutes / 60;
36. //la segunda manecilla es "más delgada" de las tres.
37.     show_hand(seconds / 60, 0.002);
38.     show_hand(minutes / 60, 0.005);
39. //la manecilla de la hora es dos veces más ancha que la manecilla de los minutos.
40.     show_hand(hours / 12, 0.01);
41.     var rate = 1000;
42.     setTimeout(show_hands, rate);
43. }
44.
45. </script>
46. </head>
47. <body background="pp.gif" onload = "init();" onload="load()" onunload="GUnload()" align="right">
48.     <header>
49.         <h1 align="center" >ESTACIONES DE CARGAR PARA AUTOMOVILES
            ELECTRICOS</h1>
50.     </header>
51.
52. <style type="text/css">
53.
54. body{

```

```

55.     color: yellow;
56. }
57.
58. .boton_personalizado{
59.     text-decoration: none;
60.     padding: 10px;
61.     font-weight: 600;
62.     font-size: 20px;
63.     color: #ffffff;
64.     background-color: #1883ba;
65.     border-radius: 6px;
66.     border: 2px solid #0016b0;
67.     align: left;
68. }
69.
70. </style>
71.
72. <table id="tabla" align="right">
73. <BR CLEAR=RIGHT>
74.     <tr>
75.         <td>
76.             <br>
77.             <a class="boton_personalizado" link href="sansalvador.html" rel="import
78.             "/>Estaci&oacuten de carga ubicada en San Salvador</a>
79.             <br>
80.             <br>
81.             <a class="boton_personalizado" link href="sanmiguel.html"
82.             rel="import"/>Estaci&oacuten de carga ubicada en San Miguel</a>
83.             <br>
84.             <br>
85.             <a class="boton_personalizado" link href="acajutla.html"
86.             rel="import"/>Estaci&oacuten de carga ubicada en Acajutla</a>
87.             <br>
88.             <br>
89.             <a class="boton_personalizado" link href="santatecla.html"
90.             rel="import"/>Estaci&oacuten de carga ubicada en Santa Tecla</a>
91.             <br>
92.             <br>
93.             <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
94.             />ATRAS</a>
95.             <br>
96.         </td>

```

```

97.
98.     </tr>
99. </table>
100.
101.     <section align="center">
102.         <canvas id = "clockface" width = "200" height = "200"></canvas>
103.         
104.     </section>
105.
106. <div id="map"></div>
107.
108. </body>
109. </html>

```

Código para la interfaz de la estación de carga de San Salvador correspondiente a la figura 21:

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <head>
4. <title>Estaci&ocuten de San Salvador</title>
5. </head>
6. <body background="ss.gif">
7. <style type="text/css">
8.
9. body{
10.     color: yellow;
11. }
12.
13. .boton_personalizado{
14.     text-decoration: none;
15.     padding: 10px;
16.     font-weight: 600;
17.     font-size: 20px;
18.     color: #ffffff;
19.     background-color: #1883ba;
20.     border-radius: 6px;
21.     border: 2px solid #0016b0;
22. }
23.
24. </style>
25. <header>
26.     <h1 align="center" >ESTACI&Oacute;N DE CARGA UBICADA EN SAN
27.     SALVADOR</h1>
28. </header>

```

```

29. <section align="center">
30.
31.     
32.     
33.     
34.     
35. </section>
36.
37. <table id="tabla" align="right">
38. <BR CLEAR=RIGHT>
39.     <tr>
40.         <td>
41.             <br>
42.             <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
/>ATRAS</a>
43.             <br>
44.             <br>
45.         </td>
46.
47.     </tr>
48. </table>
49.
50. <table id="tabla" align="right">
51. <BR CLEAR=RIGHT>
52.     <tr>
53.         <td>
54.             <a class="boton_personalizado" link href="selector.html" rel="import"
/>VOLVER A SELECCION DE ESTACION DE CARGA</a>
55.             <br>
56.             <br>
57.             <br>
58.         </td>
59.
60.     </tr>
61. </table>
62. </body>
63. </html>

```

Código para la interfaz de la estación de carga de San Miguel correspondiente a la figura 22:

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <head>
4. <title>Estacion de San Miguel</title>
5. </head>
6. <body background="ss.gif">

```

```

7. <style type="text/css">
8.
9. body{
10.     color: yellow;
11. }
12.
13. .boton_personalizado{
14.     text-decoration: none;
15.     padding: 10px;
16.     font-weight: 600;
17.     font-size: 20px;
18.     color: #ffffff;
19.     background-color: #1883ba;
20.     border-radius: 6px;
21.     border: 2px solid #0016b0;
22. }
23.
24. </style>
25. <header>
26.     <h1 align="center" >ESTACION DE CARGA UBICADA EN SAN
MIGUEL</h1>
27. </header>
28.
29. <section align="center">
30.
31.     
32.     
33.     
34.     
35.     
36.     
37. </section>
38.
39. <table id="tabla" align="right">
40. <BR CLEAR=RIGHT>
41.     <tr>
42.         <td>
43.             <br>
44.             <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
/>ATRAS</a>
45.             <br>
46.             <br>
47.         </td>
48.
49.     </tr>
50. </table>
51.

```

```

52. <table id="tabla" align="right">
53. <BR CLEAR=RIGHT>
54.     <tr>
55.         <td>
56.             <a class="boton_personalizado" link href="selector.html" rel="import"
57.             />VOLVER A SELECCION DE ESTACION DE CARGA</a>
58.         <br>
59.         <br>
60.         <br>
61.     </td>
62. </tr>
63. </table>
64. </body>
65. </html>

```

Código para la interfaz de la estación de carga de Acajutla correspondiente a la figura 23:

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <head>
4. <title>Estación de Acajutla</title>
5. </head>
6. <body background="ss.gif">
7. <style type="text/css">
8.
9. body{
10.     color: yellow;
11. }
12.
13. .boton_personalizado{
14.     text-decoration: none;
15.     padding: 10px;
16.     font-weight: 600;
17.     font-size: 20px;
18.     color: #ffffff;
19.     background-color: #1883ba;
20.     border-radius: 6px;
21.     border: 2px solid #0016b0;
22. }
23.
24. </style>
25. <header>
26.     <h1 align="center" >ESTACION DE CARGA UBICADA EN
27.     ACAJUTLA</h1>
28. </header>

```

```

29. <section align="center">
30.
31.     
32.     
33.     
34.     
35.     
36.     
37. </section>
38.
39. <table id="tabla" align="right">
40. <BR CLEAR=RIGHT>
41.     <tr>
42.         <td>
43.             <br>
44.             <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
45.             />ATRAS</a>
46.             <br>
47.             <br>
48.         </td>
49.     </tr>
50. </table>
51.
52. <table id="tabla" align="right">
53. <BR CLEAR=RIGHT>
54.     <tr>
55.         <td>
56.             <a class="boton_personalizado" link href="selector.html" rel="import"
57.             />VOLVER A SELECCION DE ESTACION DE CARGA</a>
58.             <br>
59.             <br>
60.         </td>
61.     </tr>
62. </table>
63. </body>
64. </html>

```

Código para la interfaz de la estación de carga de Santa Tecla correspondiente a la figura 24:

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <head>

```

```

4. <title>Estaci&ocuten de Santa Tecla</title>
5. </head>
6. <body background="ss.gif">
7. <style type="text/css">
8.
9.   body{
10.     color: yellow;
11.   }
12.
13.   .boton_personalizado{
14.     text-decoration: none;
15.     padding: 10px;
16.     font-weight: 600;
17.     font-size: 20px;
18.     color: #ffffff;
19.     background-color: #1883ba;
20.     border-radius: 6px;
21.     border: 2px solid #0016b0;
22.   }
23.
24. </style>
25. <header>
26.   <h1 align="center" >ESTACI&OacuteN DE CARGA UBICADA EN SANTA
    TECLA</h1>
27. </header>
28.
29. <section align="center">
30.
31.     
32.     
33.     
34.
35. </section>
36.
37. <table id="tabla" align="right">
38. <BR CLEAR=RIGHT>
39.   <tr>
40.     <td>
41.       <br>
42.       <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
    />ATRAS</a>
43.     <br>
44.     <br>
45.   </td>
46.
47. </tr>
48. </table>

```

```

49.
50. <table id="tabla" align="right">
51. <BR CLEAR=RIGHT>
52.     <tr>
53.         <td>
54.             <a class="boton_personalizado" link href="selector.html" rel="import"
55.             />VOLVER A SELECCION DE ESTACION DE CARGA</a>
56.         <br>
57.         <br>
58.         <br>
59.     </td>
60. </tr>
61. </table>
62. </body>
63. </html>

```

Código para la interfaz de comentario y consultas de la aplicación para celular representativo de la figura 24.2:

```

1. <!doctype html>
2. <html lang="es">
3. <head>
4.     <meta charset="utf-8">
5. <title>Consulatas</title>
6. <script type = "text/javascript">
7.
8. function draw_leg(fraction){
9.     dctx.lineTo(center_x + length * Math.sin(2 * Math.PI * fraction), center_y -
10.     length * Math.cos(2 * Math.PI * fraction));
11. }
12. function init(){
13.     var canvas = document.getElementById("clockface");
14.
15. dctx = canvas.getContext('2d');
16. dctx.fillStyle = "white";
17. center_x = 100;
18. center_y = 100;
19. length = 100;
20. show_hands();
21. }
22. function show_hand(fraction, width){
23.     dctx.beginPath();
24.     dctx.moveTo(center_x, center_y);
25.     draw_leg(fraction - width);

```

```

26.     draw_leg(fraction + width);
27.     dctx.fill();
28. }
29. function show_hands(){
30.
31.     dctx.clearRect(0, 0, 200, 200);
32.
33.     var now = new Date();
34.     seconds = now.getSeconds();
35.     minutes = now.getMinutes() + seconds / 60;
36.     hours = now.getHours() + minutes / 60;
37.
38.     show_hand(seconds / 60, 0.002);
39.     show_hand(minutes / 60, 0.005);
40.
41.     show_hand(hours / 12, 0.01);
42.     var rate = 1000;
43.     setTimeout(show_hands, rate);
44. }
45.
46. </script>
47.
48. </head>
49. <body background="pp3.jpg" bgcolor="FFFFFF" onload = "init();"
    onload="load()" onunload="GUnload()">
50. <header>
51.     <h1 align="center" >CONSULATAS O COMENTARIOS</h1>
52. </header>
53. <style type="text/css">
54.
55. body{
56.     color: yellow;
57. }
58.
59. .boton_personalizado{
60. text-decoration: none;
61. padding: 10px;
62. font-weight: 600;
63. font-size: 20px;
64. color: #ffffff;
65. background-color: #1883ba;
66. border-radius: 6px;
67. border: 2px solid #0016b0;
68. }
69.
70. </style>
71.

```

```

72.     <div id="contact-form">
73.
74.     <form id="contact" method="post" action="">
75.     <fieldset>
76.
77.     <label for="custname">Nombre:</label>
78.     <input type="text" id="custname" />
79.     <br>
80.     <br>
81.
82.     Sexo: <input type="radio" name="sexo" value="H"> Hombre
83.     <input type="radio" name="sexo" value="M"> Mujer
84.     <br>
85.     <br>
86.
87.     <label for="email">Email:</label>
88.     <input type="email" id="email" />
89.     <br>
90.     <br>
91.
92.     <label for="phone">Telefono/Celular:</label>
93.     <input type="text" id="phone" />
94.     <br>
95.     <br>
96.
97.     <label for="message">Preguntas o Comentarios:</label>
98.     <textarea name="message"></textarea>
99.     <br>
100.    <br>
101.
102.    <input type="submit" name="submit" id="submit" value="Submit"
    />
103.    <br>
104.    <br>
105.    <br>
106.
107.    <a class="boton_personalizado" link href="pt.html" rel="import"
    />ATRAS</a>
108.    <br>
109.    <br>
110.
111.    </fieldset>
112.    </form>
113.
114.    </div>
115.
116.    <br>

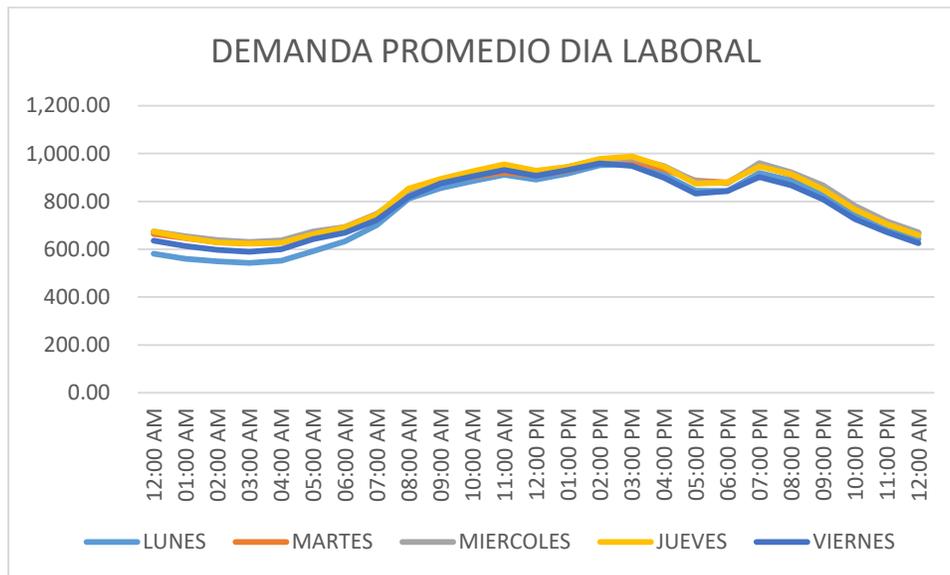
```

```

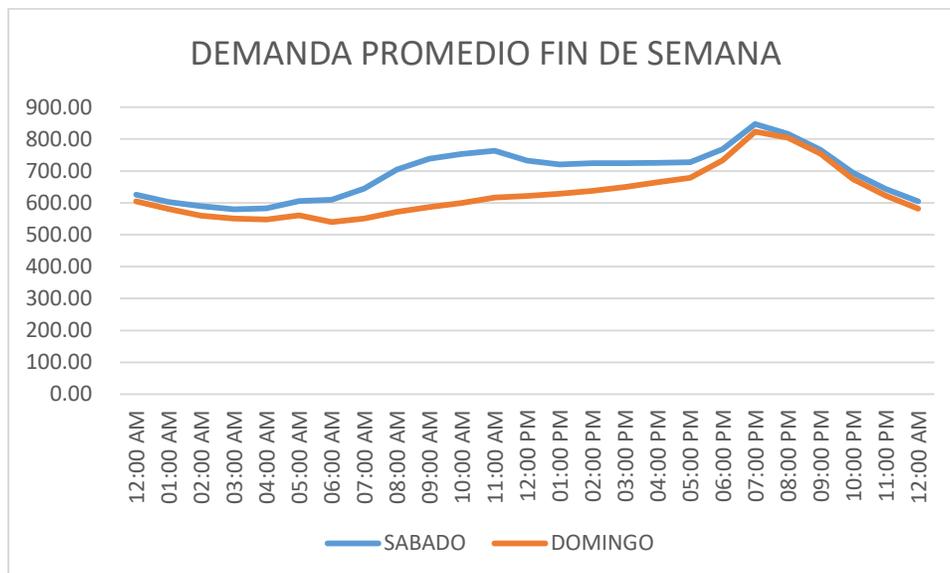
117.     <br>
118.     <section align="center">
119.         <canvas id = "clockface" width = "200" height = "200"></canvas>
120.         
121.     </section>
122.
123. </body>
124. </html>

```

Pronóstico de demanda presentado por la UT.



Grafica 5-7: Demanda promedio en día laboral



Grafica 5-368: Demanda Promedio en día de fin de semana



Delta DC Wallbox EV Charger

Key Features

- SAE J1772 CCS* / CHAdeMO dual charging ports
- DIN 70121 / CHAdeMO compliance
- Max. output power: 25kW
- Output voltage range: 200-500Vdc (Combo); 50-500Vdc (CHAdeMO)
- Max. 94% power efficiency
- RFID card reader for user authentication
- Network connectivity (OCPP)
- Type 3R protection and IK10 vandal-proof casing

Applications



Highway
Service



Parking



Service
Station



Workplace



Fleet

Power Input	Input Rating	(1) 240 / 277Vac; 60Hz; Single-phase / L1, L2, PE or L, N, PE (2) 480Vac; 60Hz; Three-phase / L1, L2, L3, N, PE (3) 208Vac; 60Hz; Three-phase / L1, L2, L3, PE
	Upstream breaker	(1) 165A (2) 40A (3) 90A
	Power Factor	> 0.98
	Current THD	Compliant with IEEE 519
	Efficiency	94%
Power Output	DC Output #1	SAE J1772 DC Level 2, 200-500 Vdc, 65 A max., 25kW max.
	DC Output #2	CHAdeMO, 50-500 Vdc, 60A max., 25 kW max.
Protection	Protection	Over current, Under voltage, Over voltage, Residual current, Surge protection, Short circuit, Over temperature, Ground fault
User Interface & Control	Display	2.7" OLED screen
	Support Language	English (Other languages available upon request)
	Push Buttons	Multi-functional buttons (LED light: Orange, Blue) / Emergency stop button (Red)
	Charge Options	Charge options to be provided upon request: Charge by duration, Charge by energy
	User Authentication	ISO/IEC 14443 Type A/B RFID for user authentication
Communication	Network Interface	Ethernet (standard); 3G (optional)
Environmental	Operating Temperature	-22 °F to +122 °F (-30 °C to +50 °C)
	Storage Temperature	-40 °F to +185 °F (-40 °C to +85 °C)
	Humidity	< 95% relative humidity, non-condensing
	Altitude	Up to 6500 ft. (2000 m)
Mechanical	Ingress Protection	Type 3R
	Enclosure Protection	IK10
	Cooling	Forced air
	Charging Cable Length	13 ft. (4 m)
	Dimension (W x H x D) / Weight	27 x 17 x 9 in. (680 x 430 x 230 mm) 104 lbs (47kg), excluding plug and cable
Regulation	Certificate	UL, cUL, UL 2202, UL 2231

Specifications are subject to change without notice.





MAXEON® 3 | 400 W

Residential Solar Panel

SunPower Maxeon panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings.^{1,2}



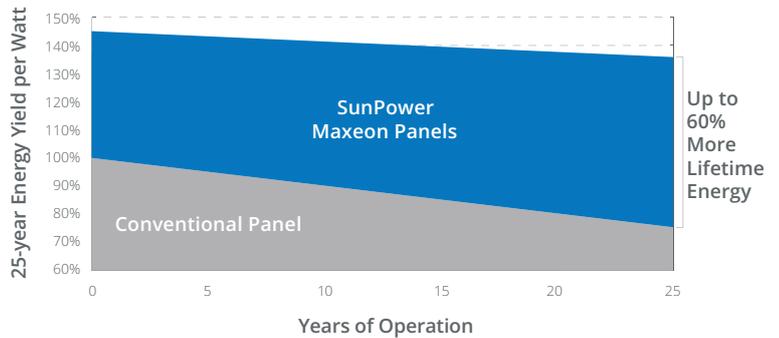
Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.



Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 60% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures.²



Fundamentally Different. And Better.



The SunPower Maxeon® Solar Cell

- Enables highest efficiency panels available²
- Unmatched reliability³
- Patented solid metal foundation prevents breakage and corrosion



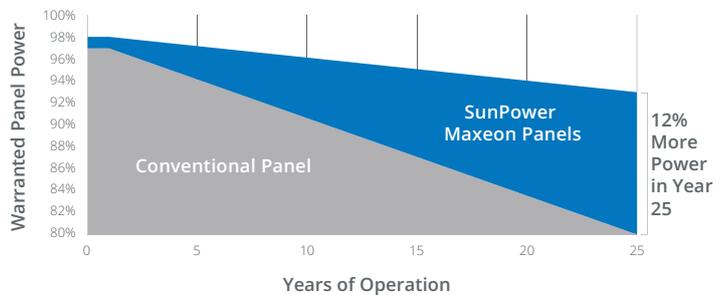
As Sustainable As Its Energy

- Ranked #1 in Silicon Valley Toxics Coalition Solar Scorecard⁴
- First solar panels to achieve Cradle to Cradle Certified™ Silver recognition⁵, pending
- Contributes to more LEED categories than conventional panels⁶



Better Reliability, Better Warranty

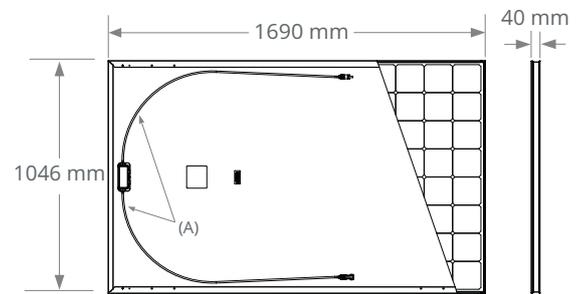
With more than 25 million panels deployed around the world, SunPower technology is proven to last. That's why we stand behind our panel with an exceptional 25-year Combined Power and Product Warranty, including the highest Power Warranty in solar.



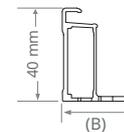
Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	15 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C		
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C		

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, Stäubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Design Load	Wind: 2660 Pa, 274 kg/m ² front & back Snow: 4000 Pa, 408 kg/m ² front
Max. Load ¹⁰	Wind: 4000 Pa, 408 kg/m ² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m ² front
Frame	Class 1 black anodized (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730 Class 1 fire rated per UNI 9177
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV ⁹



FRAME PROFILE



A. Cable Length: 1200 mm +/-10 mm
 B. LONG SIDE: 32 mm
 SHORT SIDE: 24 mm

Please read the safety and installation guide.

1 SunPower 400 W, 22.6% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m²), 7% more energy per watt (based on PVsyst pan files for avg EU climate), 0.5%/yr slower degradation rate (Jordan, et. al. "Robust PV Degradation Methodology and Application." PVSC 2018).

2 DNV "SunPower Shading Study," 2013. Compared to a conventional front contact panel.

3 #1 rank in "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 3". PVTech Power Magazine, 2015.

4 SunPower is rated #1 on Silicon Valley Toxics Coalition's Solar Scorecard.

5 Cradle to Cradle Certified is a multi-attribute certification program that assesses products and materials for safety to human and environmental health, design for future use cycles, and sustainable manufacturing.

6 Maxeon2 and Maxeon3 panels additionally contribute to LEED Materials and Resources credit categories.

7 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.

8 Class C fire rating per IEC 61730.

9 Also certified under names SPR-XYX-XXX.

10 Calculated with a 1.5 Safety Factor.

Designed in USA
 Made in Philippines (Cells)
 Modules Assembled in Mexico

Visit www.sunpowercorp.co.uk for more information.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2019 SunPower Corporation. All rights reserved. SUNPOWER, the SUNPOWER logo and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation. Cradle to Cradle Certified™ is a certification mark licensed by the Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

SUNPOWER®

MAXEON®

Multicluster Box for SUNNY ISLAND 4548-US and 6048-US



MCB-12U



IMAGE FOR ILLUSTRATIVE PURPOSES ONLY



Flexible

- Integrated AC distribution for Sunny Island, generator and PV systems
- Can accommodate various generator, PV and load sizes
- For systems up to 100 kW

Simple

- Load shedding, Sunny Island and generator contactors and circuit breakers
- Circuit breaker for PV system

Enhanced Safety

- Reverse current monitoring
- Simple emergency operation of the generator

Multicluster Box for SUNNY ISLAND 4548-US and 6048-US

Simple design of large off-grid systems

The Multicluster Box for the Sunny Island 4548-US and 6048-US is the ideal solution for the easy installation of off-grid systems up to 100 kW. Two to four three-phase clusters, each with three Sunny Islands, can be connected in parallel. The Multicluster Box is pre-wired for operation and equipped with a main connection for PV or wind energy systems. The communication cables necessary for installation are also included.

