



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE MÉTODOS DE GESTIÓN DE CARGA POR
USO DE ALMACENAMIENTO DISTRIBUIDO Y
AFECTACIÓN EN EL NIVEL DE ENVEJECIMIENTO EN
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA

DIEGO FABIÁN MALDONADO MACAS

MIGUEL ADRIÁN PARRA VALVERDE

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por no abandonarme nunca y ser mi guía en este trayecto, a mis padres Segundo Maldonado y Martha Macas que han sido una parte fundamental en mi vida personal y profesional, gracias por apoyarme incondicionalmente, por ustedes soy una persona con aspiraciones, propósitos y metas en la vida.

Gracias a mi novia Sheyla Troya y a mi hermana Gabriela Caiminagua quienes han estado conmigo desde el primer día hasta el final de mi carrera universitaria, gracias por sus palabras de aliento en todo momento, por no dejarme caer y ayudarme a mantener mi objetivo claro.

A mi hermano Joseph Maldonado, con quien hemos compartido momentos de alegrías y tristezas al estar lejos de nuestro hogar, gracias por acompañarme en este camino.

Diego Fabián Maldonado Macas

Primeramente, quiero agradecer a Dios, por ayudarme a seguir adelante y a levantarme después de cada caída. Gracias por poner en mi vida a todas las personas que de alguna manera me han hecho la persona que soy ahora.

Gracias a mis padres Miguel Antonio y María Yolanda, por ser mis primeros educadores, por el sacrificio y la entrega, y por siempre buscar lo mejor para mí.

A mis hermanas María Isabel y Romina Yolanda, por saber salir de su comodidad para prestarme su ayuda generosa, y por brindarme tan buenos ejemplos de esfuerzo y cariño.

Miguel Adrián Parra Valverde

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico primeramente a Dios, a mi padre Segundo Maldonado, mi madre Martha Macas, mis hermanos Joseph Maldonado y Gabriela Caiminagua, debido que a lo largo de la trayectoria de mi vida me han brindado su afecto incondicional con ese calor de hogar que todo miembro de familia necesita, y que estando lejos siempre han velado por mí bienestar y mi futuro.

Diego Fabián Maldonado Macas

Dedico este proyecto a Dios, por ser mi principal fuente de inspiración y por darme optimismo y perseverancia en cada momento.

A mis padres y hermanas, quienes me han ayudado a lo largo de mi etapa estudiantil, con sus consejos, explicaciones, y por ayudarme a ser una mejor persona.

Miguel Adrián Parra Valverde

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
MSc. Iván Endara Vélez

PROFESOR EVALUADOR

.....
MSc. Jorge Montealegre García

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Diego Fabián Maldonado Macas

Miguel Adrián Parra Valverde

RESUMEN

El estudio de transformadores es de primordial importancia, puesto que en el diseño de una subestación de distribución el transformador es uno de los equipos principales que la conforman y un deterioro anormal de los mismos puede significarle la salida prematura de funcionamiento ya sea por fallas externas o internas, estas últimas difíciles de detectar a tiempo, disminuyendo la confiabilidad del sistema. Existen dos métodos que tratan de linealizar la curva de demanda, el uno denominado desplazamiento de carga y el otro denominado almacenamiento distribuido. El enfoque del proyecto será el análisis del método de almacenamiento distribuido con el propósito de disminuir la temperatura interior del transformador, para así evitar un posible desperfecto en su operación.

El propósito de este trabajo es realizar un análisis técnico sobre los diferentes parámetros que afectan la vida útil de los transformadores que alimentan a redes urbanas en un sector residencial del cantón Samborondón, y determinar qué tan beneficioso resulta tanto para la empresa distribuidora CNEL Guayas–Los Ríos y para los usuarios finales colocar sistemas de generación fotovoltaicas para extender la vida útil de los transformadores.

En los transformadores de potencia en distribución es necesario conocer valores de temperatura, humedad ya que en caso de que estos parámetros se encuentren en valores muy altos representarán esfuerzos eléctricos, mecánicos que a la larga terminaran afectando su vida útil.

El factor de utilización del transformador representa el desempeño del equipo en operación, es decir si está sobredimensionado o subdimensionado. Al aplicar el método de linealización de carga se tratará de reducir el mismo, conllevando a una variación de la eficiencia proporcionando un aumento de la vida útil del equipo.

En el primer capítulo se detallan los conceptos de la investigación, las variables que lo afectan a través de los años de operación y los efectos que producen en el mismo, además de presentar datos de la vida útil del transformador. En el segundo se expone la metodología del estudio, la asociación de la cargabilidad con la temperatura del

punto más caliente del devanado (HOT-SPOT) y el porcentaje de humedad en el interior del transformador. Mediante la curva de demanda diaria vista desde cada subestación se puede determinar la variación real de temperatura que provoca en los equipos a través del tiempo y cómo influirá en su envejecimiento a futuro. En el tercer capítulo se presentan los resultados implementando sistemas de generación solar con almacenamiento de carga distribuida (baterías), con la finalidad de ayudar a disminuir los picos de demanda.

Los sistemas de generación solar residencial se diseñaron con seis y nueve paneles solares variando su entrega de potencia diaria mediante diferentes capacidades de inversores determinando que la opción con nueve paneles y un inversor de baja capacidad provoca la mayor reducción de temperatura del punto más caliente del devanado, disminuyéndola en tres y cuatro grados centígrados al pasar los años de funcionamiento del transformador.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN.....	v
CAPÍTULO 1.....	1
1. GENERALIDADES Y PRINCIPIOS TEÓRICOS	1
1.1 Justificación	1
1.2 Alcance.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Marco Teórico.....	3
1.4.1 Transformadores de potencia en distribución.	3
1.4.2 Energías Renovables	7
1.4.3 Almacenamiento electromecánico de carga distribuida	9
1.4.4 Demanda y Curva de carga.....	9
CAPÍTULO 2.....	12
2. DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA MATRICIAL.....	12
2.1 Generalidades	12
2.2 Introducción del sistema de generación fotovoltaico	14
2.2.1 Perfil de sombras	17
2.2.2 Cálculo de la radiación solar sobre la inclinación del panel	17
2.3 Análisis de métodos de gestión de carga.....	20
2.3.1 Selección de equipos y elementos	21
2.3.2 Curva de demanda de la subestación Manglero.....	24

2.3.3	Curva de demanda de la subestación Mocolí	28
2.4	Análisis de la metodología de cargabilidad y temperatura	30
2.4.1	Constante de tiempo del aceite	30
2.4.2	Punto más caliente del devanado (Hot-Spot)	32
2.5	Análisis de la metodología de humedad interna en el transformador 38	
2.6	Implementación de la metodología	40
2.7	Matriz de envejecimiento	44
2.8	Vida útil de los transformadores a través de los años de operación.	46
2.8.1	Envejecimiento del transformador de la subestación Manglero .	47
2.8.2	Envejecimiento del transformador de la subestación Mocolí	49
2.9	Equipos de monitoreo en línea	51
CAPITULO 3.....		53
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
3.1	Simulación de curvas de demanda de la subestación Manglero	53
3.1.1	Análisis con 6 paneles fotovoltaicos	53
3.1.2	Análisis con 9 paneles fotovoltaicos	56
3.1.3	Análisis económico para un abonado de la s/e Manglero	64
3.2	Simulación de curvas de demanda de la subestación Mocolí	67
3.2.1	Análisis con 6 paneles fotovoltaicos	67
3.2.2	Análisis con 9 paneles fotovoltaicos	69
3.2.3	Análisis económico para un abonado de la s/e Mocolí	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		79
BIBLIOGRAFÍA.....		81
ANEXOS		84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistema de generación fotovoltaica [6]	8
Figura 1.2: Funcionamiento del inversor. [7]	9
Figura 1.3: Curva de carga horaria	10
Figura 2.1: Diagrama unifilar CNEC Guayas-Los Ríos sector Samborombón	13
Figura 2.2: Medidores de las s/e de distribución	14
Figura 2.3: Presentación del Sistema PVsyst	15
Figura 2.4: Localización del Sistema	16
Figura 2.5: Radiación solar en el año.....	17
Figura 2.6: Configuración Global del Sistema PVsyst.	20
Figura 2.7: Curva de demanda diaria por transformador.....	21
Figura 2.8: Inversor Omniksol [11]	22
Figura 2.9: Características del panel solar Tamesol 255Wp [12]	23
Figura 2.10: Características de baterías de descarga profunda. [13] [14]	24
Figura 2.11: Curva de demanda por abonado residencial. s/e Manglero.	25
Figura 2.12: Curva de carga diaria s/e Manglero.	26
Figura 2.13: Curva de demanda KW vs t s/e Mocolí.	29
Figura 2.14: Eficiencia de transformadores de potencia.	32
Figura 2.15: Relación entre cargabilidad y temperatura top-oil °C [17].	33
Figura 2.16: Temperatura del punto más caliente vs factor de envejecimiento. [18]	37
Figura 2.17: Factor de envejecimiento del papel vs Temperatura del aceite.	39
Figura 2.18: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Los Arcos).	41
Figura 2.19: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Tennis Club A).....	41
Figura 2.20: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Tennis Club B).....	42
Figura 2.21: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Manglero).	42
Figura 2.22: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Mocolí).....	42
Figura 2.23: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Batán).....	43

Figura 2.24: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Ciudad Celeste)...	43
Figura 2.25: Factor de envejecimiento debido a la cargabilidad.	45
Figura 2.26: Factor de envejecimiento debido a la humedad del papel.	46
Figura 2.27: Factor de envejecimiento total.	46
Figura 2.28: Temperatura Hot-Spot vs Años de operación (Manglero).	48
Figura 2.29: Envejecimiento vs años de operación (S/E Manglero).	49
Figura 2.30: Temperatura Hot-Spot vs Años de operación (S/E Mocolí).	50
Figura 2.31: Envejecimiento vs años de operación (S/E Mocolí).....	51
Figura 2.32: Equipo Hydran M2 (GE) [23].	52
Figura 3.1: Caso 1: 6 paneles Inversor de 0,6 KW.....	55
Figura 3.2: Caso 2: 6 paneles Inversor de 1 KW.....	56
Figura 3.3: Caso 3. 9 paneles Inversor 0,75KW.....	57
Figura 3.4: Caso 4. 9 paneles Inversor 1,5KW.....	59
Figura 3.5: Temperatura Hot-Spot (Opciones).	60
Figura 3.6: Temperatura Hot-Spot (Opciones).	61
Figura 3.7: (Opciones). Envejecimiento s/e Manglero.....	62
Figura 3.8: (Opciones). %Envejecimiento s/e Manglero.....	62
Figura 3.9: Caso 5. 9 paneles Inversor 0,5KW.....	68
Figura 3.10: Caso 6. 6 paneles Inversor 0,6KW.....	69
Figura 3.11: Caso 7. 9 paneles Inversor 0,75KW.....	71
Figura 3.12: Caso 8. 9 paneles Inversor 1KW.....	72
Figura 3.13: Opciones. Temperatura (HOT-SPOT s/e Mocolí).....	73
Figura 3.14: Opciones. Temperatura (HOT-SPOT s/e Mocolí).....	74
Figura 3.15: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí).	75
Figura 3.16: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí).	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Expectativa de vida de equipos eléctricos [1].	4
Tabla 2: Datos meteorológicos del cantón Samborondón [8].	15
Tabla 3: Datos georeferenciales	16
Tabla 4: Ángulo de inclinación paneles.	16
Tabla 5: Factores K por inclinación.	18
Tabla 6: Radiación mensual por inclinación	19
Tabla 7: Precios de inversores.	22
Tabla 8: Precio módulo solar Tamesol.	23
Tabla 9: Clasificación de la demanda (s/e Manglero).	24
Tabla 10: Demanda por abonado s/e Manglero.	25
Tabla 11: Datos de generación solar fotovoltaica (Manglero).	27
Tabla 12: Clasificación de la demanda (s/e Mocolí)	28
Tabla 13: Demanda por abonado subestación Mocolí.	29
Tabla 14: Datos de eficiencia Norma Nema TP1 [16].	31
Tabla 15: Valores recomendados por la IEEE [3]	35
Tabla 16: Factores que dependen de la humedad [19].	38
Tabla 17: Datos técnicos de los transformadores.	40
Tabla 18: Matriz de envejecimiento.	45
Tabla 19: Crecimiento de demanda en S/E Manglero.	47
Tabla 20: Crecimiento de demanda en S/E Mocolí.	50
Tabla 21: Conjunto de seis paneles solares (Manglero).	54
Tabla 22: Conjunto de 9 paneles solares (Manglero).	57
Tabla 23: Opciones. (Factor de utilización s/e Manglero).	60
Tabla 24: Año final de operación (Transformador s/e Manglero).	60
Tabla 25: Año final de operación (% envejecimiento s/e Manglero).	61
Tabla 26: Inversión total caso 3.	64
Tabla 27: Factores por KWH.	65

Tabla 28: Costo de energía SPS.	65
Tabla 29: Costo KWH.Caso 3.	66
Tabla 30: Recuperación de la inversión. Caso 3.	66
Tabla 31: Conjunto de seis paneles solares (Mocolí).	67
Tabla 32: Conjunto de nueve paneles solares (Mocolí).	70
Tabla 33: Factor de utilización (s/e Mocolí).	72
Tabla 34: Opciones. Temperatura (Hot-Spot s/e Mocolí)	73
Tabla 35: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí)	74
Tabla 36: Inversión total caso 7.	76
Tabla 37: Costo de energía SPS (Mocolí).	77
Tabla 38: Costo KWH. Caso 7.	77
Tabla 39: Recuperación de la inversión. Caso 7.	78
Tabla 40. Datos curva de carga subestación Puntilla (Los Arcos).	84
Tabla 41. Datos curva de carga subestación Tennis Club A.	85
Tabla 42. Datos curva de carga subestación Tennis Club B.	86
Tabla 43. Datos curva de carga subestación Manglero.	87
Tabla 44. Datos curva de carga subestación Mocolí.	88
Tabla 45. Datos curva de carga subestación Lagos del Batán.	89
Tabla 46. Datos curva de carga subestación Ciudad Celeste.	90
Tabla 47. Matriz de envejecimiento total.	98
Tabla 48. Datos de generación fotovoltaica usando nueve paneles solares.	99
Tabla 49. Datos de generación fotovoltaica usando seis paneles solares.	100
Tabla 50. Opción Manglero seis paneles e inversor 0,6 KW.	104
Tabla 51. Opción Manglero seis paneles e inversor 1 KW.	107
Tabla 52. Opción Manglero nueve paneles e inversor 0,75 KW.	111
Tabla 53. Opción Manglero nueve paneles e inversor 1,50 KW.	114
Tabla 54. Opción Mocolí seis paneles e inversor 0,50 KW.	118
Tabla 55. Opción Mocolí seis paneles e inversor 0,60 KW.	122
Tabla 56. Opción Mocolí nueve paneles e inversor 0,75 KW.	126
Tabla 57. Opción Mocolí nueve paneles e inversor 1 KW.	130

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES Y PRINCIPIOS TEÓRICOS

1.1 Justificación

La mayoría de los equipos, ya sean eléctricos o mecánicos tienen un límite de vida útil que es determinado por los fabricantes de los mismos. El transformador es una máquina eléctrica estática cuyo desgaste a través del tiempo depende del uso que se le ha dado, en qué condiciones le ha tocado trabajar y si ha sido sujeto a algún mantenimiento previo.

El transformador distribución desde que comienza su operación está regido por parámetros o variables que determinan su funcionamiento. Estos parámetros pueden ser internos y externos, por ejemplo: temperatura y voltaje. Una variación de algún parámetro fuera de sus niveles normales repercute en un funcionamiento incorrecto, y aquello puede darle una idea al operador para tomar una decisión a tiempo. Esta variación con respecto a otra puede convertirse en un conjunto de arreglos hasta transformarse en una matriz y aquella matriz es la que va a ser estudiada en este documento, su formación, variación y afectación a través del tiempo. En muchas ocasiones las empresas eléctricas no toman en cuenta esta información debido a que se requiere de equipos de medición y comunicación que puede tener un costo fijo alto.

La matriz de parámetros estará ligada con el porcentaje de envejecimiento del equipo eléctrico con la finalidad de determinar el año de salida del transformador, para así verificar si es factible insertar un sistema de generación fotovoltaica en el año actual para disminuir dicho porcentaje y con esto aliviar la cargabilidad del transformador.

Otro parámetro de estudio será la curva de carga que simboliza el comportamiento del usuario al consumir potencia eléctrica, cuya variación es poco significativa con respecto a cada día, debido a la conducta constante de usuarios residenciales. Por lo tanto, se presentará un método para gestionar

carga por almacenamiento distribuido con el fin disminuir y suavizar los picos de la curva de carga. En consecuencia, se hará un análisis del comportamiento de esta curva para así conocer el momento propicio en donde se utilizará esta energía y que tipo de afectación tendrá esta sobre el transformador.

1.2 Alcance

El presente trabajo realiza un estudio de transformadores de distribución basando su análisis en la vida útil del equipo y cómo variaciones anormales de parámetros internos pueden acelerar el envejecimiento del mismo considerando normas IEEE.

El alcance de este estudio se limita exclusivamente al análisis de la temperatura del punto más caliente del devanado (HOT-SPOT) del transformador y al porcentaje de humedad dentro del equipo, por lo tanto, no es recomendable generalizar estos resultados al envejecimiento total del transformador, puesto que existen factores tales como fallas internas, externas, diseño, entre otros, que le proporcionarán una variación extra al mismo.

Por medio de datos reales de curvas de demanda diaria de cada subestación proporcionados por la empresa CNEL Guayas-Los Ríos se determinará la variación de la temperatura del punto más caliente del devanado a través del tiempo debido a la cargabilidad y se proyectará aquellas curvas a años futuros con el fin de determinar el año final de operación del equipo.

Posteriormente se realizará el estudio de insertar un sistema de generación solar fotovoltaica por residencia con la ayuda de la herramienta PVsyst con el objetivo de aumentar la vida útil logrando aliviar el pico de demanda, para así determinar si es beneficioso en el ámbito económico y técnico para la empresa distribuidora o para el abonado el diseño e implementación del mismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una matriz con parámetros que involucran el funcionamiento normal de los transformadores y analizar cómo esta variación afecta la vida útil del equipo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar opciones de sistemas de generación solar residencial con diferentes números de paneles solares con la finalidad de variar la temperatura del punto más caliente del devanado.
- Comparar y evaluar diferentes tipos de inversores para la reducción de la curva de demanda residencial con el propósito de disminuir el factor de utilización actual del transformador.
- Realizar un análisis económico al utilizar baterías como método de almacenamiento distribuido en conjunto con energía renovable fotovoltaica, comparando el ahorro como resultado al aliviar la curva de demanda residencial.
- Estudiar el comportamiento de la curva de demanda a futuro para determinar el envejecimiento del transformador.

1.4 Marco Teórico

El sistema de distribución es el encargado de entregar potencia eléctrica a todos los consumidores. Su extensa configuración inicia desde la barra de subtransmisión de 69 KV y termina en la carga, es decir en las residencias, hogares, industrias, etc. Su objetivo principal es ofrecer un nivel de voltaje de forma sinusoidal acorde a las necesidades de la carga.

En las subestaciones de distribución de la región costa del Ecuador, la transformación de voltaje se realiza a nivel de 69KV. Los transformadores trifásicos de distribución con configuración delta-estrella aterrizada son los encargados reducir este voltaje a 13,8KV o 13,2 KV línea-línea para luego viajar por líneas de distribución entre poste y encontrarse con transformadores monofásicos, lo cuales disminuyen este valor de tensión a 240-120V, niveles de voltajes regulados para la entrega de energía a sectores residenciales.

1.4.1 Transformadores de potencia en distribución.

Los transformadores son máquinas eléctricas estacionarias que se encargan de elevar o disminuir el nivel de voltaje y corriente.

Los transformadores de subestaciones de distribución son transformadores tipo aceite, cuya finalidad es abastecer a una gran cantidad de usuarios que representan una demanda significativa. Por lo tanto, estos deben ser diseñados mediante métodos de ingeniería para que la proporción de flujo de potencia que circula por sus devanados no supere sus límites de operación.

La vida útil de un transformador depende en su gran mayoría del papel epóxico, que sirve como aislante sólido entre las bobinas, que al estar en contacto con el calor que hay en el interior, su degradación es mucho más rápida que de otros elementos que conforman el equipo. La vida útil de un transformador en aceite en condiciones perfectas, es decir cuando se cumplan todos los requerimientos en su diseño y sin afectación de fallas externas es de 20 años como se puede observar en la Tabla 1.

Equipos	Expectativa de vida útil [Años]
Capacitores	17
Breakers de bajo voltaje de paneles	20
Breakers de bajo voltaje de potencia	[15-20]
Breakers de media tensión en vacío	[15-20]
Breakers de media tensión de potencia	[15-20]
Transformadores tipo seco	20
Transformadores en aceite	20
Conductores de baja y media tensión	20
Relés de protección	-
Motores y arrancadores de motor	[20-30]
Ups	20

Tabla 1: Expectativa de vida de equipos eléctricos [1].

La expectativa de vida de un transformador está estrechamente ligada a la vida útil del aislante. Los esfuerzos eléctricos, mecánicos y magnéticos debido a la operación del transformador que se presentan a lo largo de su vida útil se reflejan como aumentos de temperatura, presencia de gases y de humedad en el material aislante, factores que pueden hacer que esta expectativa de vida sea menor. La afectación en el envejecimiento del

transformador por temperatura y humedad se los analizará en detalle en el presente proyecto.

- **Efectos de la temperatura en el envejecimiento del transformador.**

Diferentes temperaturas se presentan al momento de la operación del transformador. Estas temperaturas no se distribuyen de manera uniforme, por dicho motivo en los puntos donde la temperatura sea mayor existirá un mayor deterioro del aislamiento que llevará a que el transformador tenga una expectativa de vida menor a la esperada.

El modelo térmico para transformadores sumergidos en aceite se basa en 3 asunciones: [2].

- La temperatura no es uniforme a través de los niveles de aceite en el interior del equipo; al calentarse el fluido, el nivel de aceite con mayor temperatura se colocará en la parte superior del tanque, debido a la disminución de su densidad, mientras que el aceite con menor temperatura se colocará en la parte inferior del tanque, es decir en la base de la cuba. Esta variación de temperatura interior, a su vez está ligado al tipo de enfriamiento que tenga el transformador.
- El aumento en la temperatura en cualquier punto de los conductores que forman la bobina ocurre de manera lineal al igual que el aumento de temperatura en el aceite.
- El aumento de temperatura en el punto más caliente es mayor al aumento de la temperatura en la parte superior del devanado.

Tanto la temperatura superior del devanado como del aceite pueden ser medidas, mientras que la temperatura del punto más caliente es calculada por formulación matemática. Según la norma ANSI/IEEE C57.91-2011, cuando un transformador opere de manera nominal (1pu) la temperatura del punto más caliente debe estar alrededor de 110°C.

Cuando el transformador trabaja de manera sobrecargada se reflejará en altas temperaturas de operación, con esto existirá un mayor riesgo de fallas, los cuales se describirán a continuación: [3].

- Disminución en la resistencia mecánica del conductor y del aislante.
- Deformaciones en los conductores y el núcleo.
- Aumento en la presión interior del tanque y aisladores llevando a fugas de aceite, y como consecuencia se tendrá menor aceite del necesario.
- **Efectos de la humedad en el envejecimiento del transformador.**

La humedad presente en un transformador puede deberse a diferentes casos como residuos dañinos al momento de su construcción, fugas en el tanque, o poco mantenimiento. La misma se esparce en todo el interior del transformador, incrementando su nivel a través de los años de funcionamiento del equipo si es que no se realiza una debida inspección. Un cierto porcentaje se encuentra en el aceite, pero la mayor parte de la humedad del transformador es absorbida por el papel aislante, y esto producirá su degradación que tendrá como efecto lo siguiente: [4].

- Disminución de la resistencia dieléctrica del papel y del aceite.
- Aumento en la emisión de vapor de agua formando burbujeo, especialmente cuando el transformador se encuentre sobrecargado.
- Aceleración en el envejecimiento de la celulosa.

La presencia de humedad en el transformador provoca procesos de oxidación e hidrólisis en la celulosa, este último es el que mayor afectación tiene en la disminución de la vida útil del transformador. El proceso de hidrólisis provoca que la celulosa se vuelva frágil, rompiéndose en pequeños pedazos mientras se añade agua al medio debido a la reacción. Así, el grado de polimerización del papel disminuye de 1000-1500 a 200-400 [4].

El grado de polimerización se refiere al número de unidades repetitivas que se encuentran en cadena en el papel, es decir si están totalmente compactadas, y son representados de manera adimensional. Cuando un

papel llega a un grado de polimerización de 200 se considera que ha llegado al final de su vida útil.

1.4.2 Energías Renovables

Son recursos inagotables en el planeta como el agua, viento, radiación solar, de los cuales se produce electricidad. Este tipo de energía también se denomina energía limpia, puesto que su contribución de CO₂ y gases dañinos es prácticamente nula.

- **Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica aprovecha la radiación solar mediante el uso de células fotovoltaicas. Estas células son semiconductores que al incidir la luz solar en ellas producen un flujo de electrones que generan la corriente continua.

Los paneles están compuestos de un determinado número de células conectadas en serie, lo que determinará la tensión nominal del panel. El conjunto del generador fotovoltaico está compuesto por un arreglo de paneles conectados en serie o paralelo entre sí.

Como se tiene conocimiento, la mayoría de equipos eléctricos funciona a corriente alterna, por lo tanto, se deberá convertir la corriente directa en alterna y esto se logra haciendo uso de un inversor.

Las condiciones estándar de los paneles (STC), son condiciones de ensayo, a partir del cual se obtienen sus parámetros característicos. La energía solar fotovoltaica en condiciones NOCT (temperatura de célula en operación normal) son 1000 W/m² de radiación solar a 25°C de temperatura de las células semiconductoras. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico) y se denomina potencia nominal de módulo [5].

Se llaman condiciones puesto que la incidencia del sol no es la misma en cada día; esta incidencia variará con respecto al clima, lo que conlleva a una producción de potencia activa variable. Por lo tanto, es necesario

almacenar esta energía en banco de baterías con el fin de utilizarlas en otro momento.

La Figura 1.1 muestra un sistema de generación fotovoltaica general y resumido, con sus partes principales que debe tener, como paneles, baterías, inversor y un regulador, con el fin de alimentar una carga en corriente DC o AC.

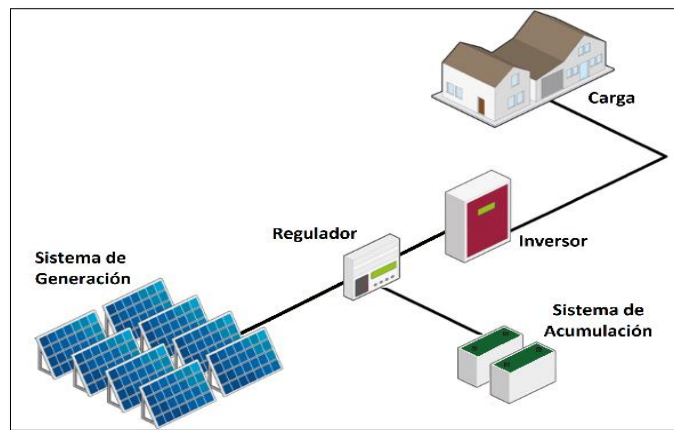


Figura 1.1: Sistema de generación fotovoltaica [6]

- **Inversor**

Son elementos semiconductores que transforman una señal continua en alterna. La señal que se obtiene a la salida de estos es cuadrada, y mediante filtros se la convierte en una señal sinusoidal. La principal desventaja de este equipo es la inyección de armónicos en la red.

La Figura 1.2 muestra en detalle el funcionamiento de un inversor, donde en cuya entrada existe un capacitor encargado de filtrar la onda y hacerla lo más constante posible.

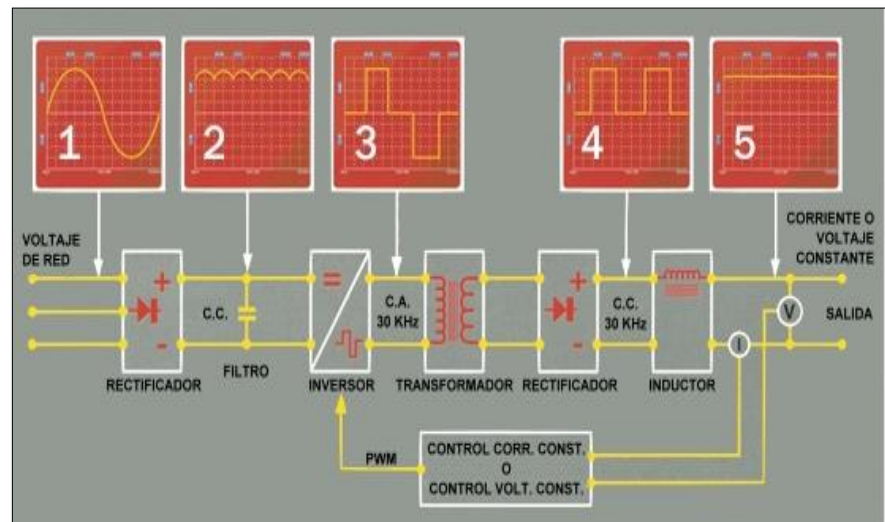


Figura 1.2: Funcionamiento del inversor. [7]

1.4.3 Almacenamiento electromecánico de carga distribuida

Un banco de baterías va de la mano con un sistema de generación fotovoltaica, ya que se tiene la necesidad de almacenar energía eléctrica y utilizarla en otro momento. Se forma principalmente de dos elementos diferentes como es el caso de las baterías de plomo-ácido, que al mezclarse producen una solución electroquímica que generará un campo eléctrico proporcional al nivel de voltaje e inverso a la distancia entre las placas de plomo.

1.4.4 Demanda y Curva de carga

La demanda es la cantidad de energía que un abonado está consumiendo, y por tanto se encuentra en constantes cambios durante el día. En la Figura 1.3 se puede observar cómo varía la demanda en relación con el tiempo.



Figura 1.3: Curva de carga horaria

- **Demanda máxima**

La demanda máxima se refiere al punto en la curva de carga, donde existe el mayor consumo de energía. En la Figura 1.3 se puede observar que la demanda máxima ocurre cerca de las 19:10.

- **Demanda promedio**

La demanda promedio es la energía suplida en cada intervalo dividida para el número de intervalos de tiempo en que se ha particionado la curva de carga.

- **Factor de carga**

El factor de carga es la relación entre la demanda promedio y la demanda máxima. Este factor indica que tan bien distribuida se encuentra la carga del consumidor durante un día.

- **Factor de utilización del transformador**

Se refiere al índice de cómo el equipo opera en operación comparando el pico de la curva de demanda máxima con la capacidad del transformador, para así determinar si el transformador está sobredimensionado o subdimensionado. Se toma como referencia el factor de uno para condiciones perfectas de operación, donde para valores menores a uno el transformador estará subutilizado y para índices mayores a uno el transformador estará sobre utilizado.

$$\text{Factor de utilización} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{KVA transformador}} \quad (1.1)$$

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA MATRICIAL

2.1 Generalidades

Como se mencionó en el capítulo anterior, se desea obtener un comportamiento general del funcionamiento del transformador y su afectación a través del tiempo, ya sea por parámetros internos o externos que lo deterioran periódicamente. Por consiguiente, se ha tomado como referencia la norma ANSI/IEEE C57.92.1981, misma que trata el envejecimiento del transformador de potencia.

El área de trabajo destinada a realizar el estudio engloba la infraestructura del cantón Samborondón y comienza desde la urbanización Ciudad Celeste hasta la urbanización La Puntilla, abarcando un total de seis subestaciones y siete transformadores de potencia. Las subestaciones de esta parte geográfica pertenecen a la administración de la empresa eléctrica distribuidora CNEL Guayas-Los Ríos, la cual ha proporcionado un histórico de datos reales del comportamiento de la carga a través del tiempo vista desde cada subestación con el fin de analizar la cargabilidad de cada transformador.

En la Figura 2.1 se muestra el sistema de distribución a analizar junto con los transformadores de potencia y las diferentes alimentadoras a las que abastece a nivel de 13,8 KV. Se puede observar que en la subestación eléctrica Tennis Club existen dos transformadores, utilizados principalmente para particionar la carga y aumentar la confiabilidad del sistema.

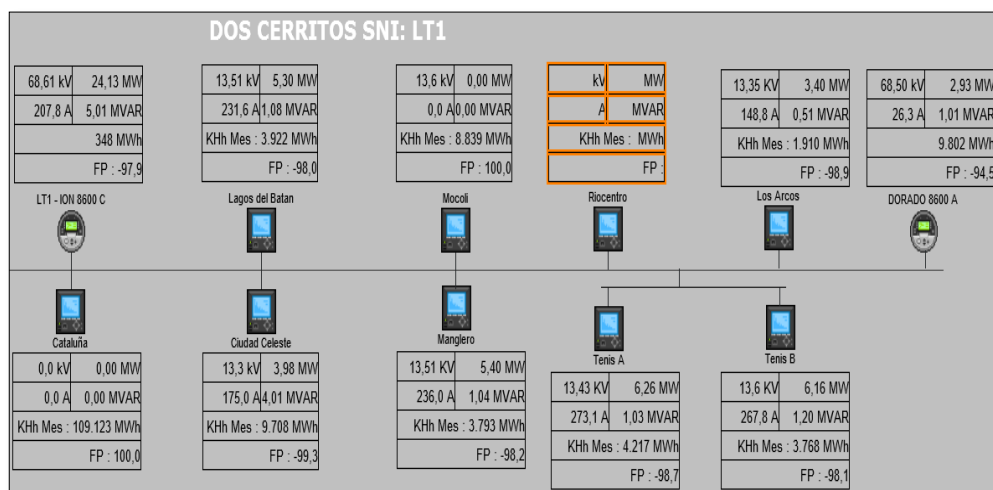


Figura 2.2: Medidores de las s/e de distribución

2.2 Introducción del sistema de generación fotovoltaico

Para dimensionar el sistema de generación fotovoltaica por vivienda se ha utilizado el programa PVsyst, el cual facilita el cálculo de paneles fotovoltaicos, área, inversores, etc. Con este se podrá obtener una mayor aproximación real acorde a los requerimientos de potencia prevista diariamente por cada residente.

En primer lugar, se obtuvieron los datos meteorológicos del cantón Samborondón en la página de la Nasa Surface Metereology como se puede apreciar en la Tabla 2. Estos datos son considerados un promedio del comportamiento en el mes de cada parámetro en dicha región a instalarse el sistema de generación.

MES	RADIACIÓN SOLAR [KWH/M ²]	DIFUSO [KWH/M ²]	TEMPERATURA [°C]	VELOCIDAD DEL VIENTO [M/S]
Enero	134,7	61,22	25,7	1,8
Febrero	137,7	62,59	24,1	1,8
Marzo	151,2	68,72	24,1	1,7
Abril	147,3	66,95	24,9	1,7
Mayo	135,3	61,50	24,7	1,9
Junio	125,4	57,00	24,3	2,4
Julio	120,3	54,68	24,9	2,5
Agosto	135,0	61,36	26,7	2,4
Septiembre	142,2	64,63	28,3	2,2
Octubre	135,3	61,50	29,2	2,0
Noviembre	141,6	64,36	28,2	2,0
Diciembre	141,3	64,22	26,9	1,9
AÑO	137,2	62,42	26,0	2,0

Tabla 2: Datos meteorológicos del cantón Samborondón [8].

Las opciones que presenta el programa para iniciar con el diseño se examinan en la Figura 2.3, y representan todas las configuraciones posibles de un sistema de generación fotovoltaica. Para este caso, el sistema de generación que se necesita y se va a desarrollar es un sistema conectado a red, debido a que solo se tratará de disminuir el pico de demanda en ciertas horas del día en donde exista mayor consumo por parte de los residentes, mas no proporcionar energía las 24 horas del día, ya que aquello representará un sistema aislado.

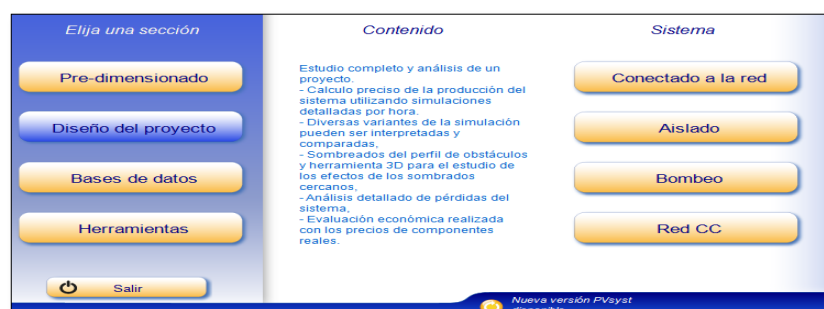


Figura 2.3: Presentación del Sistema PVsyst

A continuación, se enumeró la latitud, longitud y altitud del lugar en donde se va a realizar el estudio, los cuales se presentan en la Tabla 3.

Latitud	-2,17
Longitud	-72,92
Altitud	11m

Tabla 3: Datos georeferenciales

En la Figura 2.4 se observan dichos datos referenciales que se necesita con la intención de guardar una base de datos en el programa PVsyst.



Figura 2.4: Localización del Sistema

La inclinación de los paneles fotovoltaicos y la orientación del plano de captación solar respecto al sur geográfico influyen en la captación de energía solar diaria, debido a que aquello podría aumentar el efecto de sombras. Estos grados de inclinación solar (acimut) se tomarán a 0° para la simulación, a causa de que el lugar se encuentra en el centro del planeta tierra mirando directamente hacia el sur geográfico y son recomendados por un estudio realizado en la misma zona del cantón Samborondón [9].

La Tabla 4 muestra los valores de acimut y la inclinación de los paneles para efectuar el diseño. La inclinación de los paneles depende del techado de las viviendas, y de la incidencia de la radiación solar sobre el mismo, tomando como referencia una inclinación 10° .

Acimut	0°
Inclinación de paneles	10°

Tabla 4: Ángulo de inclinación paneles.

2.2.1 Perfil de sombras

El perfil de sombras son los obstáculos con lo que se topa la irradiación solar hasta llegar a los paneles solares fotovoltaicos y se clasifican en cercanas y lejanas, es decir representan las pérdidas de energía a la que va a estar sometido el sistema de generación solar. Estas pérdidas varían con respecto al movimiento del sol, por lo que es necesario llevar un registro de la cantidad de sombras que se presentan en todo el año.

Como el sistema de generación se encuentra ubicado en la costa, especialmente en el cantón Samborondón, no se considerará la incidencia de sombras lejanas, debido a que estas aparecen por la incursión de cordilleras o grandes montañas.

La Figura 2.5 compara la altura solar con el acimut en todo el año. La franja inferior es el día con menor altura solar del año, que en este hemisferio es el 21 de junio. En cambio, la franja superior se trata del día con mayor longitud solar, el cual es 21 o 22 de diciembre.

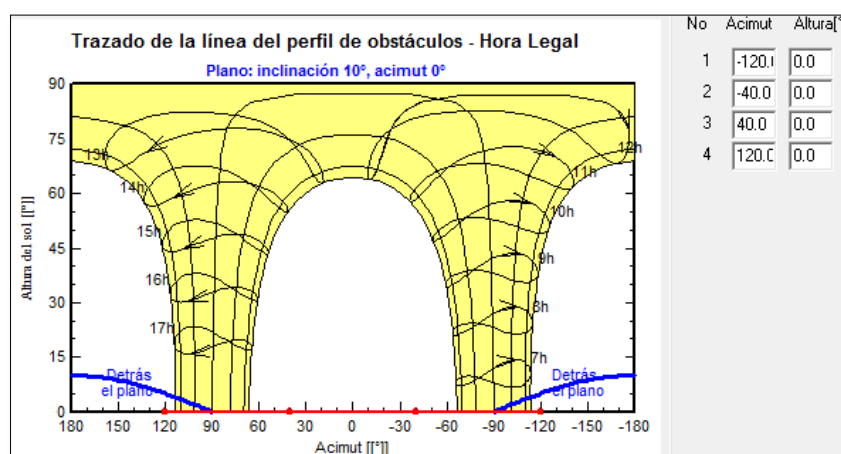


Figura 2.5: Radiación solar en el año.

2.2.2 Cálculo de la radiación solar sobre la inclinación del panel

El documento NEC del 2011 de la norma ecuatoriana de construcción [10] detalla el cálculo de la radiación sobre una superficie inclinada, que servirá para encontrar la media mensual de radiación diaria sobre la superficie del panel debido a su inclinación.

$$HT = K * H \quad (2.1)$$

Donde

H: Es la media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal

K: Es una constante y depende del ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico.

La Tabla 5 muestra los factores K detallada por el NEC 2011 dependiendo del ángulo de inclinación de los módulos a la latitud de -2° y longitud 80, que es el que se encuentra el Cantón Samborondón. La inclinación de los paneles es de 10° por lo tanto los factores k que se toman en cuenta son los de la última columna.

Inclinación	0°	5°	10°
Enero	1	0,97	0,93
Febrero	1	0,98	0,96
Marzo	1	1,00	0,99
Abril	1	1,01	1,02
Mayo	1	1,01	1,04
Junio	1	1,03	1,05
Julio	1	1,02	1,04
Agosto	1	1,01	1,02
Septiembre	1	1,00	0,99
Octubre	1	0,98	0,96
Noviembre	1	0,97	0,93
Diciembre	1	0,96	0,92

Tabla 5: Factores K por inclinación.

La Tabla 6 muestra los valores de radiación solar reales debido a la inclinación de los módulos fotovoltaicos, los mismos que serán introducidos en el programa PVSyst para una correcta simulación.

MES	Radiación Solar Mensual a 0° [KWH/M ²]	Factor K de inclinación a 0°	Radiación Solar Mensual a 10° [KWH/M ²]
Enero	134,7	0,93	125,3
Febrero	137,7	0,96	132,2
Marzo	151,2	0,99	149,7
Abril	147,3	1,02	150,2
Mayo	135,3	1,04	140,7
Junio	125,4	1,05	131,7
Julio	120,3	1,04	125,1
Agosto	135,0	1,02	137,7
Septiembre	142,2	0,99	140,8
Octubre	135,3	0,96	129,9
Noviembre	141,6	0,93	131,7
Diciembre	141,3	0,92	130,0
AÑO	137,2		135,4

Tabla 6: Radiación mensual por inclinación

Cuando ya se han introducido todos los parámetros anteriores, se puede comenzar a simular teniendo en cuenta la cantidad de energía que se desea, dependiendo de la curva de carga diaria y el pico de demanda que se requiere disminuir, con el fin de que el programa calcule el número de paneles solares necesarios y el tipo de área requerida. Cabe resaltar que PVsyst es un simulador que también proporciona el modelo de inversor a conectar en el sistema. La Figura 2.6 detalla la configuración global que proporciona PVsyst para iniciar una simulación.

Configuración global sistema		Resumen sistema global	
1	N° de tipos de sub-campos	N° de módulos	9
		Superficie módulos	15 m²
		N° de inversores	1
		Potencia nominal FV	2.3 kWp
		Potencia máxima FV	2.2 kWdc
		Potencia nominal CA	2.5 kWac

Sub-array name and Orientation		Ayuda al Dimensionado	
Name	Generador FV	<input type="radio"/> No sizing	Entrar Pnom deseada <input type="text" value="2.3"/> kWp
Orient.	Plano Inclinado Fijo	... o superficie disponible(módulos) <input type="text" value="15"/> m²	
Inclinación	25°		
Acimut	15°		

Selección del módulo FV	
Disponibles actualmente	Máx. cantidad de mód. 9
Tamesol	255 Wp 27V Si-mono TM-M660255AB Since 2015 Manufacturer 2C
Tensiones de dimensionado: 27.0 V	
Voc (-10°C) 41.9 V	
<input type="checkbox"/> Use Optimizer	

Selección del inversor	
Disponibles actualmente	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz
ABB	2.5 kW 120 - 470 V 60 Hz UNO-2.5-I-OUTD-S-US (208V) Since 2010
N° de inversores	1 <input checked="" type="checkbox"/> Tensión Funciona.: 120-470 V Pglobal inversor 2.5 kWac
Tensión máx de entrada: 520 V Inversor "string" con 2 entradas	

Diseño del generador FV	
N° de módulos y cadenas	
Mód. en serie 9 <input type="checkbox"/> entre 5 y 12	Cond. de funcionamiento
N° de cadenas 1 <input checked="" type="checkbox"/> única posibilidad 1	Vmpp (60°C) 243 V
Perdida sobrecarga 0.0 %	Vmpp (20°C) 284 V
Relación Pnom 0.92	Voc (-10°C) 377 V
N° módulos 9 Superficie 15 m²	Irradiancia plano 1000 W/m²
	Imp (STC) 8.3 A
	Isc (STC) 8.9 A
	Isc (en STC) 8.9 A
	Potencia nom gener. (STC) 2.3 kWp

System overview	Anular	OK
-----------------	--------	----

Figura 2.6: Configuración Global del Sistema PVsyst.

2.3 Análisis de métodos de gestión de carga

La curva de carga es el comportamiento que tienen los usuarios residenciales al consumir energía eléctrica, misma que debido a las actividades rutinarias de los consumidores tendrá poca variación en el transcurso de la semana. Cabe resaltar que las curvas analizadas serán las que vea el transformador en cada subestación, es decir la curva total proporcionada por la suma de todos los alimentadores conectados al mismo.

El proyecto plantea la reducción de los picos de mayor carga en la curva de demanda diaria residencial para así aliviar en gran parte la cargabilidad del transformador, y como consecuencia disminuir su capacidad, logrando un factor de utilización menor al actual.

La Figura 2.7 muestra las curvas de demanda diaria en KW vistas desde cada transformador. Se observa que la mayor curva de demanda se encuentra en la

subestación Manglero, por lo tanto, en dicha subestación es en donde se tendrá el mayor pico de carga. Por lo contrario, la menor curva de demanda se encuentra en la subestación Mocolí.

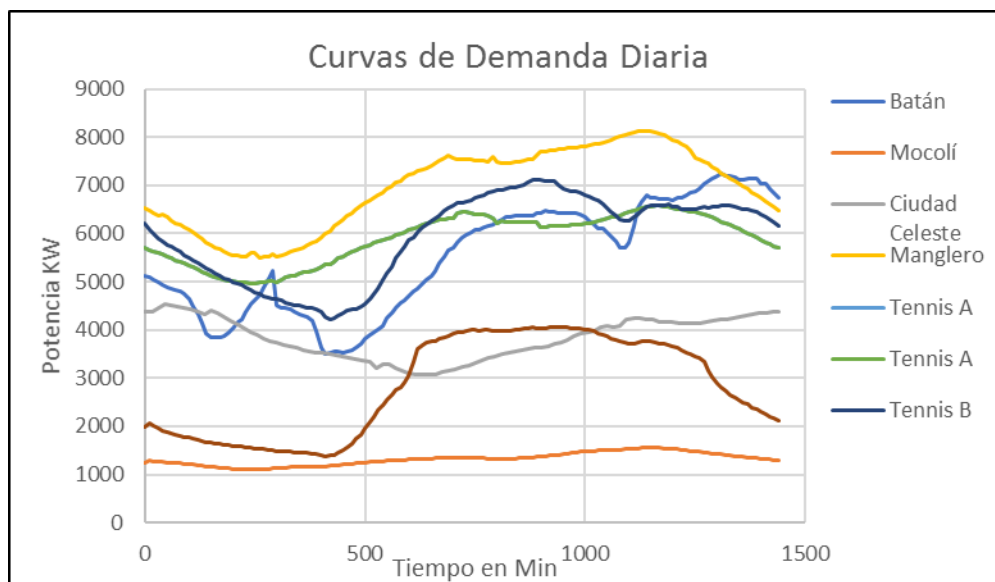


Figura 2.7: Curva de demanda diaria por transformador.

Para estas dos curvas antes mencionadas se realizará el análisis económico al insertar un sistema de generación fotovoltaica por vivienda, puesto que representan a nivel general las condiciones de una curva con mayor y menor cargabilidad, con el objetivo de presentar los beneficios y contras de disminuir sus picos a nivel económico, energético, y su afectación en el envejecimiento del transformador.

El comportamiento de las curvas anteriores es un promedio de la conducta de las curvas de demanda en el mes de abril, registradas por medidores para intervalos de 10 minutos.

2.3.1 Selección de equipos y elementos

Inversor

Para el diseño del sistema de generación solar fotovoltaico se va a trabajar con inversores de la marca Omniksol debido a su alta eficiencia en sistemas residenciales en alrededor del 94% y por la disposición de

capacidades pequeñas. La capacidad de estos inversores variará entre 0,5KW y 1,5KW, según las necesidades y los análisis requeridos, con el fin de disminuir el envejecimiento total del transformador de potencia de la subestación Manglero y Mocolí, además de variar su factor de utilización.



Figura 2.8: Inversor Omniksol [11]

La Tabla 7 detalla la capacidad todos los inversores a utilizarse en KW con sus respectivos precios en el mercado ecuatoriano.

MARCA	POTENCIA	PRECIO
OMNIKSOL	0,5KW	\$ 175
OMNIKSOL	0,6KW	\$ 250
OMNIKSOL	0,75KW	\$ 285
OMNIKSOL	1KW	\$ 300
OMNIKSOL	1,5KW	\$ 425

Tabla 7: Precios de inversores

Módulo fotovoltaico

Para el proyecto se va a utilizar paneles solares policristalino de la marca europea Tamesol de 255 Wp. Esta marca es una de las mejores en el tema de paneles fotovoltaicos, además por su accesibilidad en el mercado ecuatoriano.

A continuación, se muestra el panel fotovoltaico con sus características principales (Figura 2.9), en donde la garantía lineal de potencia Tamesol es de 30 años y la garantía estándar del sector es de 20 años para esta marca.

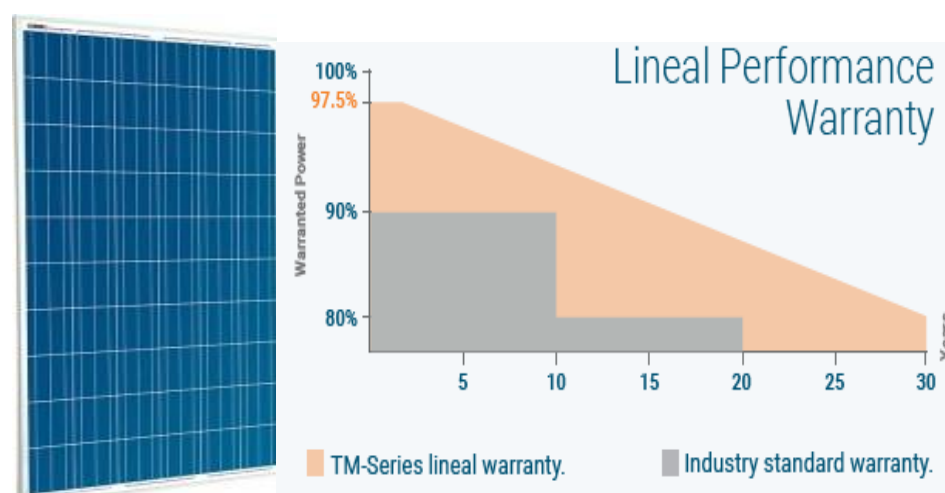


Figura 2.9: Características del panel solar Tamesol 255Wp [12]

La Tabla 8 detalla el costo individual por panel solar 255 Wp en el mercado ecuatoriano.

CAPACIDAD	PRECIO
255Wp	\$ 320

Tabla 8: Precio módulo solar Tamesol

Tipo de baterías

El tipo de baterías a utilizar para el diseño serán de ciclo profundo, puesto que este tipo de baterías tienen mayor durabilidad ante un proceso constante de cargas y descargas diariamente.

Por otro lado, otra característica de la misma es que serán de gel, para tener un rendimiento alto y minimizar su mantenimiento, debido a que son baterías selladas y su vida útil en condiciones normales es de 8-10 años según especificaciones de los fabricantes. La marca de la batería a utilizarse es Ultracell.

La Figura 2.10 detalla las características de la batería de ciclo profundo, en donde el régimen DOD significa la profundidad de descarga de la misma, como se observa también muestra el porcentaje de la descarga total, el cual varía con el número de ciclos de vida útil, es decir la vida útil de una batería será menor cuando se descargue el 100% comparado con

la descarga al 30%, por lo cual no es recomendable descargarla por completo.

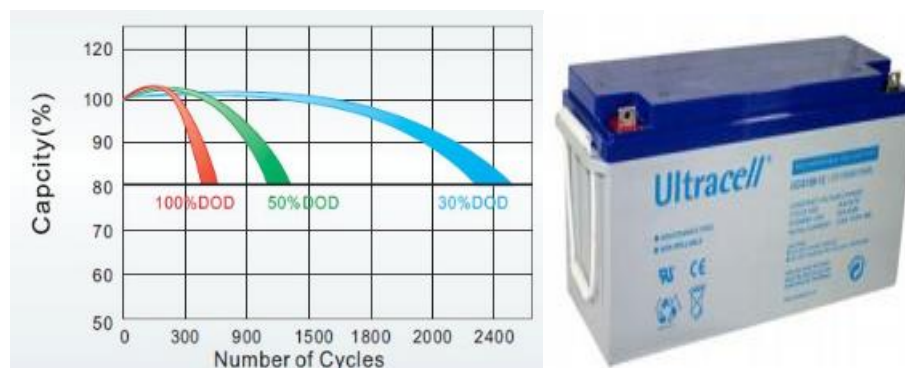


Figura 2.10: Características de baterías de descarga profunda.

[13] [14]

2.3.2 Curva de demanda de la subestación Manglero

La subestación Manglero tiene una capacidad de 12 MVA y abastece a 1300 abonados residenciales, además una cierta cantidad de la demanda vista de la subestación proviene de centros comerciales, alumbrado público, y las debidas pérdidas que posee todo sistema eléctrico por conductores, transformadores, etc.

La Tabla 9 representa la clasificación de la demanda que abastece la subestación Manglero, donde el mayor porcentaje de abastecimiento es a la parte residencial con 50%, es por dicho motivo que se plantea la reducción de los picos de demanda en viviendas con el uso de un sistema de generación solar fotovoltaico.

Clasificación de Demanda	Porcentaje
Demanda residencial	50%
Demanda comercial	35%
Pérdidas totales	10%
Alumbrado	5%

Tabla 9: Clasificación de la demanda (s/e Manglero).

Puesto que no se tienen datos del comportamiento de consumo de demanda energética de cada abonado residencial se tomará como

asunción que todos los abonados tienen un comportamiento similar al consumir energía eléctrica.

La curva de demanda en la Figura 2.11 muestra el comportamiento de cada abonado residencial perteneciente a la subestación Manglero al consumir potencia eléctrica en un día promedio. El pico de carga comienza aproximadamente a las 15:00 y termina 21:40.

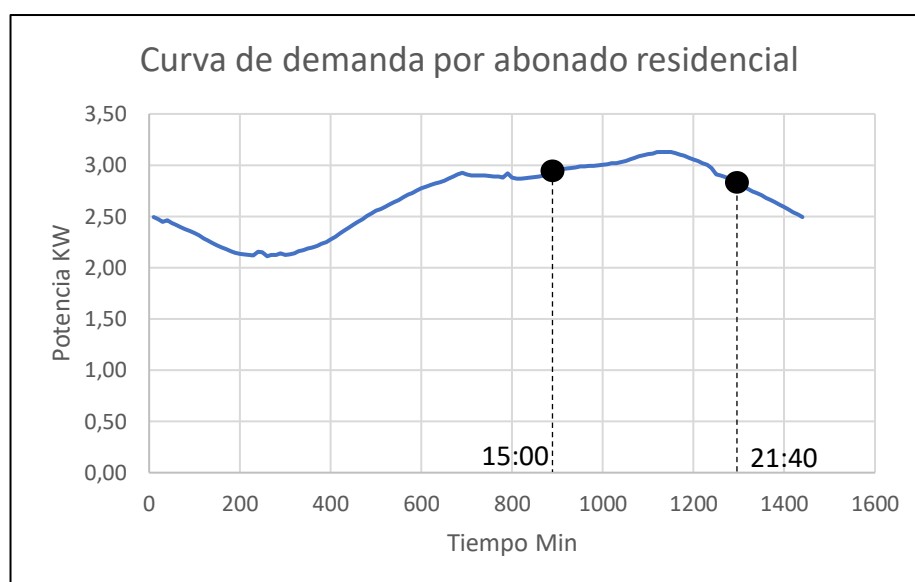


Figura 2.11: Curva de demanda por abonado residencial. s/e Manglero.

En la Tabla 10 se observa datos de demanda máxima, mínima y promedio de cada abonado. El pico de demanda es de 3,13 KW y ocurre a las 19:00. Con respecto a estos valores se propondrá diferentes opciones de arreglos fotovoltaicos e inversores para disminuir una parte del pico de carga residencial, mientras que la carga restante será proporcionada por la red eléctrica de la empresa pública CNEL Guayas-Los Ríos.

Demanda máxima	3,13 KW
Demanda mínima	2,11 KW
Demanda promedio	2,67 KW

Tabla 10: Demanda por abonado s/e Manglero.

En la Figura 2.12 se detalla el pico de demanda por abonado, además del periodo de tiempo que estarán funcionando los paneles solares, el cual es desde las 07:00 hasta las 18:00 en donde hay presencia de irradiación solar.

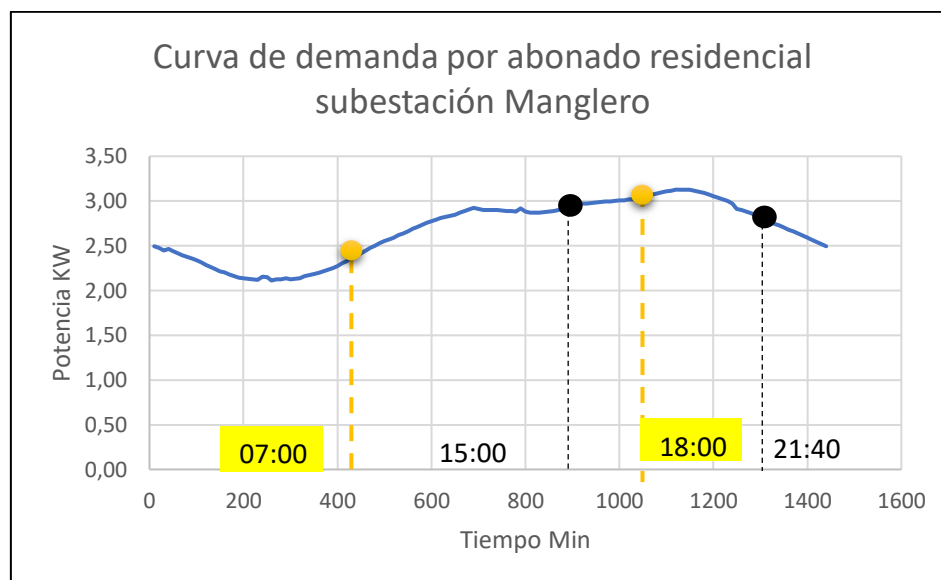


Figura 2.12: Curva de carga diaria s/e Manglero.

La subestación Manglero abastece aproximadamente a 1300 abonados, y un área promedio aprovechable en este lugar por cada vivienda es de 25m². Por lo tanto, se utilizará estos datos para el cálculo de los equipos que formarán parte del sistema de generación solar fotovoltaico. Cabe mencionar que la simulación se efectuará en el programa PVsyst con los datos obtenidos en la sección 2.2.

La consideración radica en que todos los sistemas de generación residenciales de los 1300 abonados que abastece esta subestación funcionen al mismo tiempo, es decir en la hora especificada anteriormente. Todo esto con el propósito de disminuir la curva de demanda diaria total de la subestación Manglero.

HORA	9 paneles KW*H	1300 abonados KW*H	6 paneles KW*H	1300 abonados KW*H
7-8	0,24	312	0,18	234
8-9	0,61	793	0,45	585
9-10	0,92	1196	0,66	858
10-11	1,17	1521	0,82	1066
11-12	1,25	1625	0,85	1105
12-13	1,30	1690	0,87	1131
13-14	1,24	1612	0,81	1053
14-15	1,11	1443	0,71	923
15-16	0,91	1183	0,56	728
16-17	0,62	806	0,35	455
17-18	0,26	338	0,11	143
TOTAL KW*h/diario	9,63	12519	6,37	8281

Tabla 11: Datos de generación solar fotovoltaica (Manglero).

La Tabla 11 muestra los valores de energía total por residente y en conjunto proporcionada por cada sistema de generación fotovoltaico residencial desde las 07:00 hasta las 18:00 en un día promedio del mes de abril. Se observa que existe mayor generación de energía al medio día, debido a que en aquella hora existe mayor incidencia de radiación solar.

Se va a analizar dos sistemas residenciales con 9 paneles y 6 paneles respectivamente, con el fin de lograr una reducción en el pico de la curva de carga diaria. Si se considera la aportación de energía de todos los abonados de esta subestación, esta planta en general tendrá una capacidad de 1,9MW para el sistema de 6 paneles y una capacidad de 2,9MW para el sistema de 9 paneles solares.

Por otro lado, se plantea el análisis de guardar el 100% de la energía proporcionada por cualquiera de los dos sistemas hasta una cierta hora en el banco de baterías mediante un switch temporal para cerrar el circuito, proporcionar esta energía en una hora diferente y así disminuir el pico de carga.

El inversor del sistema de generación solar fotovoltaica se va a comportar como una carga, por lo tanto, se va a analizar diferentes capacidades del mismo, con el fin de que el periodo de tiempo de entrega de potencia sea mayor o menor dependiendo de la capacidad del inversor, ya que estos tratan de funcionar a su potencia nominal KW en todo momento.

En otras palabras, si se cierra el switch a las 14:00 mientras los paneles se encuentran produciendo potencia (KW), si aquella potencia es menor a la capacidad del inversor, este tomará la restante del banco de baterías almacenado desde las 07:00 hasta las 14:00 (previo a la apertura del switch), y por el contrario, si es mayor a la capacidad del inversor, la diferencia se va a seguir almacenando en el banco de baterías hasta que se cumplan las 18:00, en donde ya no habrá producción de potencia debido a la falta de radiación solar.

La energía que no ha sido entregada durante esas horas de la tarde, por parte de las baterías se proveerá en las horas de la noche, en donde existe el pico de carga. Todo esto con la finalidad de disminuir el factor de utilización de la subestación Manglero y el envejecimiento del transformador.

2.3.3 Curva de demanda de la subestación Mocolí

La subestación Mocolí tiene una capacidad de 10MVA, la misma que les brinda servicio a 400 abonados aproximadamente. De igual manera en el área también existen locales comerciales los cuales son alimentados por esta subestación. En la Tabla 12 se puede observar la clasificación de la demanda que abastece el transformador de la subestación Mocolí.

Clasificación de Demanda	Porcentaje
Demanda residencial	70%
Demanda comercial	15%
Pérdidas eléctricas totales	10%
Alumbrado	5%

Tabla 12: Clasificación de la demanda (s/e Mocolí)

La Figura 2.13 muestra la curva de demanda en KW de la subestación Mocolí. El sistema de generación solar fotovoltaico comenzará a funcionar desde las 07:00 hasta las 18:00 en donde hay presencia de luz solar.

La subestación Mocolí alimenta a aproximadamente 400 abonados, y su área promedio aprovechable en este lugar es de 25 m², por lo tanto, con este dato máximo se procede a simular en el programa PVsyst, utilizando la misma capacidad del módulo fotovoltaico que en el análisis de la subestación Manglero.



Figura 2.13: Curva de demanda KW vs t s/e Mocolí.

La Tabla 13 detalla el pico de demanda el cual es de 2,72 KW, mientras que la demanda promedio es de 2,31 KW y la demanda mínima de 1,94 KW. Los equipos principales empleados para cada sistema de generación residencial, además de sus costos, se detallan en la sección 2.3.1.

Demanda máxima	2,72 KW
Demanda mínima	1,94 KW
Demanda promedio	2,31 KW

Tabla 13: Demanda por abonado subestación Mocolí.

Para la subestación Mocolí, se propondrá almacenar una parte de la energía producida por los paneles solares para ser descargada en las horas de la noche, mientras que la otra parte de la energía producida pasarla directamente a la carga, y con esto obtener un menor factor de utilización del transformador Mocolí.

2.4 Análisis de la metodología de cargabilidad y temperatura

Para este análisis primero se debe conocer información relevante, misma que se detalla en las normas IEEE, en especial la ANSI-C57.91.2011 (Transformadores sumergidos en aceite).

2.4.1 Constante de tiempo del aceite

La capacidad térmica del aceite viene dada por la siguiente ecuación para transformadores con enfriamiento ONAN y ONAF.

$$C = 0.1323 * P_{NB} + 0.0882 * P_T + 0.3513 * V_A \quad (2.2)$$

Donde:

P_{NB} : Peso del núcleo y bobinas en kg

P_T : Peso del tanque en kg

V_A : Volumen de aceite en litros

Para la formulación se utilizó 2/3 del peso del tanque y 86% del calor específico del aceite. Cabe mencionar que para algunos transformadores no existían datos del volumen de aceite, pero se disponía de su peso en Kg, por lo tanto, se hizo uso de la densidad promedio para determinar aquel parámetro gracias a la especificación técnica de Aceite Mineral Aislante Nuevo para Transformadores de Potencia [15].

Para el cálculo de la constante de tiempo se consideraron los pesos de solamente aquellas partes que están en contacto con el aceite caliente; puesto que en algunos transformadores puede haber construcciones de gabinete y base para el tanque que no contribuyen en la determinación de la constante de tiempo del aceite.

$$\tau_{TOR} = \frac{C \cdot \Delta\theta_{TO,R}}{P_{T,R}} \quad (2.3)$$

Donde:

C: Capacidad térmica del transformador, $\frac{W \cdot h}{^{\circ}C}$.

P_{TR} : Pérdidas totales a carga nominal, W.

$\Delta\theta_{TO,R}$: Diferencia entre la temperatura en el punto superior del aceite y la temperatura ambiente a carga nominal $^{\circ}C$.

τ_{TOR} : Constante de tiempo del aceite a carga nominal.

Las pérdidas de los transformadores se pueden aproximar con la eficiencia, mediante la ecuación 2.4:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100 \quad (2.4)$$

Utilizando la norma Nema Standards Publication TP1-2002 de eficiencia energética se puede obtener valores de eficiencia para distintas capacidades de transformadores. Empleando los datos de la Tabla 14 se extrapola la curva y se determina la eficiencia de transformadores de mayor potencia.

KVA	Eficiencia (%)	KVA	Eficiencia (%)
15	96,85	750	98,48
30	97,36	1000	98,62
45	97,59	1500	98,77
75	97,79	2000	98,75
112,5	97,93	2500	98,89
150	98,03	3000	98,88
225	98,09	3750	98,88
300	98,18	5000	98,88
400	98,26	7500	99,10
500	98,31	10000	99,17
630	98,36		

Tabla 14: Datos de eficiencia Norma Nema TP1 [16].

La curva resultante se presenta en la Figura 2.14, donde a medida que se aumenta la capacidad de los transformadores de potencia su eficiencia comienza a estabilizarse alrededor de 99,3%. Estos valores se lograron extrapolando la curva de capacidad KVA vs eficiencia.

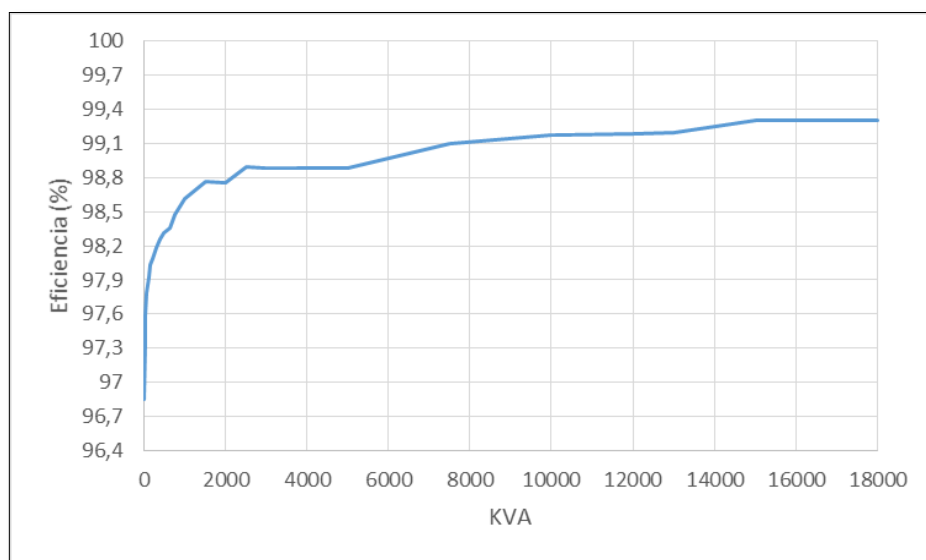


Figura 2.14: Eficiencia de transformadores de potencia.

2.4.2 Punto más caliente del devanado (Hot-Spot)

Desde el momento que entra en operación un transformador se produce la transferencia de calor comenzando desde interior hacia el exterior, por lo tanto, aparecen diferentes temperaturas que interactúan entre sí. Una de ellas es el punto más caliente en el devanado Hot-Spot.

La Figura 2.15 relaciona la cargabilidad y la temperatura superior del aceite para diferentes tipos de refrigeración tomando como referencia la carga de 1 pu (plena carga). Se debe tener en cuenta que para temperaturas menores a la de referencia (intercepción de la curva con el eje horizontal de temperaturas) significará que se podrá aumentar la carga en el transformador hasta que el valor alcance la temperatura máxima.

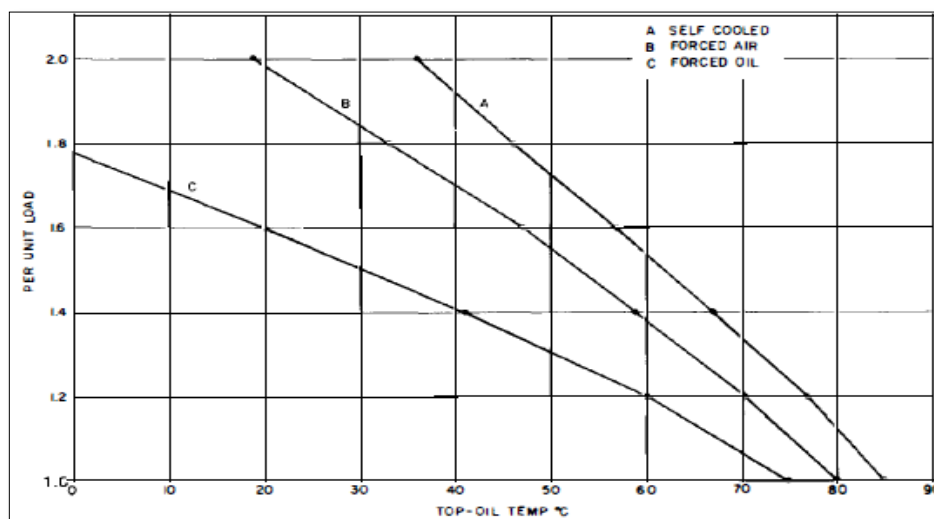


Figura 2.15: Relación entre cargabilidad y temperatura top-oil °C [17].

El valor final de la diferencia entre la temperatura del punto superior del aceite y la temperatura ambiente para una carga K será, según la ecuación.

$$\Delta\theta_{TO,U} = \Delta\theta_{TO,R} * \left[\frac{(K_i^2 * R) + 1}{R + 1} \right]^n \quad (2.5)$$

Donde:

$\Delta\theta_{TO,R}$: Diferencia entre la temperatura en el punto superior del aceite y la temperatura ambiente a carga nominal.

$$\Delta\theta_{TO,R} = \theta_{OIL} - \theta_{ambiente} \quad (2.6)$$

La temperatura superior del aceite a carga nominal se la obtiene de la Figura 2.15.

R: Es la razón de pérdidas a plena carga sobre las pérdidas en el vacío. Se encuentra estandarizada en Tabla 15 para diferentes estados de enfriamiento del transformador.

K_i : Es la precarga inicial en pu.

Como en todo proceso se debe iniciar por un punto, el cuál para este procedimiento se refiere a los valores anteriores de carga. Para tener un menor error se la estima con seis valores preliminares al punto de referencia de carga en pu. En este estudio el punto inicial de carga es a las 0 horas, por lo tanto, la precarga inicial será los valores anteriores a las 0 horas.

Este valor de K_i o precarga inicial es reemplazado en la ecuación (2.5) para determinar el valor inicial $\Delta\theta_{T0,i}$, el cuál es el punto de partida de la diferencia entre la temperatura del punto superior del aceite y la temperatura ambiente para una precarga inicial K_i .

$$K_i = \sqrt{\frac{(Ca_{n-1})^2 + (Ca_{n-2})^2 + (Ca_{n-3})^2 + (Ca_{n-4})^2 + (Ca_{n-5})^2 + (Ca_{n-6})^2}{6}} \quad (2.7)$$

Ca: carga en pu.

n: Factor de pérdidas de potencia versus elevación de la temperatura del aceite. Valores estándar de n se muestran en la Tabla 15.

La diferencia entre la temperatura superior del aceite sobre la temperatura del ambiente para variaciones de carga viene dada por:

$$\Delta\theta_{T0} = \Delta\theta_{T0,U} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{T0,R}}}\right) + \Delta\theta_{T0,i} * e^{-\frac{t}{\tau_{T0,R}}} \quad (2.8)$$

Donde:

t: intervalo de tiempo para variaciones de carga, h.

$\Delta\theta_{T0}$: Diferencia entre la temperatura superior del aceite y la temperatura ambiente, °C.

$\Delta\theta_{T0,U}$: Valor final de la diferencia entre la temperatura superior del aceite y la temperatura ambiente para variaciones de carga L, °C.

$\Delta\theta_{T0,i}$: Valor inicial de la diferencia entre la temperatura superior del aceite y la temperatura ambiente a $t=0$, °C.

$\tau_{T0,R}$: Constante de tiempo térmica del aceite a carga nominal, h.

Reemplazando la ecuación (2.5) en (2.8) se obtiene la ecuación (2.9).

$$\Delta\theta_{T_o} = \Delta\theta_{T_o,R} * \left[\frac{(K^2 * R) + 1}{R + 1} \right]^n * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{T_o,R}}} \right) + \Delta\theta_{T_o,i} * e^{-\frac{t}{\tau_{T_o,R}}} \quad (2.9)$$

El valor de K es la carga puntual en pu a la hora requerida y no la precarga inicial.

Para este estudio se utilizará temperatura promedio del devanado a 65°C. Según la norma ANSI/IEEE C57.92-1981 el valor de la constante de tiempo térmica del aceite $\tau_{T_o,R}$ para transformadores OA será 3h especificada en la Tabla 15.

	OA or OW	FA 133% or Less	Effective Cooling Mode		
			FA** over 133%	Non-Directed FOA or FOW	Directed FOA or FOW
Hottest-spot conductor temperature rise (above ambient) °C	80	80	80	80	80
Top oil temperature rise (above ambient) °C	55	50	45	45	45
Top-oil time constant, (h)	3.0	2.0	1.25	1.25	1.25
Hottest-spot conductor time constant, (h)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Ratio of load to iron losses	3.2	4.5	6.5	6.5	6.5
*m (winding exponent)	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
*n (oil exponent)	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0

Tabla 15: Valores recomendados por la IEEE [3]

La diferencia entre el punto más caliente del bobinado y la temperatura superior del aceite para variaciones de carga está representada por:

$$\Delta\theta_H = \Delta\theta_{HS,R} * K^{2m} \quad (2.10)$$

Donde:

K: La carga en pu en un tiempo específico (no la precarga).

m: Constante utilizada para calcular la variación de $\Delta\theta_{T_o}$ para diferentes cambios de carga. Este valor depende del tipo de enfriamiento del transformador como se muestra en la Tabla 15.

$\Delta\theta_{HS,R}$: Diferencia entre el punto más caliente del devanado y la temperatura en el nivel superior del aceite a carga nominal, °C.

$$\Delta\theta_{HS,R} = \theta_{HOTSPOT \text{ devanado}} - \theta_{TOPOIL} \quad (2.11)$$

Según la norma ANSI/IEEE C57.92-1981. Los valores de $\Delta\theta_{HS,R}$ a carga nominal dependen de la condición de enfriamiento del transformador y son:

- Auto refrigerados: 25°C
- Aire Forzado (ONAF): 30°C
- Aceite Forzado y Aire Forzado (FOA): 35°C.

Este método funciona como un proceso iterativo, en donde para la siguiente hora requerida el $\Delta\theta_{TO,U} = \Delta\theta_{TO,i}$ es reemplazada en la ecuación (2.9). Esta, a diferencia que la constante K va a tomar el valor puntual de carga en pu para aquella hora, y no el valor de la precarga inicial K_i para calcular $\Delta\theta_H$.

Cuando por lo menos se ha completado dos iteraciones de $\Delta\theta_{TO}$ para disminuir el error, entonces se puede calcular el punto caliente máximo del devanado para cada variación de carga en el tiempo con la siguiente ecuación:

$$\theta_H = \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H + \theta_A \quad (2.12)$$

Donde:

θ_H : Temperatura del punto más caliente del bobinado en la carga puntual.

$\Delta\theta_{TO}$: Diferencia de temperatura de TOP-OIL vs temperatura ambiente de la segunda iteración.

$\Delta\theta_H$: Diferencia de temperatura entre el punto más caliente del devanado y la temperatura superior del aceite en la carga puntual.

θ_A : Temperatura ambiente.

Finalmente conociendo la temperatura del punto más caliente del devanado θ_H , el factor de envejecimiento F_{AA} viene dado por la siguiente ecuación referenciada por la norma ANSI/IEEE C57.91-2011 [18].

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15000}{383} - \frac{15000}{\theta_H + 273} \right]} \quad (2.13)$$

En la Figura 2.16 se puede observar la curva que relaciona la temperatura del punto más caliente con el factor de envejecimiento, según la fórmula anterior F_{AA} .

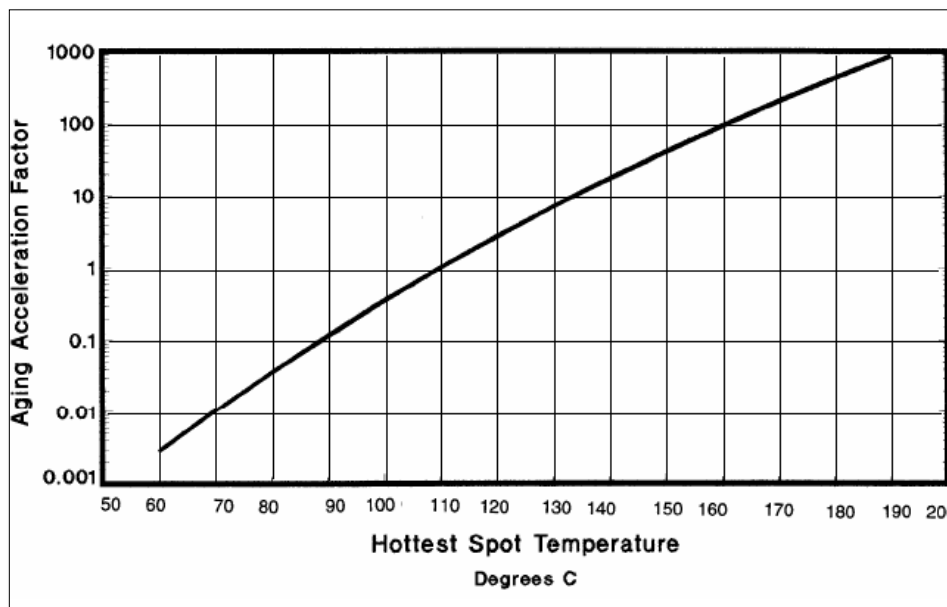


Figura 2.16: Temperatura del punto más caliente vs factor de envejecimiento. [18]

La norma ANSI/IEEE C57.91-2011 parte de la asunción que el transformador funciona a operación nominal durante toda su vida útil, es decir a 1 en pu, y que la temperatura del punto más caliente del devanado será de 110°C. Con estos datos referenciales la norma estima una vida útil del transformador de 180000 horas o 20,55 años.

Cualquier temperatura del punto más caliente del devanado, por encima o por debajo de esta temperatura referencial de 110°C, afectará la vida útil del transformador disminuyéndola o aumentándola según sean las condiciones de operación real del transformador.

2.5 Análisis de la metodología de humedad interna en el transformador

La humedad presente en un transformador es otro factor determinante para la reducción de la vida útil del equipo, ya que afecta el nivel de aislamiento del papel que recubre la bobina, por lo que el transformador estará más expuesto a fallas. El tiempo estimado de vida en años para el papel aislante se lo presenta en la siguiente ecuación.

$$\text{Expectativa de vida} = \frac{\frac{1}{DP_{\text{Final}}} - \frac{1}{DP_{\text{Inicio}}}}{A} * e^{\left(\frac{13350}{T+273}\right)} [\text{Horas}] \quad [19] \quad (2.14)$$

Se invierte la ecuación anterior para obtener el factor de envejecimiento del papel aislante F_{AA} .

$$F_{AA} = \left(\frac{1}{DP_{\text{Final}}} - \frac{1}{DP_{\text{Inicio}}} \right) * A * e^{\left(\frac{-13350}{T+273}\right)} \quad (2.15)$$

Donde:

DPfinal: Grado de polimerización final del papel (200). Este grado de polimerización del papel significa el final de la vida útil del papel dieléctrico.

DPinicio: Grado de polimerización inicial del papel (1000-900). Con este nivel de polimerización los transformadores comienzan a funcionar.

T: Temperatura del papel dieléctrico.

A: Factor que depende del grado de humedad del papel dieléctrico y se muestra en la Tabla 16 a diferentes porcentajes.

Nota: El grado de polimerización del papel representan índices adimensionales, es decir no posee unidades.

Humedad (%)	A
Seco	1,07E+08
1%	3,50E+08
1.5%	6,27E+08
2%	7,80E+08
3%	2,03E+09
4%	3,65E+09

Tabla 16: Factores que dependen de la humedad [19].

“La finalidad de la celulosa en los tejidos vivos es la de proporcionar una "celda" rígida a la célula para que esta no se expanda indefinidamente debido a la presión osmótica positiva que posee. Por lo tanto, la planta debe sintetizar una estructura que posea estas propiedades y a su vez durabilidad para la función posterior de sostén. Esto lo logra por medio de un alto grado de polimerización. Los valores de grado de polimerización (GP) hallados son del orden de varios miles de unidades glucosa. Por eso a la celulosa se le llama ‘alto polímero’.” [20]

En la Figura 2.17 se presenta la curva que relaciona el factor de envejecimiento con el porcentaje de humedad presente en el papel aislante para diferentes temperaturas. Se observa que entre mayor es el porcentaje de humedad presente en el papel, el factor de envejecimiento comienza a incrementarse, en otras palabras, son directamente proporcionales.

Este porcentaje de humedad también puede desaparecer apenas se presente debido a la continuidad del mantenimiento que se le realice al transformador, puesto que con un filtrado de aceite cada cierto periodo de tiempo se puede mitigar ese inconveniente.

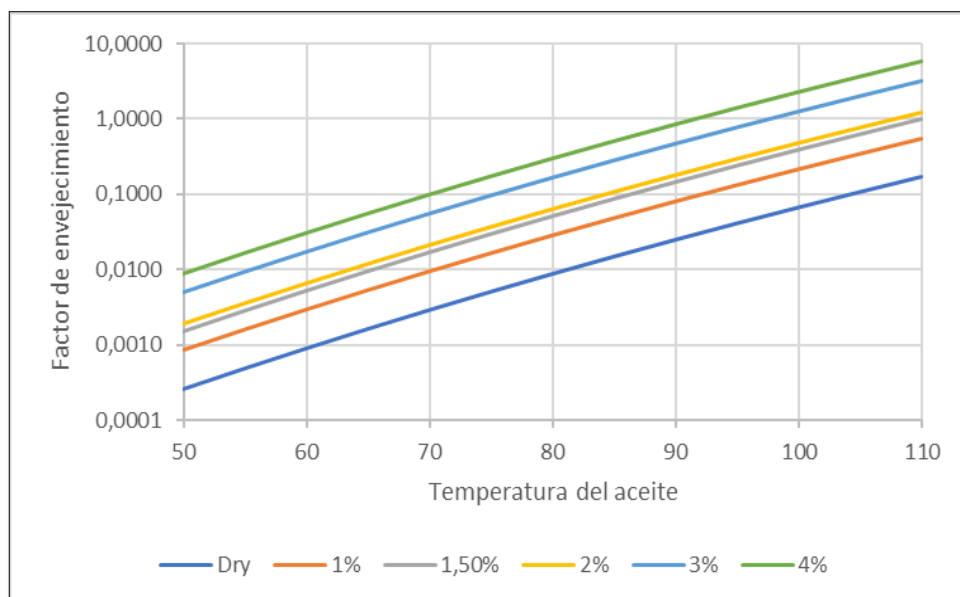


Figura 2.17: Factor de envejecimiento del papel vs Temperatura del aceite.

2.6 Implementación de la metodología

Para el presente estudio se tienen siete transformadores de capacidades que comprenden entre 10 MVA hasta 18 MVA repartidos en seis subestaciones. Los datos de los transformadores se presentan en la Tabla 17:

Subestación	Los Arcos	Tenis Club A	Tenis Club B	Manglero	Mocolí	Lagos del Batán	Ciudad Celeste
Año	2015	1996	2014	1998	2009	2010	2009
Marca	TEKSA Transformer	Fuerza Transformer	TEKSA Transformer	Mitsubishi Electric Corporation	Trafo E. E.	Trafo E. E	GEM
Capacidad (MVA)	18/24	10/12,5	16/20/24	12/16	10/12,5	12/16	12/16
Enfriamiento	ONAN/ ONAF	ONAN/ ONAF	ONAN/ ONAF/ OFAF	ONAN/ ONAF	ONAN/ ONAF	ONAN/ ONAF	ONAN/ ONAF
Peso del núcleo y bobinas (Kg)	17000	10400	14550	14300	8300	10010	16572
Peso del tanque (Kg)	12000	5100	10500	7500	6600	7040	8328
Volumen de aceite (Lts)	9227,22	6113,03	9457,9	8300	4152,25	5478,66	9457,9
Pérdidas a plena carga ONAN (W)	53747	69306	56125	75995	69306	75995	75995

Tabla 17: Datos técnicos de los transformadores.

Cabe mencionar que algunos transformadores no poseían los parámetros de pérdidas en las placas de los mismos, por dicha razón se hizo uso de la curva de eficiencia de transformadores de potencia para determinar las pérdidas a plena carga por medio de la eficiencia de los transformadores de potencia, con la finalidad de obtener el valor de la constante del aceite τ_{TOR} a carga nominal en cada equipo.

Las curvas de carga diaria analizadas se encuentran en valores reales KVA con variaciones de 10 minutos. Todos estos valores se los comparará con la capacidad del transformador para así obtener la curva de demanda de cada subestación en valores en pu.

$$KV_{apu} = \frac{KV_{areal}}{KVA \text{ transformador}} \quad (2.16)$$

Cuando todas las curvas se encuentren en valores en pu se aplicará el análisis de cargabilidad vs temperatura del punto más caliente del devanado presentado anteriormente. Para facilitar el procedimiento se desarrolló un código en Matlab con la finalidad calcular rápidamente dicha temperatura. El código se encuentra en el Anexo 2.

La variación de la temperatura HOT-SPOT con respecto a la cargabilidad de la curva de demanda de cada subestación se muestran en las siguientes figuras:

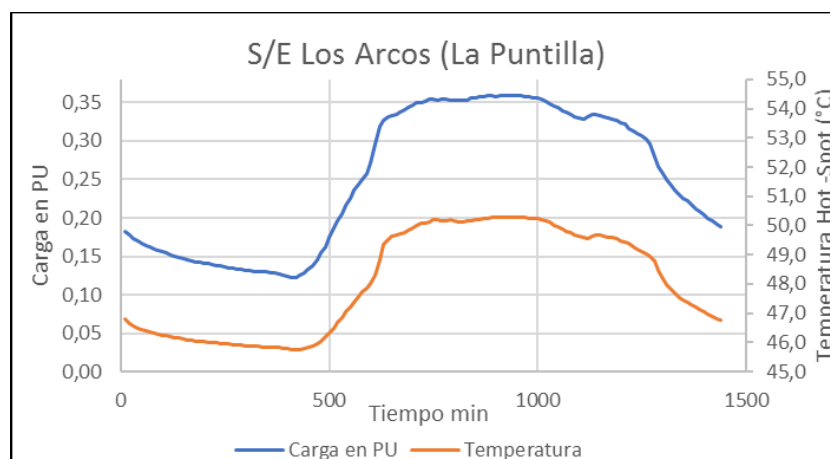


Figura 2.18: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Los Arcos).

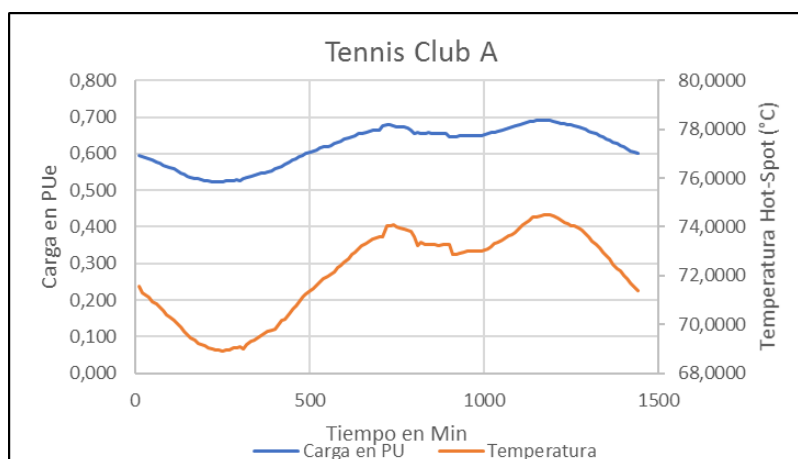


Figura 2.19: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Tennis Club A).

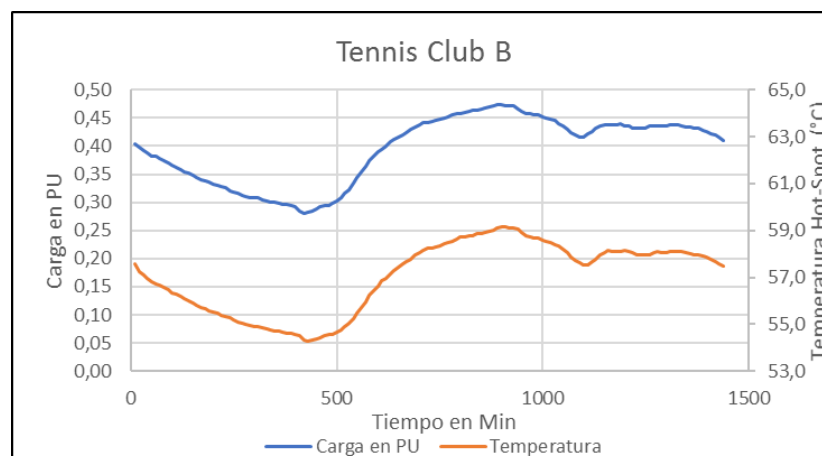


Figura 2.20: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Tennis Club B).

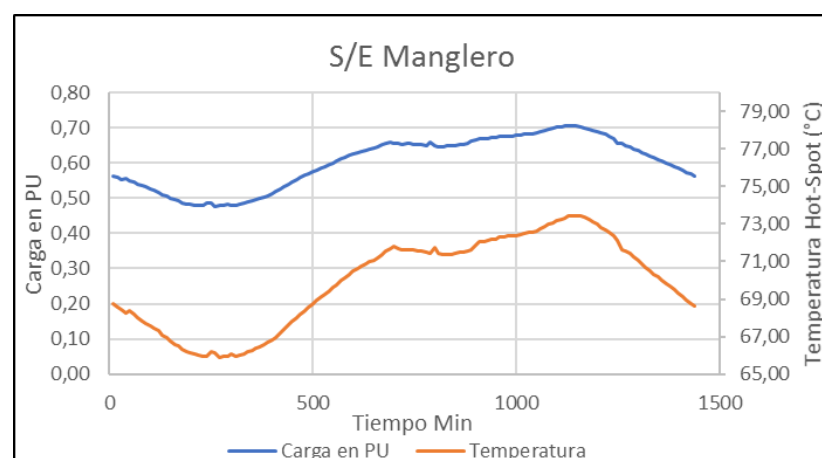


Figura 2.21: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Manglero).

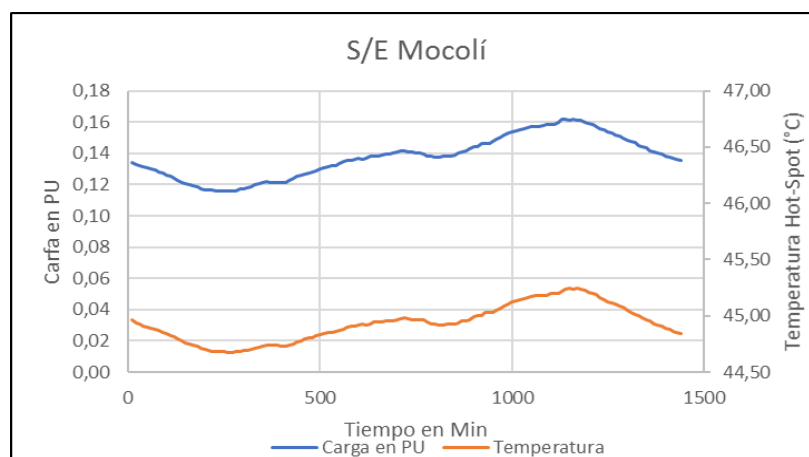


Figura 2.22: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Mocolí).

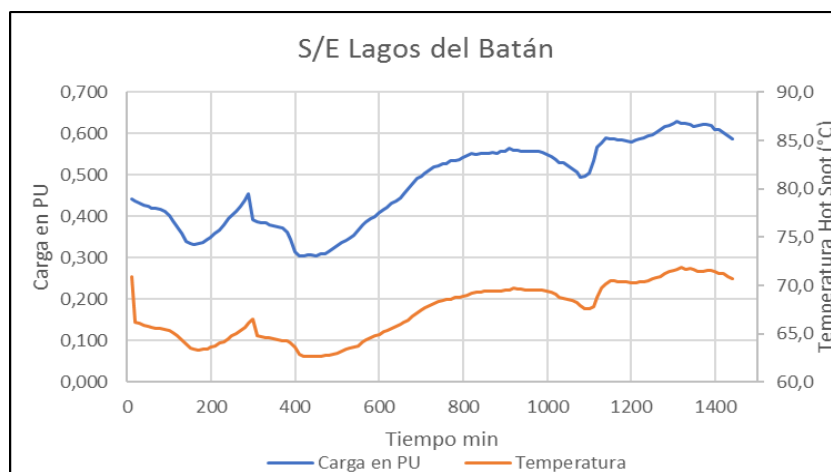


Figura 2.23: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Batán).

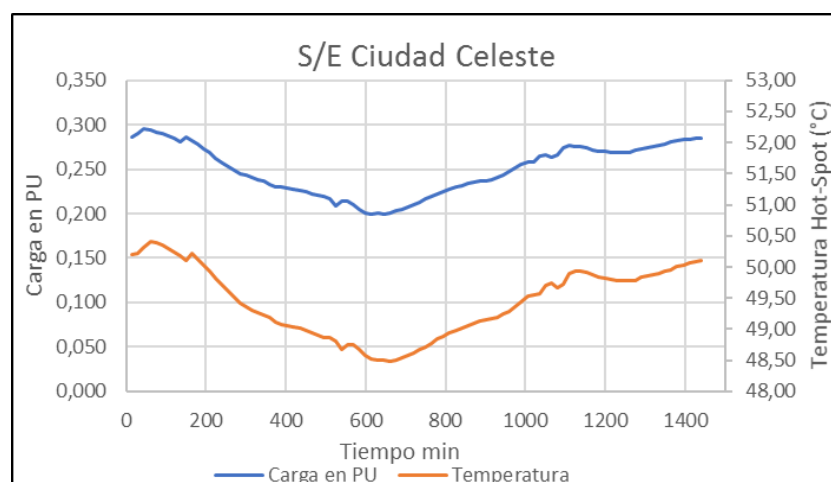


Figura 2.24: Temperatura Hot-Spot vs Cargabilidad (S/E Ciudad Celeste).

Las curvas anteriores detallan el comportamiento de la temperatura a través del tiempo a varios valores de cargabilidad. La temperatura tiene una forma parecida a las curvas de carga de cada subestación, esto es porque son dependientes de las mismas. Todas las curvas están por debajo de su carga nominal (1 en pu), es decir ningún transformador está sobrecargado.

Los valores puntuales de temperatura del punto más caliente del devanado Hot-Spot son diferentes para cada transformador, aunque pasen por el mismo punto de cargabilidad. En otras palabras, si dos transformadores tienen un punto de carga de 0,6 en pu en cualquier tiempo de la curva de demanda no significará

que vayan a tener la misma temperatura, dado que esto dependerá de la capacidad térmica y la constante de tiempo del aceite de cada transformador.

Cada máquina eléctrica es distinta a la otra, puesto que su comportamiento a la hora de operar dependerá de su diseño y su capacidad. Si se habla del aceite del transformador, algunos transformadores tendrán mayor cantidad de litros o viceversa y diferentes pesos de sus componentes internos, lo que hará que exista mayor o menor disipación del calor interno hacia el exterior.

2.7 Matriz de envejecimiento

La matriz de envejecimiento se obtiene en función de la cargabilidad y de la humedad con los cálculos mostrados en las secciones 2.4 y 2.5 respectivamente. Se debe conocer el estado en que se encuentran trabajando los diferentes transformadores a partir de mediciones en vivo durante su operación, y posteriormente buscar el factor de envejecimiento correspondiente. Este factor se lo deberá multiplicar por el tiempo en que el transformador pase en dicho estado para hallar el factor de envejecimiento total del equipo.

En la Tabla 18 se muestra la matriz de envejecimiento para diferentes valores de temperatura (la matriz completa se la presentará en el Anexo 3). Se puede observar que la mayor aportación para el envejecimiento total del transformador es dada por la cargabilidad del equipo.

		Humedad del aceite					
		Dry	1%	1,50%	2%	3%	4%
Temperatura del punto más caliente debido a la cargabilidad	40	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	45	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
	50	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
	55	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	60	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028
	65	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
	70	0,0104	0,0104	0,0104	0,0104	0,0104	0,0104
	75	0,0195	0,0195	0,0195	0,0195	0,0195	0,0195
	80	0,0358	0,0358	0,0358	0,0358	0,0358	0,0358
	85	0,0649	0,0649	0,0649	0,0649	0,0649	0,0650
	90	0,1156	0,1156	0,1156	0,1156	0,1157	0,1157
	95	0,2026	0,2026	0,2026	0,2026	0,2027	0,2028
	100	0,3499	0,3499	0,3499	0,3500	0,3500	0,3502
	105	0,5957	0,5957	0,5958	0,5958	0,5959	0,5961
	110	1,0000	1,0001	1,0001	1,0001	1,0004	1,0007
115	1,6565	1,6566	1,6567	1,6567	1,6571	1,6575	
120	2,7089	2,7091	2,7092	2,7092	2,7098	2,7105	

Tabla 18: Matriz de envejecimiento.

Se puede observar este comportamiento en las figuras siguientes:

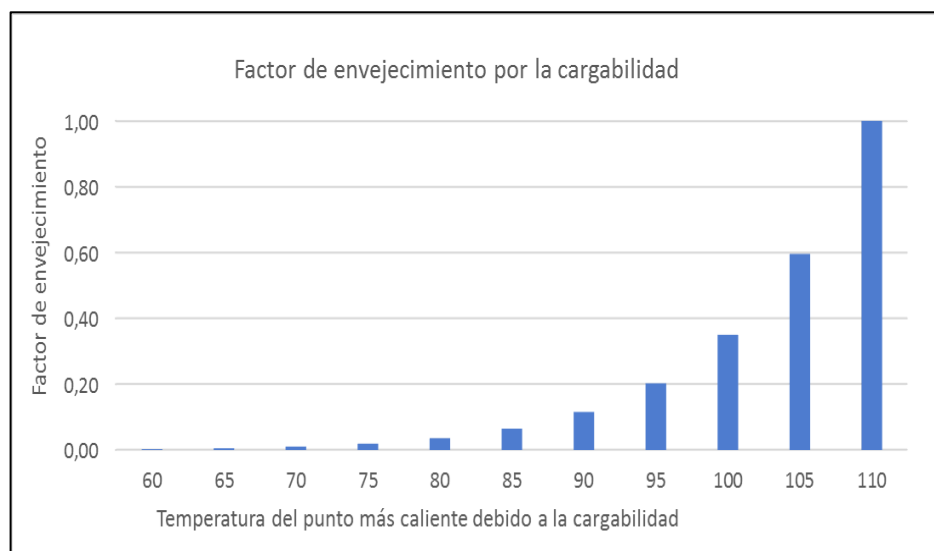


Figura 2.25: Factor de envejecimiento debido a la cargabilidad.

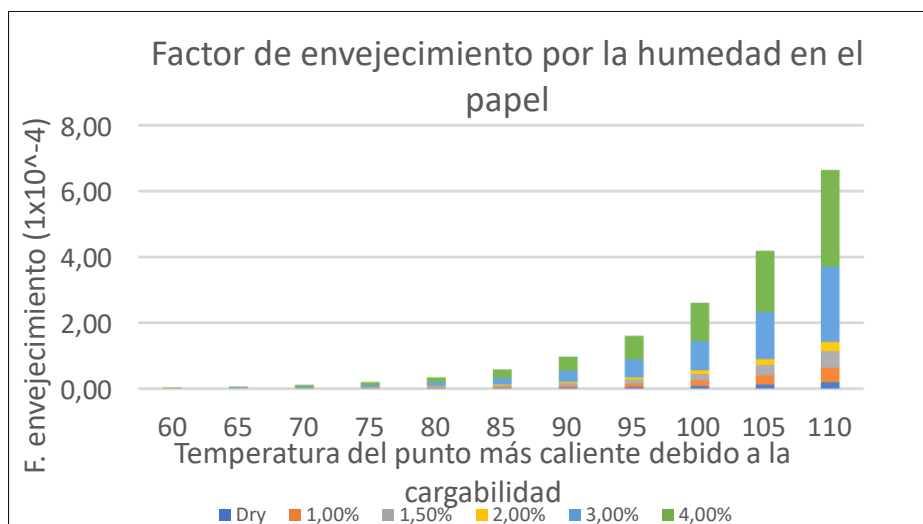


Figura 2.26: Factor de envejecimiento debido a la humedad del papel.

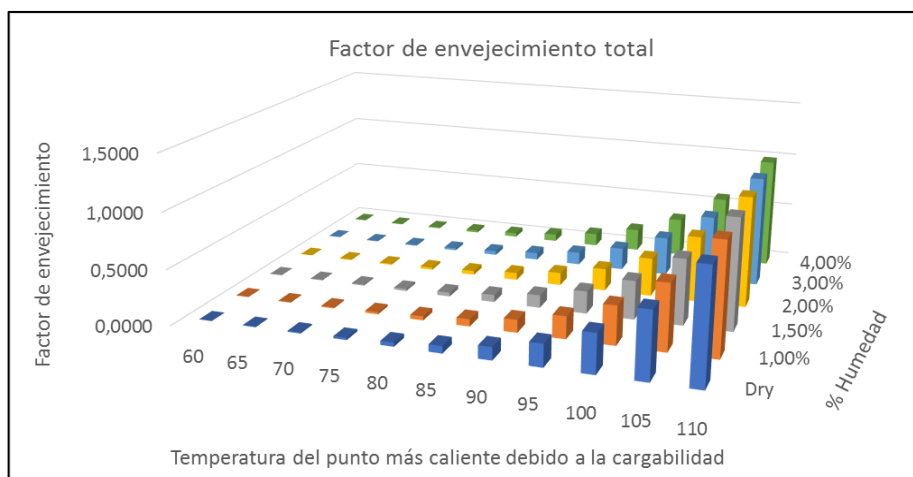


Figura 2.27: Factor de envejecimiento total.

2.8 Vida útil de los transformadores a través de los años de operación

La vida útil de los transformadores a través de los años dependerá de la temperatura del punto más caliente del devanado Hot-Spot, y de la humedad presente en el papel aislante del mismo como se puede observar en la sección 2.4 y 2.5. Entre mayor cargabilidad mayor temperatura Hot-Spot y por ende los factores de envejecimiento de la matriz aumentarán rápidamente, puesto que estos factores se encuentran ligados a una función exponencial.

Este factor de envejecimiento comienza a aumentar mayormente a partir de una temperatura de 110°C, por lo tanto, un transformador que posea una cargabilidad que le proporcione un nivel de temperatura mayor a esta comenzará a disminuir rápidamente su vida útil, debido a que dicho transformador estará operando sobrecargado.

Se va a utilizar las curvas de carga de las subestaciones Manglero y Mocolí, puesto que estas tienen mayor y menor cargabilidad. Por otro lado, para dichas curvas se realizó un análisis económico al implementar un sistema de generación solar fotovoltaico en los hogares de cada residente con el fin de disminuir sus picos de demanda y desplazarla hacia abajo.

La generación solar fotovoltaica va a aliviar la cargabilidad del transformador y por tanto va a tender a aumentar la vida útil del mismo. Esta variación de porcentaje de envejecimiento con respecto a la curva sin generación fotovoltaica es la que se desea averiguar en puntos posteriores.

2.8.1 Envejecimiento del transformador de la subestación Manglero

El transformador de la subestación Manglero tiene mayor cargabilidad, y su punto de partida será considerado el año actual. Por lo tanto, se deberá proyectar hacia atrás y hacia adelante la demanda con el objetivo de analizar su comportamiento de temperatura en el punto más caliente del devanado (Hot-Spot) y el nivel del porcentaje de envejecimiento de dicho transformador desde el inicio de puesta en operación hasta el posible año final de su vida útil.

Para el estudio de la demanda de años precedentes al punto inicial 2017 se hizo uso del Plan Nacional de electrificación del Ecuador 2002-2011 [21], y para proyectar a años futuros se tomó como referencia El Plan Cantonal de Desarrollo y Reordenamiento Territorial 2015-2019 [22].

Año	% Crecimiento de demanda energética anual
2005-2011	4,9
2011- adelante	6,9

Tabla 19: Crecimiento de demanda en S/E Manglero.

La Tabla 19 es un promedio del crecimiento de cada año, es decir del año 2005 al 2006 tendrá un crecimiento del 4,9%, y esto sucederá cada año hasta llegar al 2011, cuando aumentará la tasa porcentual anual al 6,9%.

La Figura 2.28 muestra la evolución del comportamiento de la temperatura en el punto más caliente del devanado a través de los años de funcionamiento del transformador de la subestación Manglero. La puesta de operación del equipo fue en el año 2005; en ese año de operación su temperatura de inicio fue de 53°C, y conforme pasa el tiempo la cargabilidad comienza a aumentar y por ende su temperatura Hot-Spot, hasta llegar a una temperatura final de 144°C en el año 2028.

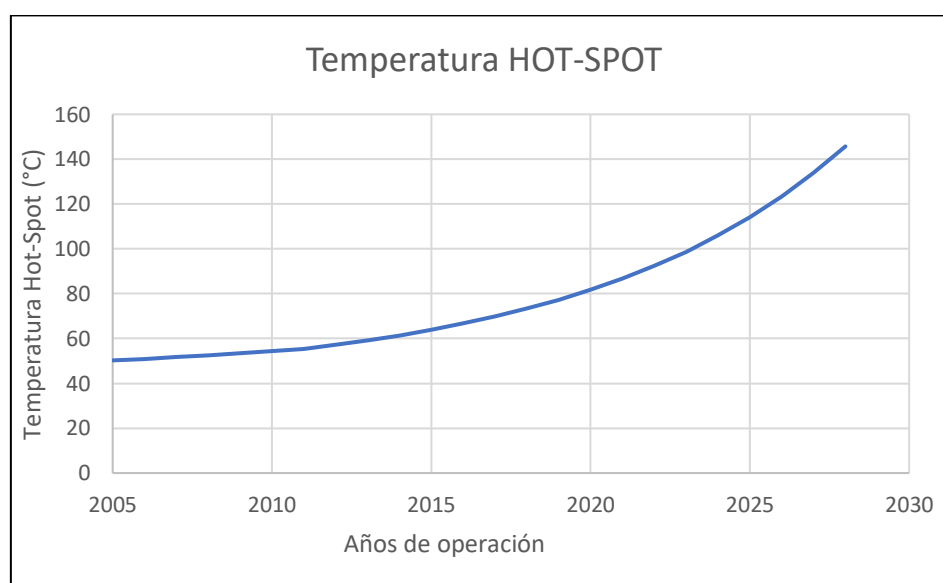


Figura 2.28: Temperatura Hot-Spot vs Años de operación (Manglero).

La Figura 2.29 detalla el porcentaje de envejecimiento a través de los años de operación del transformador Manglero, en el que existe un envejecimiento despreciable desde el año 2005 hasta el 2021, a partir del que comienza a acelerarse drásticamente debido al aumento de temperatura mayor a 81°C en el punto más caliente del devanado.



Figura 2.29: Envejecimiento vs años de operación (S/E Manglero).

Este aumento acelerado del envejecimiento se debe a que la fórmula del factor del envejecimiento presente en la ecuación (2.13) se comporta como una función exponencial; entre mayor temperatura del punto más caliente los factores de envejecimiento se disparan, y por lo tanto el daño al transformador es el máximo.

2.8.2 Envejecimiento del transformador de la subestación Mocolí

Por otro lado, el transformador de la subestación Mocolí es la menos cargada de todos los transformadores en estudio. El comportamiento de la curva de demanda residencial mostró que en las horas picos apenas llega a 0,16 pu. Este transformador inicio su operación en el año 2010, con lo que se proyectará su operación de acuerdo con el Plan Nacional de electrificación del Ecuador 2002-2011 [21] y al Plan Cantonal de Desarrollo y Reordenamiento Territorial 2015-2019 [22].

En la Tabla 20 se muestra el crecimiento de la demanda energética anual que servirá para encontrar la demanda futura y con esto, la temperatura promedio por año del punto más caliente para todas las proyecciones.

Año	% Crecimiento de demanda energética anual
2009-2011	4,9
2011- adelante	5,6

Tabla 20: Crecimiento de demanda en S/E Mocolí.

La Figura 2.30 muestra el comportamiento a futuro de la temperatura que tendrá la subestación Mocolí. Este transformador inició su operación en el año 2009 donde las temperaturas en los años iniciales de funcionamiento fueron alrededor de 40°C. De igual manera se observa que para el año 2053 el transformador llegará a operar a una temperatura de 110°C la cual se relaciona con la operación nominal del transformador.

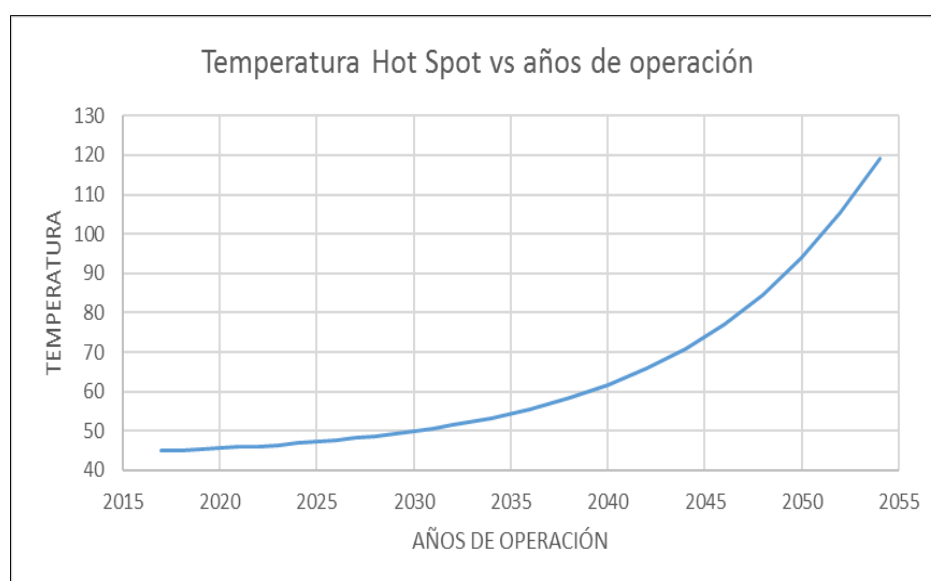


Figura 2.30: Temperatura Hot-Spot vs Años de operación (S/E Mocolí).

La Figura 2.31 muestra la evolución en el porcentaje de envejecimiento del transformador de la subestación Mocolí. En los primeros años este porcentaje se presenta muy bajo debido a la poca cargabilidad con la que trabaja el transformador. Recién para el año 2047 este porcentaje comenzará a crecer de manera acelerada hasta llegar al 100% en el año 2056. Con esto el transformador habrá tenido una vida útil de 47 años, mayor a la especificada por la norma IEEE.

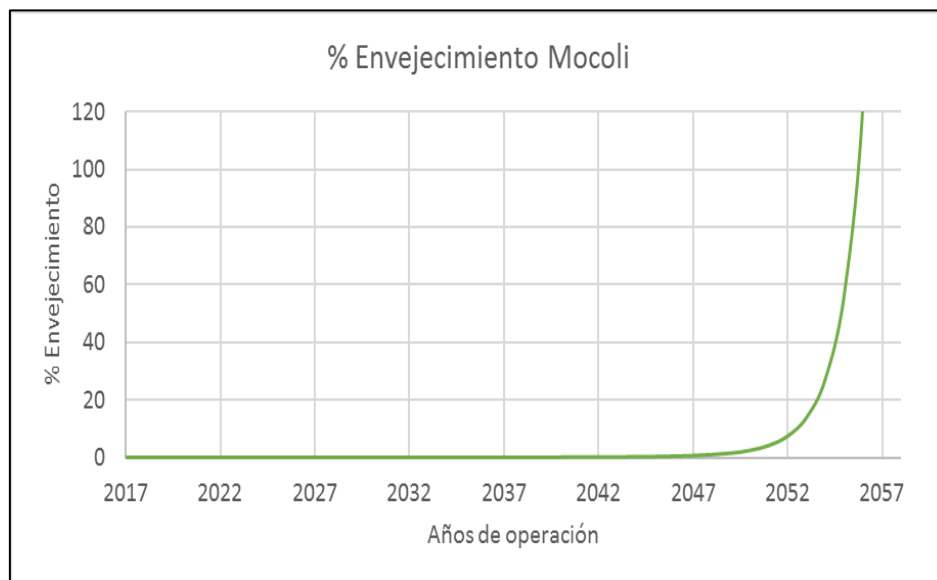


Figura 2.31: Envejecimiento vs años de operación (S/E Mocolí).

2.9 Equipos de monitoreo en línea

Los transformadores son equipos que deben monitorearse constantemente con el fin de prevenir cualquier falla naciente o incipiente que pueda producir una salida del mismo si no se la detecta tiempo, y con lo cual disminuir la confiabilidad del sistema. Esta máquina es uno de los equipos con mayor costo en una subestación y por lo tanto se necesita prolongar su vida útil de operación con el objetivo de evitar gastos innecesarios.

Para el análisis interno del transformador, se puede usar el equipo Hydran M2 de la compañía General Electric, el cual permite el monitoreo en línea de gases como hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO), humedad del aceite.



Figura 2.32: Equipo Hydran M2 (GE) [23].

La conexión del equipo Hydran M2 se la efectúa a presión tomando una válvula de toma de aceite del transformador de potencia. Este equipo en general posee entradas analógicas opcionales que pueden monitorear la corriente de carga y la temperatura del aceite.

Otra ventaja del mismo es que posee alarmas de niveles de humedad programables, además que mediante métodos de cálculo de envejecimiento del transformador por parte de la norma IEEE puede obtener valores de temperatura del punto más caliente del devanado (Hot-Spot). Todos estos datos obtenidos por el equipo pueden ser enviados a un centro de control a larga distancia y comunicarse con un sistema Scada a través del protocolo DNP3.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Simulación de curvas de demanda de la subestación Manglero

La subestación Manglero dispone de un transformador con una capacidad de 12 MVA, posee cuatro alimentadores de salida abasteciendo aproximadamente a 1300 abonados residenciales. Para reducir los picos de demanda de esta subestación se utilizará un conjunto de 6 o 9 paneles solares fotovoltaicos por vivienda, sistema de baterías, inversores con capacidades entre 0,6KW a 1,5KW, y un switch temporal con la finalidad limitar la entrega de potencia y variar el suministro del mismo en las respectivas horas del día.

El mayor consumo demanda residencial de esta subestación ocurre desde las 15:00 hasta las 21:40 con su pico a las 19:00, y un valor de 3,13KW. Mediante el sistema residencial se plantea disminuir ese pico de demanda, para así aumentar la vida útil de los equipos.

3.1.1 Análisis con 6 paneles fotovoltaicos

La Tabla 21 detalla la energía producida por los seis paneles solares por vivienda durante un día promedio y la energía producida por los 1300 conjuntos residenciales trabajando con la misma cantidad de paneles. Se puede observar que la mayor producción de potencia es al medio día debido a que existe mayor incidencia solar.

HORA	6 paneles KW*H	1300 abonados KW*H
7am-8am	0,18	234
8am-9am	0,45	585
9am-10am	0,66	858
10am-11am	0,82	1066
11am-12pm	0,85	1105
12pm-1pm	0,87	1131
1pm-2pm	0,81	1053
2pm-3pm	0,71	923
3pm-4pm	0,56	728
4pm-5pm	0,35	455
5pm-6pm	0,11	143
TOTAL KW*h/diario	6,37	8281

Tabla 21: Conjunto de seis paneles solares (Manglero).

Caso 1. Inversor de 0,6 KW

La entrega detallada de potencia a través del día, tanto para el inversor como para el conjunto de baterías con sus determinadas horas de carga y descarga, se presenta la Tabla 50 del Anexo 5.

El banco de baterías almacena el 100% de la potencia producida por los paneles solares desde 7:00 hasta las 11:00, puesto que en dichas horas el switch temporal se encuentra abierto. Después de este periodo de tiempo se comenzará la entrega de potencia al usuario.

La Figura 3.1 presenta la curva de demanda promedio diaria antes y después de insertar el sistema solar.

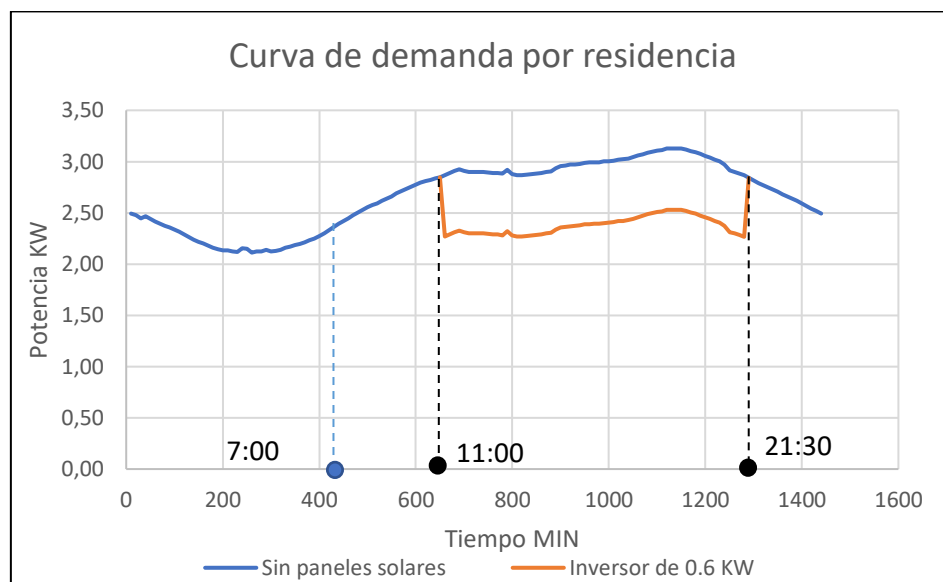


Figura 3.1: Caso 1: 6 paneles Inversor de 0,6 KW.

Caso 2. Inversor 1KW

La entrega detallada de potencia a través del día con esta capacidad de inversor por parte de los paneles solares y el conjunto de baterías se presentan en la Tabla 51 en el Anexo 5 del documento.

El banco de baterías almacena el 100% de la energía producida por los paneles solares desde las 07:00 hasta las 15:20, debido a que el switch temporal se encuentra abierto, una vez se cumpla la hora especificada se cerrará el circuito por lo tanto se abastecerá a la carga con una potencia de 1 KW desde aquella hora.

La Figura 3.2 detalla el comportamiento de la curva de carga diaria, donde la curva de azul representa el consumo normal sin paneles solares y la curva naranja representa la disminución de la misma por la inserción del sistema de generación solar con el inversor de 1 KW.

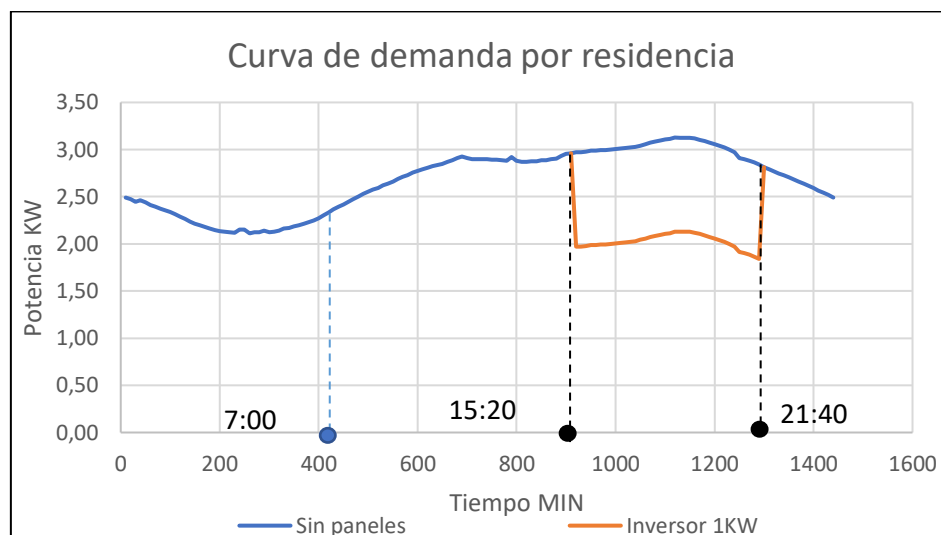


Figura 3.2: Caso 2: 6 paneles Inversor de 1 KW.

Esta opción tiene un menor periodo de entrega de potencia, pero con una disminución mayor en la curva, dado que la capacidad del inversor es la más alta comparada con la otra opción en el conjunto de 6 paneles fotovoltaicos.

3.1.2 Análisis con 9 paneles fotovoltaicos

La Tabla 22 detalla la producción de energía de los nueve paneles solares en un día promedio simulado en el capítulo 2. La segunda columna se refiere cuando los 1300 abonados residenciales poseen el mismo sistema de generación, es decir presenta su producción total vista en conjunto.

HORA	9 paneles KW*H	1300 abonados residenciales KW*H
7am-8am	0,24	312
8am-9am	0,61	793
9am-10am	0,92	1196
10am-11am	1,17	1521
11am-12pm	1,25	1625
12pm-1pm	1,30	1690
1pm-2pm	1,24	1612
2pm-3pm	1,11	1443
3pm-4pm	0,91	1183
4pm-5pm	0,62	806
5pm-6pm	0,26	338
TOTAL KW*h/diario	9,63	12519

Tabla 22: Conjunto de 9 paneles solares (Manglero).

Caso 3. Inversor 0,75KW

La entrega detallada de potencia a través del día, junto con la carga y descarga del sistema de baterías de esta configuración se presenta en la Tabla 52 en el Anexo 5 del documento.

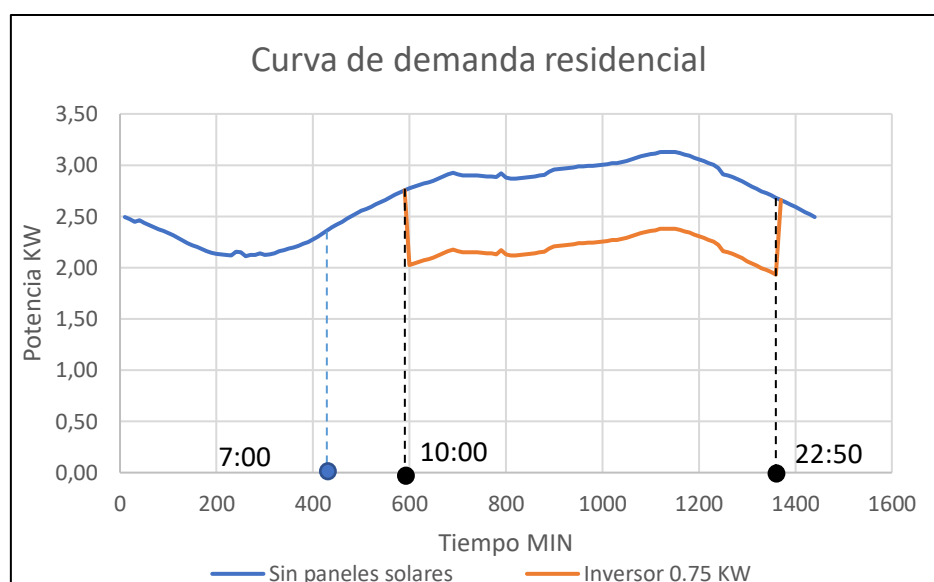


Figura 3.3: Caso 3. 9 paneles Inversor 0,75KW.

La Figura 3.3 detalla el comportamiento de la curva de demanda por abonado, donde el sistema de baterías va a almacenar el 100% de la energía producida por los paneles solares desde las 07:00 hasta las 10:00, debido a que el switch temporal se encuentra abierto, por lo tanto, toda la energía pasa directamente a las baterías. Una vez transcurrida las 10:00 se cierra el interruptor y comienza la entrega de potencia al usuario puesto que todavía los paneles se encuentran produciendo energía. Si aquella potencia generada desde las 10:00 hasta las 18:00 es mayor a la capacidad del inversor, dado que el inversor trata de funcionar a su potencia nominal, la potencia restante se seguirá almacenando en el banco de baterías. Por lo contrario, si es menor a la capacidad del mismo, el controlador de carga tratará de tomar lo restante del banco de baterías. La energía que se almacenó en el sistema de baterías se la distribuirá en las horas de la noche, desde las 18:00 hasta las 22:50.

Caso 4. Inversor de 1,5KW

El despacho de potencia por parte de los paneles solares y del sistema de baterías con sus respectivas horas de carga y descarga utilizando esta capacidad de inversor se detallan en la Tabla 53 en el Anexo 5.

La Figura 3.4 detalla la reducción de la curva de demanda en las horas pico, debido a la introducción del sistema de generación residencial en aquellas horas.

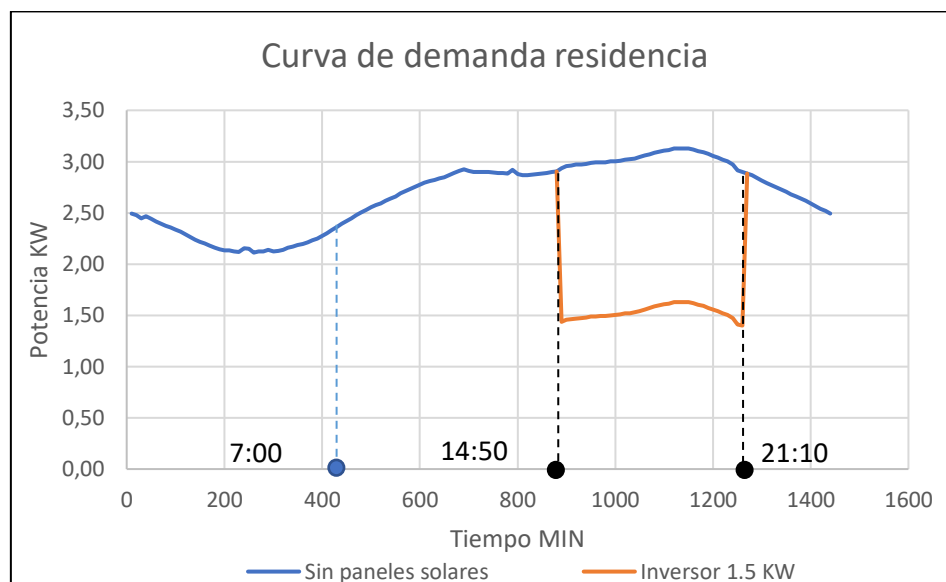


Figura 3.4: Caso 4. 9 paneles Inversor 1,5KW.

El sistema de baterías almacenará el 100% de la energía producida por los paneles desde las 07:00 hasta las 14:50 en vista de que el switch se encuentra abierto. Una vez cumplido este periodo, el switch se cierra y comenzará la entrega de potencia al usuario y durará hasta las 21:10, debido a que se abastecerá directamente por la producción de los paneles hasta las 18:00 y luego por el banco de baterías.

Con todos los casos de la opción de 9 paneles solares por vivienda, se realizará el estudio para obtener la variación del factor de utilización, comportamiento de la temperatura del punto más caliente del devanado (HOT-SPOT) y nivel de envejecimiento comparando con la opción de 6 paneles solares presentado en el subcapítulo 3.1.1.

La Tabla 23 muestra el factor de utilización en el año actual del transformador de la subestación Manglero sin sistema de generación y empleando un conjunto de 6 o 9 paneles solares por vivienda con diferentes capacidades de inversores. Se observa que el menor factor de utilización se obtiene en el tercer caso con un inversor de 0,75KW, disminuyéndolo en un 9% comparado con el factor de utilización sin paneles solares en el año actual.

	#Paneles	Inversor	Factor de utilización
Sin Paneles			0,68
Caso 1	6 Paneles	0,6 KW	0,61
Caso 2	6 Paneles	1 KW	0,64
Caso 3	9 Paneles	0,75 KW	0,59
Caso 4	9 Paneles	1,5KW	0,62

Tabla 23: Opciones. (Factor de utilización s/e Manglero).

La Tabla 24 detalla la temperatura final que va a tener el transformador de la subestación Manglero en el término de su vida útil con todas las opciones antes presentadas. Cabe destacar que la proyección de demanda para años anteriores y posteriores al actual se la realizó con la Tabla 19.

Temperatura Hot Spot Año 2027			
Sin Paneles			133,86°C
Caso 1	6 Paneles	0,6 KW	132,02°C
Caso 2	6 Paneles	1 KW	132,28°C
Caso 3	9 Paneles	0,75 KW	131,48°C
Caso4	9 Paneles	1,5 KW	131,52°C

Tabla 24: Año final de operación (Transformador s/e Manglero).

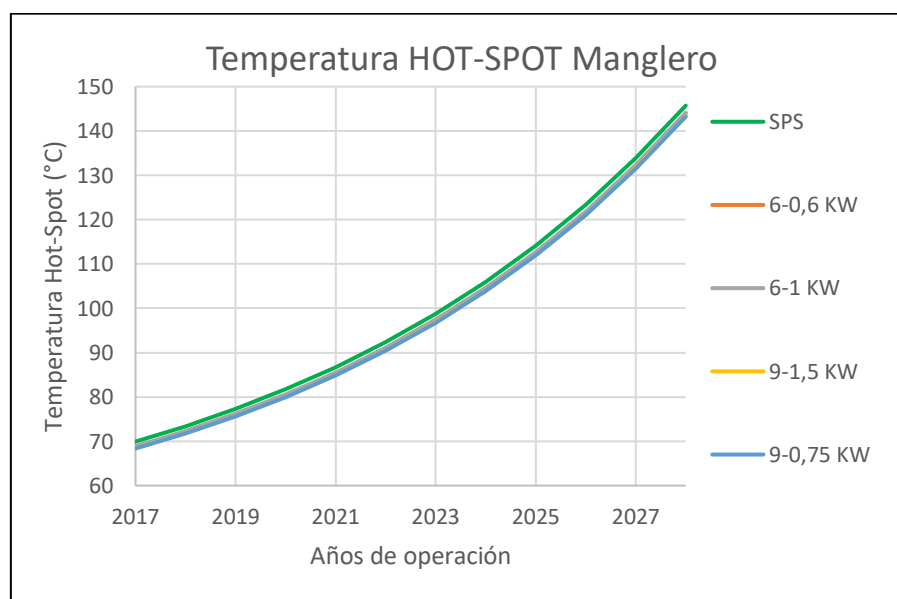


Figura 3.5: Temperatura Hot-Spot (Opciones).

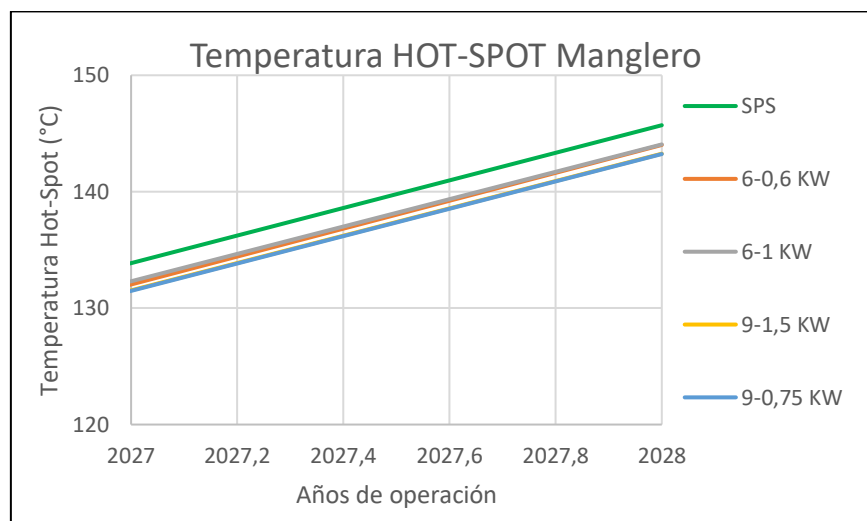


Figura 3.6: Temperatura Hot-Spot (Opciones).

Las figuras anteriores muestran la variación de temperatura del punto más caliente del devanado (HOT-SPOT) en los últimos años de operación del equipo sin un sistema de generación y con la opción de 9 o 6 paneles con sus respectivos inversores por abonado. Se observa que el inversor de 0,75KW con un conjunto de 9 paneles provoca una disminución mayor en la temperatura, en alrededor de 3°C en el año 2027.

Porcentaje de Envejecimiento Año 2027 (%)		
Sin Paneles		94,503
6 Paneles	0,6 KW	77,267
6 Paneles	1 KW	77,314
9 Paneles	0,75 KW	70,736
9 Paneles	1,5 KW	71,440

Tabla 25: Año final de operación (% envejecimiento s/e Manglero).

La Tabla 25 detalla el porcentaje de envejecimiento del transformador Manglero en su último año de operación sin paneles y con la utilización de un sistema de generación solar provisto por los cuatro casos anteriores. La variación del mismo a través de sus años de funcionamiento se observa en las siguientes figuras.

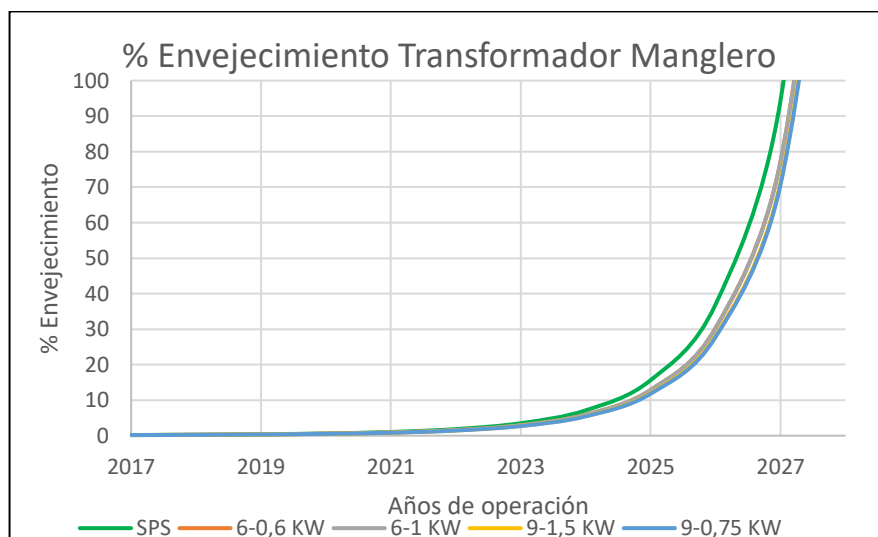


Figura 3.7: (Opciones). Envejecimiento s/e Manglero

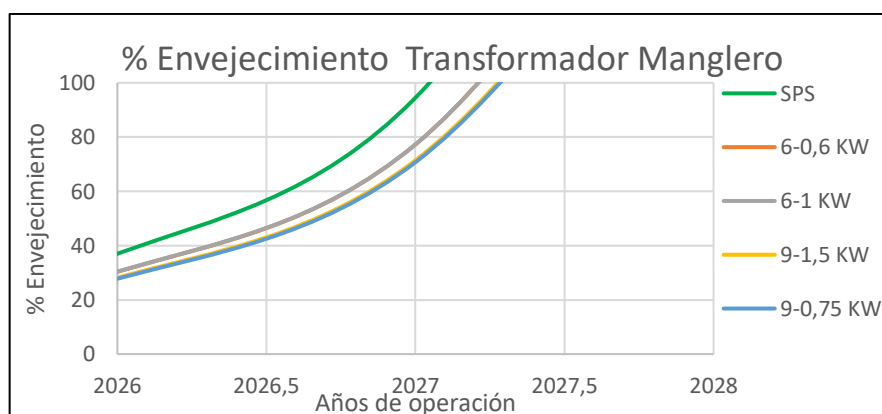


Figura 3.8: (Opciones). %Envejecimiento s/e Manglero

Las figuras anteriores detallan el envejecimiento del transformador de la subestación Manglero a través del tiempo sin paneles solares y con la opción de 9 o 6 paneles con sus respectivos inversores. Se examina que el caso 3 con un inversor de 0,75KW posee una mayor disminución del nivel de envejecimiento del equipo, aumentando la vida útil del mismo en 3 meses y 22 días.

Comparando todos los cuatro casos anteriores se concluye que el caso 3 es el que mayor beneficio se obtiene para la subestación Manglero, debido al aumento de la vida útil del equipo, disminución de la temperatura

y su factor de utilización. Por lo tanto, para esta opción se realizará un análisis económico para determinar el posible año de recuperación de la inversión para el abonado residencial.

Dimensionamiento del banco de baterías

El sistema de baterías para el caso tres almacenará diariamente un promedio de 3,73KWH según la Tabla 52 ubicada en el Anexo 5. Utilizando la siguiente fórmula se calculará el número de baterías a colocar en paralelo.

$$\text{Bat. en paralelo} = \frac{\frac{PD}{V} * D}{\frac{LD}{CB}} \quad [24] \quad (3.1)$$

Donde:

PD: Promedio diario en vatios por hora (Wh)

D: Días de autonomía

LD: Límite de descarga de la batería

CB: Capacidad de la batería en amperios hora (ah)

V: Voltaje de la batería

Los días de autonomía (D) en términos generales significan la cantidad de días nublados de la semana en donde la producción de energía por parte de los paneles solares sea prácticamente nula. Para el diseño se considerará un día de autonomía.

El límite de descarga (LD) es la máxima energía que se desea aprovechar de la batería. Los fabricantes no recomiendan descargar el 100% de su capacidad debido al deterioro de su vida útil, por lo tanto, se ha utilizado un factor de 80% para el diseño.

Los dos últimos parámetros dependen del tipo de batería a utilizar, por consiguiente, se empleará baterías Ultracell de 12 voltios a una capacidad de 150 Ah.

$$\text{Bat. paralelo} = \frac{\frac{3730}{12} * (1)}{150} = \frac{0,8}{150} = 2,59 \approx 3 \text{ baterías}$$

En consecuencia, utilizando el sistema de generación del caso tres (mejor opción para la s/e Manglero), se necesitarán colocar tres baterías conectadas en paralelo para su debido almacenamiento de energía.

Nota: Las cuatro últimas consideraciones se tomarán también para el cálculo del banco de baterías por abonado de la subestación Mocolí

3.1.3 Análisis económico para un abonado de la s/e Manglero

La Tabla 26 define los costos de los equipos, además del costo total de la inversión de este sistema de generación solar, el cual tiene un valor de \$6135 dólares por abonado. Una vez teniendo el costo de la inversión, se calculará el valor por energía mensual que cancela un abonado promedio en dicha región con la curva de carga residencial de la Figura 2.11 y considerando el Pliego Tarifario Ecuatoriano para las Empresas Eléctricas [25].

	MARCA	Voltaje	Corriente	POTENCIA	CANTIDAD	PRECIO
PANELES SOLARES	Tamesol	27 VDC	8ADC	255 WP	9	\$2880
INVERSOR MONOFÁSICO	Omniksol	60 VDC	10ADC	0,75 KW	1	\$285
BATERÍAS	Ultracell	12 VDC	150AH		3	\$1470
OTROS GASTOS						\$1500
Total inversión						\$6135

Tabla 26: Inversión total caso 3.

La Tabla 27 detalla los factores de energía por KW*H en el mercado ecuatoriano para diferentes rangos de consumo, (se observa que conforme se consume más energía el factor aumenta considerablemente). Cabe mencionar que estos factores deberán multiplicarse por la energía para determinar el costo.

Energía (KW*H)		FACTOR
0	50	0,091
51	100	0,093
101	150	0,095
151	200	0,097
201	250	0,099
251	300	0,101
301	350	0,103
351	500	0,105
501	700	0,129
701	1000	0,145
1001	1500	0,171
1501	2500	0,275
2501	3500	0,436
Superior		0,6812

Tabla 27: Factores por KWH.

En la Tabla 28 se tiene detallado el consumo de energía de un abonado promedio que abastece la subestación Manglero, el cual es 1925KWH al mes, además de sus costos por rango de energía y su costo total.

Sin Paneles		
KWH mes	1925	
Rango (KWH)		Precio
50	1875	\$ 4,55
50	1825	\$ 4,65
50	1775	\$ 4,75
50	1725	\$ 4,85
50	1675	\$ 4,95
50	1625	\$ 5,05
50	1575	\$ 5,15
150	1425	\$ 15,75
200	1225	\$ 25,70
300	925	\$ 43,50
500	425	\$ 85,45
425	0	\$ 116,87
Total a cancelar (Mensual)		\$ 321,22

Tabla 28: Costo de energía SPS.

Un abonado residencial promedio de la subestación manglero sin sistema de generación cancela \$321,22 dólares al mes. Al utilizar un conjunto de

generación solar fotovoltaica de 9 paneles solares con un inversor de 0,75KW para disminuir su pico de demanda, su costo por energía mensual disminuye, mostrándose en la Tabla 29.

9 paneles; 0.75KW		
KWH mes	1636,2	
Rango (KWH)		Precio
50	1586,2	\$4,55
50	1536,2	\$4,65
50	1486,2	\$4,75
50	1436,2	\$4,85
50	1386,2	\$4,95
50	1336,2	\$5,05
50	1286,2	\$5,15
150	1136,2	\$15,75
200	936,2	\$25,7
300	636,2	\$43,5
500	136,2	\$85,45
136,2	0	\$37,48
Total a cancelar (Mensual)		\$241,83

Tabla 29: Costo KWH.Caso 3.

El precio por energía mensual a cancelar utilizando el sistema de generación será de \$241,83 dólares, por lo tanto, existe un ahorro mensual para el abonado residencial de \$79,50. Por consiguiente, la recuperación de la inversión total del sistema de generación solar fotovoltaica se detalla en la Tabla 30.

Ahorro mensual	\$79.50
Inversión	\$6135
Recuperación de la inversión	
Meses	77,19
Años	6,43

Tabla 30: Recuperación de la inversión. Caso 3.

La recuperación de la inversión para el abonado residencial al utilizar un sistema de generación solar con 9 paneles y un inversor de 0,75KW para disminuir su pico de demanda será de 6,4 años aproximadamente,

considerando que los factores por KWH del pliego tarifario ecuatoriano no van a cambiar en los años posteriores.

3.2 Simulación de curvas de demanda de la subestación Mocolí

La subestación Mocolí cuenta con un transformador de 10 MVA, y 3 alimentadores abasteciendo a 400 abonados aproximadamente.

En la Figura 2.13 donde se muestra la curva de demanda para esta subestación, se puede observar que el pico de carga ocurre entre las 16:00 y las 22:00 de cada día donde el mayor pico es de 2,68 KW. El análisis que se realizará para la subestación Mocolí será de 6 y 9 paneles solares con inversores desde 0,5 KW hasta 1 KW.

3.2.1 Análisis con 6 paneles fotovoltaicos

En la Tabla 31 se puede observar la energía producida por seis paneles, la misma que será usada para disminuir la curva de demanda por abonado. Al tener 400 abonados en la subestación, se contará con una potencia total de 2548 KW, los mismos que ayudarán a disminuir la cargabilidad del transformador.

HORA	6 paneles KW*H	400 abonados KW*H
7am-8am	0,18	72
8am-9am	0,45	180
9am-10am	0,66	264
10am-11am	0,82	328
11am-12pm	0,85	340
12pm-1pm	0,87	348
1pm-2pm	0,81	324
2pm-3m	0,71	284
3pm-4pm	0,56	224
4pm-5pm	0,35	140
5pm-6pm	0,11	44
TOTAL KW*h/diario	6,37	2548

Tabla 31: Conjunto de seis paneles solares (Mocolí).

Caso 5. Inversor de 0,5 KW

Para este caso, el sistema almacenará el total de la energía producida por los paneles en las baterías desde las 07:00 hasta las 11:00. A partir de dicha hora el sistema comenzará a aliviar la curva de carga con una potencia de 0,5 KW, mientras que la energía restante que se genera se seguirá almacenando en el banco de baterías. A partir de las 18:00 ya no se contará con radiación solar y la energía almacenada en las baterías pasará a través del inversor para aliviar la carga. La totalidad de la energía almacenada se terminará de descargar a las 24:00

Los datos de la curva de carga usando un inversor de 0,5 KW se pueden observar en la Tabla 54 en el Anexo 6.

La Figura 3.9 muestra la curva de demanda por abonado con el sistema de alivio de carga propuesto en este caso.

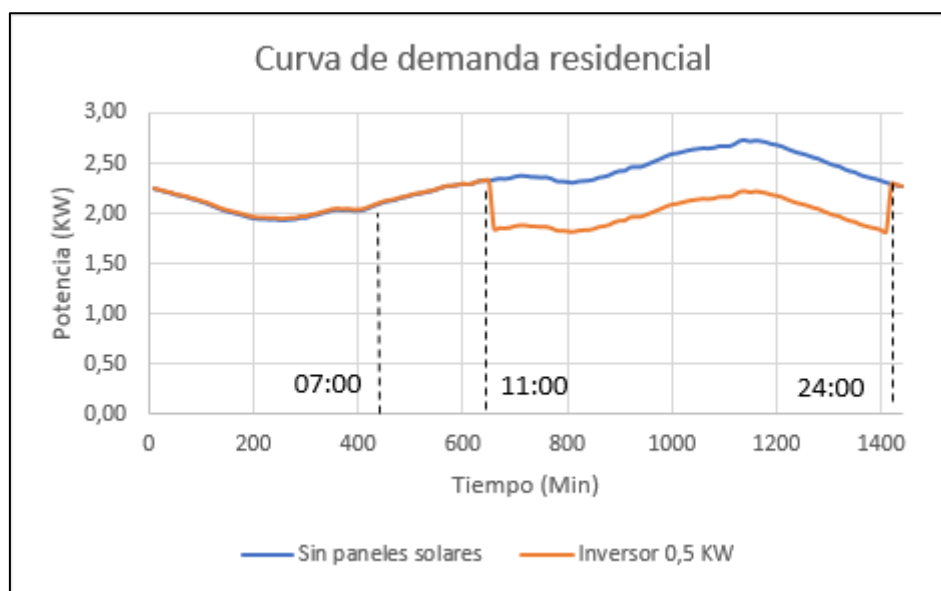


Figura 3.9: Caso 5. 9 paneles Inversor 0,5KW.

Caso 6. Inversor de 0,6 KW

De igual manera, en el caso de tener un inversor de 0,6 KW será necesario almacenar una parte de la energía producida por los paneles solares para el consumo durante la noche, lo que ocurrirá desde la 07:00 hasta las

12:30. Desde esta hora 0,6 KW de la potencia generada pasará directamente a la carga y la restante se continuará almacenando en las baterías. A partir de las 18:00 las baterías empezarán su descarga hasta las 23:00.

Los datos de la curva de carga usando un inversor de 0,6 KW se encuentran en la Tabla 55 del Anexo 6.

En la Figura 3.10 se puede observar el comportamiento de la curva de carga cuando no se usa paneles solares, y cuando si se los usa con un inversor de 0,6 KW.

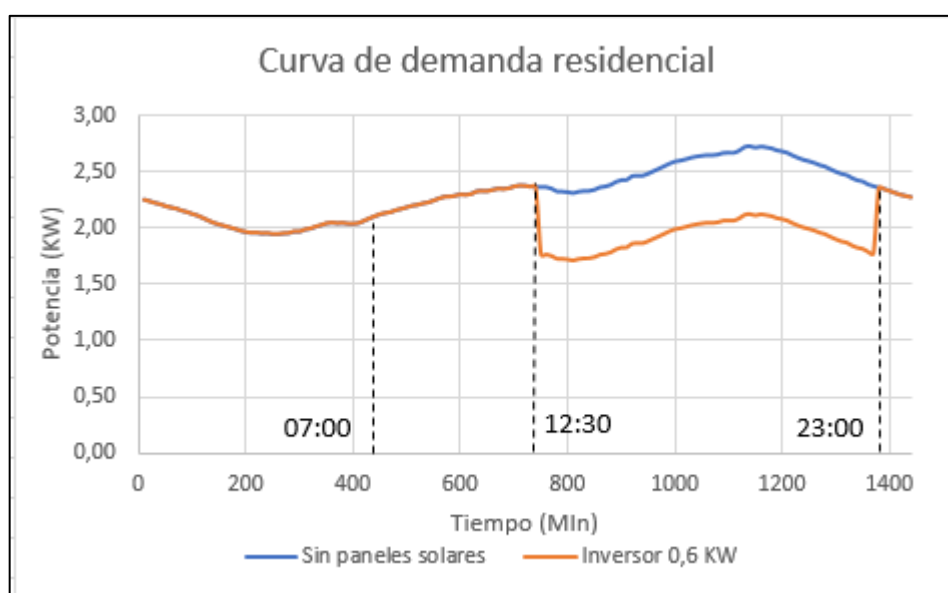


Figura 3.10: Caso 6. 6 paneles Inversor 0,6KW.

3.2.2 Análisis con 9 paneles fotovoltaicos

En la Tabla 32 se puede observar la producción de energía tanto para cada abonado como para la totalidad de la subestación usando 9 paneles solares por residencia.

HORA	9 paneles KW*H	400 abonados KW*H
7am-8am	0,24	96
8am-9am	0,61	244
9am-10am	0,92	368
10am-11am	1,17	468
11am-12pm	1,25	500
12pm-1pm	1,30	520
1pm-2pm	1,24	496
2pm-3pm	1,11	444
3pm-4pm	0,91	364
4pm-5pm	0,62	248
5pm-6pm	0,26	104
TOTAL KW*h/diario	9,63	3852

Tabla 32: Conjunto de nueve paneles solares (Mocolí).

Caso 7. Inversor 0,75 KW

Al usar nueve paneles solares con un inversor de 0,75 KW, se tendrá una mayor potencia aliviada en las horas de mayor demanda. Para esto el sistema comenzará a almacenar energía proveniente de los paneles desde las 07:00 hasta las 11:20. Desde esta hora el inversor empezará a inyectar una potencia de 0,75 KW, y lo restante generado seguirá almacenándose en el banco de baterías. Desde las 16:00 los paneles generan menos potencia de la nominal del inversor, debido a esto la energía de las baterías se comenzará a descargar desde esta hora hasta las 24:00.

En la Tabla 56 del Anexo 6 se puede observar los datos de la curva de carga para la opción analizada en este caso. En la Figura 3.11 se observa el comportamiento de la curva de carga sin usar paneles solares, y usando nueve paneles con un inversor de 0,75 KW.

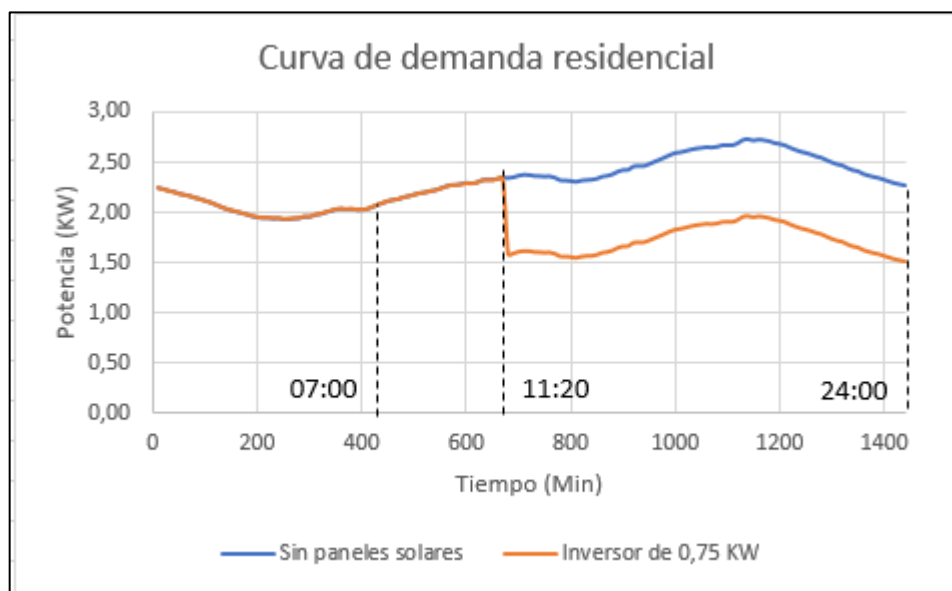


Figura 3.11: Caso 7. 9 paneles Inversor 0,75KW.

Caso 8. Inversor 1 KW

En el caso de usar nueve paneles solares con un inversor de 1 KW, la energía se comenzará a almacenar en las baterías desde las 07:00 hasta las 13:20. A partir de este momento se aliviará la carga con una potencia de 1 KW, mientras que lo restante generado será almacenado en las baterías. Desde las 15:00 las baterías también inyectarán potencia ya que la generada por los paneles es menor a la capacidad nominal del inversor. Las baterías se terminarán de descargar a las 22:40.

En la Tabla 57 ubicada en el Anexo 6 se observan los datos de carga para esta opción. La Figura 3.12 muestra el comportamiento de la curva de carga para el caso de un sistema sin paneles solares, y uno con nueve paneles y un inversor de 1 KW.

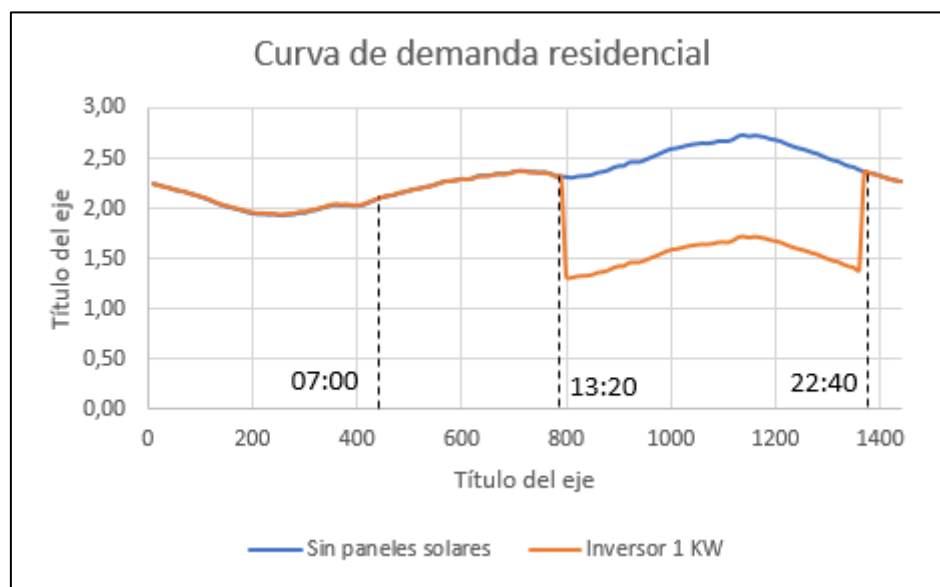


Figura 3.12: Caso 8. 9 paneles Inversor 1KW.

Con las cuatro opciones mostradas para la subestación Mocolí, se analizará cuál es la mejor opción tomando en cuenta el factor de utilización y el porcentaje de envejecimiento. En la Tabla 33 se observa el factor de utilización para los cuatro casos analizados.

	Factor de utilización
Sin Paneles	0,1088
6 Paneles - 0,6 KW	0,0950
6 Paneles - 0,5 KW	0,0930
9 Paneles - 0,75 KW	0,0939
9 Paneles - 1KW	0,0950

Tabla 33: Factor de utilización (s/e Mocolí).

En la Tabla 33 se puede observar que, con la operación actual, la subestación Mocolí cuenta con un factor de utilización de 10,88%. Entre todas las opciones analizadas, usando seis paneles fotovoltaicos y un inversor de 0,5 KW se logró la mayor disminución en el factor de utilización, donde se llega a tener 9,3% es decir una disminución de 1,58%. Por otro lado, para el caso de nueve paneles y un inversor de 0,75 KW se obtendrá un factor de utilización de 9,39%.

En la Tabla 34 se muestra la temperatura del punto más caliente en el año 2056 usando la formulación mostrada en la sección 2.4. Esta simulación se la realizo considerando un aumento de carga de 5,63% como muestra en la Tabla 20. Para esta fecha se espera que el transformador llegue al 100% de su envejecimiento.

Temperatura Hot Spot Año 2056		
Sin Paneles		136,2301
6 Paneles	0,6 KW	135,6536
	0,5 KW	134,3175
9 Paneles	1 KW	135,3603
	0,75 KW	132,3821

Tabla 34: Opciones. Temperatura (Hot-Spot s/e Mocolí)

En el caso de no usar paneles solares, para el año 2056 se tendrá una temperatura de 136,23°C, mientras que la menor temperatura se la obtendrá en caso de usar 9 módulos fotovoltaicos y un inversor de 0,75KW. En las figuras siguientes se puede observar el comportamiento de esta temperatura a lo largo de todos los años de operación del transformador. Se observa que, para todos los casos, el comportamiento de esta curva es muy cercano entre sí.

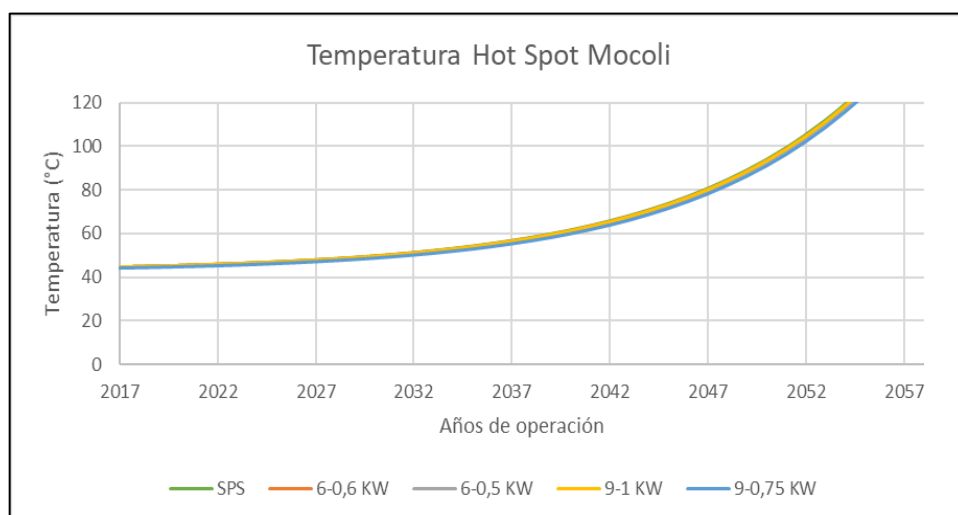


Figura 3.13: Opciones. Temperatura (HOT-SPOT s/e Mocolí).

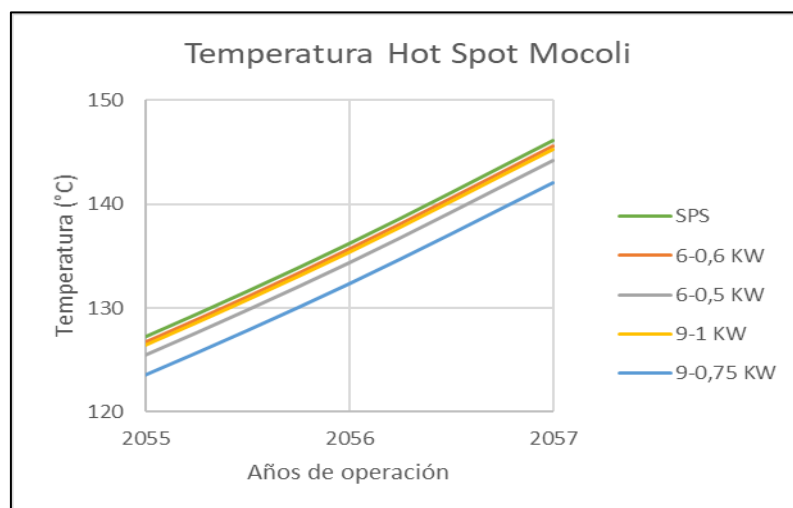


Figura 3.14: Opciones. Temperatura (HOT-SPOT s/e Mocolí).

El envejecimiento en el transformador es otro punto importante para escoger la mejor opción. En la Tabla 35 se muestra el porcentaje que se espera tenga el transformador para el año 2056; con el sistema como se encuentra en la actualidad se tendrá un envejecimiento de 124,17%, y el menor porcentaje se obtendrá usando nueve paneles solares y un inversor de 0,75 KW. Con esto se obtendrá un factor de envejecimiento de 86,21% al año 2056 logrando que la vida útil del transformador se alargue cinco meses.

Porcentaje de Envejecimiento Año 2056 (%)		
Sin Paneles		124,1707
6 Paneles	0,6 KW	115,5993
	0,5 KW	103,1361
9 Paneles	1 KW	111,2802
	0,75 KW	86,2029

Tabla 35: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí)

En las figuras siguientes se observa el comportamiento del porcentaje de envejecimiento acumulado para todas las opciones analizadas.

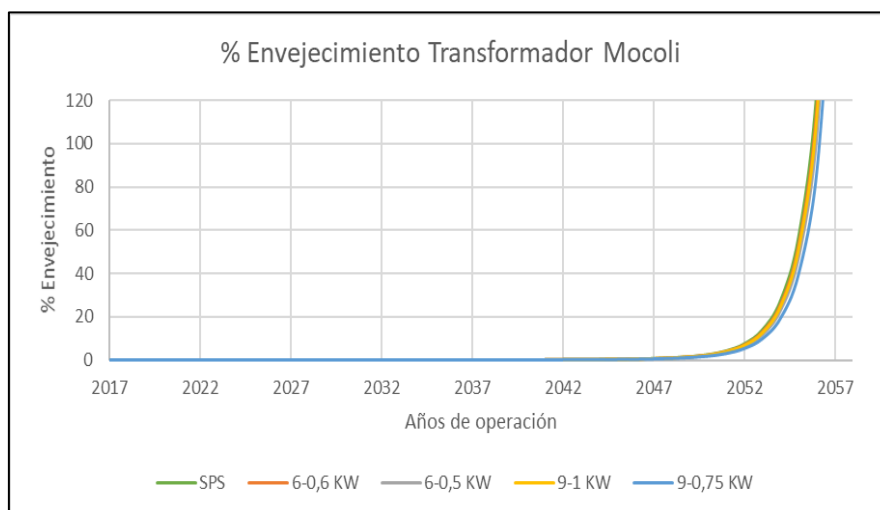


Figura 3.15: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí).

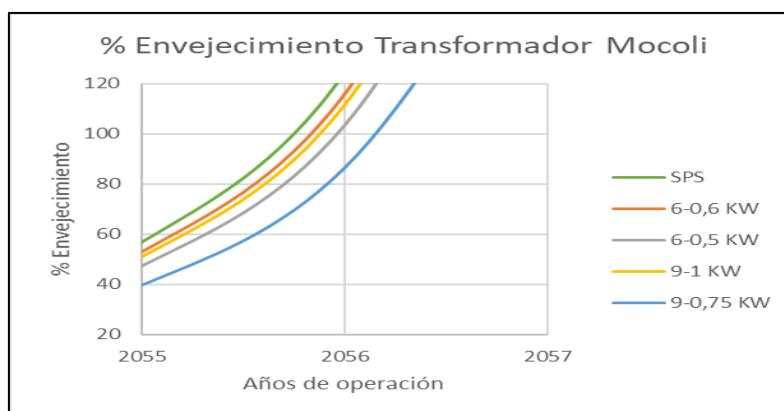


Figura 3.16: Opciones. % Envejecimiento (s/e Mocolí).

Comparando todos los casos mostrados, se puede observar que la mejor opción es el caso 7, donde se tiene nueve paneles solares y un inversor de 0,75 KW.

Dimensionamiento del banco de baterías

La Tabla 56 del Anexo 6 detalla la energía promedio diaria requerida a almacenar en el banco de baterías por el caso 7 (mejor opción para la s/e Mocolí) la cual es 5,25 KWH. Utilizando la ecuación 3.1 de la referencia [24] se realiza el procedimiento. Cabe destacar que se aprovecharan los

mismos parámetros considerados en el cálculo del sistema de baterías por abonado de la s/e Manglero.

$$\text{Bat. paralelo} = \frac{\frac{5250}{12} * (1)}{0,8} = \frac{437,5}{0,8} = 546,875 \approx 547 \text{ baterías}$$

Por lo tanto, para el diseño del sistema de generación solar fotovoltaico por abonado en la subestación Mocolí empleando el caso 7 se debe utilizar un conjunto de cuatro baterías conectadas en paralelo.

3.2.3 Análisis económico para un abonado de la s/e Mocolí

La Tabla 36 define los costos de los equipos utilizados en el caso 7, dando una inversión total de \$6625 dólares por abonado. En la Tabla 27 se mostró el pliego tarifario para calcular el consumo de electricidad en dólares, mismo se usará para estimar el tiempo en que se podrá recuperar la inversión.

	MARCA	Voltaje	Corriente	POTENCIA	CANTIDAD	PRECIO
PANELES SOLARES	Tamesol	27 VDC	8ADC	255 WP	9	\$2880
INVERSOR MONOFÁSICO	Omniksol	60 VDC	10ADC	0,75 KW	1	\$285
BATERÍAS	Ultracell	12 VDC	150AH		4	\$1960
OTROS GASTOS						\$1500
Total inversión						\$6625

Tabla 36: Inversión total caso 7.

En la Tabla 37 se muestra el consumo de energía de un abonado promedio que abastece la subestación Mocolí. Con esta se estima que el 70% de la capacidad del transformador será para el consumo residencial, y teniendo 400 abonados aproximadamente el valor de consumo por residencia será de 1677KWH al mes. Además, la misma tabla detalla sus costos por rango de energía y su costo total.

Sin Paneles		
KWH mes	1677	
Rango (KWH)		Precio
50	1627	\$ 4,55
50	1577	\$ 4,65
50	1527	\$ 4,75
50	1477	\$ 4,85
50	1427	\$ 4,95
50	1377	\$ 5,05
50	1327	\$ 5,15
150	1177	\$ 15,75
200	977	\$ 25,70
300	677	\$ 43,50
500	177	\$ 85,45
177	0	\$ 48,71
Total a cancelar (Mensual)		\$ 253,06

Tabla 37: Costo de energía SPS (Mocolí).

Un abonado residencial promedio de la subestación Mocolí cancela \$253,06 dólares al mes sin sistema de generación. Al utilizar un conjunto de generación solar fotovoltaica de nueve paneles solares con un inversor de 0,75KW para disminuir su pico de demanda, su costo por energía mensual disminuye como se muestra en la Tabla 38.

9 paneles; 0.75KW		
KWH mes	1376,93	
Rango (KWH)		Precio
50	1326,93	\$4,55
50	1276,93	\$4,65
50	1226,93	\$4,75
50	1176,93	\$4,85
50	1126,93	\$4,95
50	1076,93	\$5,05
50	1026,93	\$5,15
150	876,93	\$15,75
200	676,93	\$25,7
300	376,93	\$43,5
376,93	0	\$64,42
Total a cancelar (Mensual)		\$183,32

Tabla 38: Costo KWH. Caso 7.

El precio por energía mensual a cancelar utilizando el sistema de generación será de \$183,32 dólares, por lo tanto, existe un ahorro mensual para el abonado residencial de \$69,74. Por consiguiente, la recuperación de la inversión total del sistema de generación solar fotovoltaica se detalla en la Tabla 39.

Ahorro mensual	\$69,74
Inversión	\$6625
Recuperación de la inversión	
Meses	95
Años	7,92

Tabla 39: Recuperación de la inversión. Caso 7.

La recuperación de la inversión para el abonado residencial al utilizar un sistema de generación solar con 9 paneles y un inversor de 0,75KW para disminuir su pico de demanda será de 8 años aproximadamente, considerando que los factores por KWH del pliego tarifario ecuatoriano no van a cambiar en los años posteriores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Empleando un sistema de generación de nueve paneles solares por vivienda de capacidad 2,3 KW, se consigue la menor temperatura del punto más caliente del devanado (HOT-SPOT) disminuyendo en 3°C y 4°C para el transformador de Manglero y Mocolí respectivamente, reflejándose en un mayor aumento de la vida útil del equipo.

Al utilizar inversores solares de menor capacidad se logra disminuir la curva de carga por un mayor periodo de tiempo, conllevando una mayor reducción del factor de utilización del transformador.

El diseño e implementación de un sistema de generación solar centralizado por subestación de 2,98 MW y 0,91 MW para las subestaciones de Manglero y Mocolí respectivamente no es factible técnica ni económicamente, puesto que el transformador aumentará su vida útil en cuatro y cinco meses respectivamente, y su inversión superaría los cuatro millones de dólares comparado con los \$300000 aproximadamente que cuesta un transformador de las mismas capacidades. Por otro lado, el implementar un sistema de generación solar con almacenamiento distribuido por vivienda resulta mucho más factible económicamente para el abonado ya que la inversión sería de \$6135 y \$6625 para las subestaciones Manglero y Mocolí, y la recuperación de esta inversión se daría en seis y ocho años respectivamente.

Por costos considerables de un sistema de generación solar residencial, se debería implementar el método de desplazamiento de carga con el fin de mover los picos de demanda a horas valle, donde exista menor consumo de potencia.

Implementar un sistema de generación solar no es la mejor manera de reducir los picos de demanda, por lo tanto, el estado debería elaborar una tarifa residencial de consumo de energía diaria, beneficiando y penalizando al abonado en ciertas horas, para así incentivarlo a cambiar su conducta de consumo.

Se recomienda a la empresa eléctrica Cnel. Guayas-Los Ríos disminuir la capacidad de transformadores de distribución que tengan un factor de utilización menor al 40%, como es el caso del transformador de la subestación Mocolí, debido que al implementar un sistema de generación solar por abonado no se ve reflejado en un aumento considerable de la vida útil del mismo, además no estará trabajando eficientemente y su contribución de pérdidas sería alta.

Para el análisis exacto y detallado del envejecimiento del transformador de distribución se debe disponer de la curva de demanda de cada abonado al cual abastece, debido a que cada usuario tiene un comportamiento diferente al consumir energía eléctrica.

Al utilizar un banco de baterías en el sistema de generación solar fotovoltaica se debe evitar descargar el 100% de la energía almacenada, puesto que su vida útil disminuiría rápidamente con cada descarga diaria comparada con una descarga máxima del 50%.

Al implementarse un sistema de generación solar residencial se aconseja dar un constante mantenimiento a los paneles solares policristalinos y demás equipos, mínimo dos veces al año, a causa de la alta polución de la región costa que afectaría en gran escala la incidencia de producción de potencia por parte de los paneles.

Si la empresa CELEC E.P tomara la decisión de implantar un sistema de generación solar fotovoltaica para disminuir la cargabilidad de las zonas con mayor demanda sería recomendable realizar un estudio de armónicos, porque a mayor capacidad de inversores se produce mayor incidencia de armónicos en la red eléctrica de distribución.

Realizar chequeos preventivos anuales y elaborar un histórico de datos de cada transformador de distribución para evitar futuros daños.

Se recomienda al Estado Ecuatoriano dar incentivos a los ciudadanos que implementen sistemas de generación solar, cada vez que el mismo entregue parte de su producción a la red eléctrica ya que de esta forma se contribuye a generar energía limpia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. A. Abdelmalik, Power Transformer Life Management, Relevance to Nigerian Power Industry, Zaria: Department of Physics, Ahmadu Bello University, 2013.
- [2] R. Godina, E. Rodrigues, J. Matias y J. Catalão, «Effect of Loads and Other Key Factors on Oil-Transformer Ageing: Sustainability Benefits and Challenges,» Energies, 2015.
- [3] IEEE, «IEEE Std C57.91-2011,» IEEE, New York, 2012.
- [4] M. Koch, «Reliable Moisture determination,» Cigré, 2008.
- [5] Instituto Tecnológico de canarias, Energías Renovables y Eficiencia Energética, Las Palmas. Canarias: Primera Edición, 2008.
- [6] Circutor S.A., «Circutor,» 18 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://circutor.es/es/sectores/energia/autoconsumo/guia-legalizacion-instalaciones>. [Último acceso: 5 Mayo 2017].
- [7] De Máquinas y Herramientas, «De Máquinas y Herramientas,» 26 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/tecnologia-inversora-inverter-para-soldadura>. [Último acceso: 4 Mayo 2017].
- [8] NASA, «Admospheric Science Data Center,» 26 Marzo 2008. [En línea]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>. [Último acceso: 25 Junio 2017].
- [9] G. Carrillo, A Jaya y J. Sarmiento, «Diseño y Análisis de Viabilidad de una Central Fotovoltaica Conectada a red, para autoconsumo en una industria procesadora de alimentos situada en la provincia del Guayas,» ESPOL, Guayaquil, 2016.

- [10] MIDUVI, «Energía Renovables. Norma ecuatoriana de construcción,» Quito, 2011.
- [11] Service my solar, «Service my solar,» 26 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://servicemy.solar/solar-inverter-repairs-and-service/omnik-inverter-repairs-and-service/>. [Último acceso: 17 Julio 2017].
- [12] Tamesol, «Tamesol,» 8 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.tamesol.com/?lang=es>. [Último acceso: 12 Agosto 2017].
- [13] Proviento S.A., «Proviento,» 20 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.proviento.com.ec/baterias.html>. [Último acceso: 15 Julio 2017].
- [14] Ultracell, «Ultracell,» 14 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.ultracell.es/>. [Último acceso: 15 Julio 2017].
- [15] S. Hidrocantábrico Distribución Eléctrica, «Aceite Mineral Aislante Nuevo para Transformadores de Potencia. ET/5103.,» Oviedo, 2013.
- [16] Nema Standar Publication TP. 1-2002, «Guide for Determining Energy Efficiency for Distribution Transformers,» National Electrical Manufacturers Association , Virginia, Usa, 2002.
- [17] Norma ANSI/IEEE C57.92-1981, Guía para cargabilidad de transformadores de potencia sumergidos en aceite mineral, USA, 1981.
- [18] IEEE Standar Association, Guide for Loading Mineral-oil-immersed Transformers and Step-Voltage Regulators, New York, USA: IEEE, 2012.
- [19] L.Lundgaard, W.Hansel, D.Linhjell, T.Painter, «Ageing of oil-impregnated paper in transformers,» USA, 2002.
- [20] A.VILLA, «Estandarización e implementación de la norma ASTM D-4243 para la determinación del grado de Polimerización del papel eléctrico como aislante en transformadores de potencia por el método del promedio viscosimétrico.,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira.

- [21] CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, «Plan Nacional de Electrificación del Ecuador,» Ecuador, Febrero 2002.
- [22] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Samborondón, «Plan Cantonal de Desarrollo y Reordenamiento Territorial 2015-2019,» Samborondón, 2015.
- [23] General Electric, «GE Grid Solutions,» 22 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.gegridsolutions.com/md/catalog/hydranm2.htm>. [Último acceso: 13 Junio 2017].
- [24] P.Mena, D.Ortíz, D.Mesías, «Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para el suministro de Energía Eléctrica en el nuevo campus de la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga,» ESPE, Quito, 2014.
- [25] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, «PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS,» Guayaquil, 2017.

ANEXOS

Anexo 1

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Los Arcos.

Tiempo (Min)	Demanda PU	Tiempo (Min)	Demanda PU	Tiempo (Min)	Demanda PU	Tiempo (Min)	Demanda PU
10	0,1827	370	0,1283	730	0,3516	1090	0,3317
20	0,1780	380	0,1271	740	0,3545	1100	0,3298
30	0,1734	390	0,1259	750	0,3545	1110	0,3289
40	0,1696	400	0,1240	760	0,3532	1120	0,3318
50	0,1673	410	0,1227	770	0,3539	1130	0,3341
60	0,1643	420	0,1230	780	0,3548	1140	0,3338
70	0,1619	430	0,1247	790	0,3536	1150	0,3331
80	0,1595	440	0,1291	800	0,3523	1160	0,3311
90	0,1578	450	0,1328	810	0,3527	1170	0,3299
100	0,1560	460	0,1376	820	0,3532	1180	0,3281
110	0,1541	470	0,1447	830	0,3535	1190	0,3263
120	0,1522	480	0,1539	840	0,3555	1200	0,3244
130	0,1503	490	0,1626	850	0,3555	1210	0,3220
140	0,1485	500	0,1744	860	0,3568	1220	0,3165
150	0,1471	510	0,1862	870	0,3575	1230	0,3127
160	0,1458	520	0,1954	880	0,3590	1240	0,3099
170	0,1442	530	0,2061	890	0,3585	1250	0,3063
180	0,1430	540	0,2155	900	0,3582	1260	0,3024
190	0,1418	550	0,2247	910	0,3586	1270	0,2954
200	0,1413	560	0,2357	920	0,3587	1280	0,2794
210	0,1406	570	0,2435	930	0,3590	1290	0,2669
220	0,1395	580	0,2496	940	0,3590	1300	0,2572
230	0,1385	590	0,2576	950	0,3593	1310	0,2493
240	0,1375	600	0,2709	960	0,3588	1320	0,2422
250	0,1367	610	0,2954	970	0,3579	1330	0,2355
260	0,1353	620	0,3198	980	0,3573	1340	0,2304
270	0,1347	630	0,3272	990	0,3567	1350	0,2255
280	0,1333	640	0,3312	1000	0,3557	1360	0,2217
290	0,1329	650	0,3329	1010	0,3542	1370	0,2175
300	0,1322	660	0,3349	1020	0,3519	1380	0,2119
310	0,1311	670	0,3375	1030	0,3480	1390	0,2086
320	0,1304	680	0,3407	1040	0,3459	1400	0,2045
330	0,1301	690	0,3440	1050	0,3430	1410	0,1997
340	0,1294	700	0,3470	1060	0,3393	1420	0,1954
350	0,1296	710	0,3495	1070	0,3373	1430	0,1920
360	0,1288	720	0,3506	1080	0,3343	1440	0,1878

Tabla 40. Datos curva de carga subestación Puntilla (Los Arcos).

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Tennis Club A

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
10	0,596	370	0,5485	730	0,6781	1090	0,6757
20	0,593	380	0,5504	740	0,6767	1100	0,6795
30	0,591	390	0,5525	750	0,6747	1110	0,6819
40	0,585	400	0,5580	760	0,6740	1120	0,6853
50	0,582	410	0,5632	770	0,6727	1130	0,6882
60	0,578	420	0,5651	780	0,6710	1140	0,6890
70	0,574	430	0,5710	790	0,6646	1150	0,6898
80	0,569	440	0,5774	800	0,6548	1160	0,6918
90	0,566	450	0,5819	810	0,6593	1170	0,6917
100	0,562	460	0,5863	820	0,6563	1180	0,6913
110	0,558	470	0,5915	830	0,6558	1190	0,6904
120	0,553	480	0,5956	840	0,6568	1200	0,6879
130	0,548	490	0,5997	850	0,6563	1210	0,6858
140	0,543	500	0,6033	860	0,6558	1220	0,6835
150	0,540	510	0,6069	870	0,6562	1230	0,6815
160	0,536	520	0,6112	880	0,6562	1240	0,6796
170	0,533	530	0,6156	890	0,6565	1250	0,6795
180	0,531	540	0,6179	900	0,6455	1260	0,6768
190	0,529	550	0,6203	910	0,6453	1270	0,6746
200	0,527	560	0,6231	920	0,6470	1280	0,6713
210	0,525	570	0,6278	930	0,6477	1290	0,6667
220	0,524	580	0,6316	940	0,6491	1300	0,6620
230	0,524	590	0,6348	950	0,6487	1310	0,6576
240	0,523	600	0,6391	960	0,6487	1320	0,6541
250	0,524	610	0,6435	970	0,6498	1330	0,6497
260	0,525	620	0,6465	980	0,6498	1340	0,6450
270	0,526	630	0,6500	990	0,6501	1350	0,6416
280	0,527	640	0,6547	1000	0,6525	1360	0,6358
290	0,529	650	0,6566	1010	0,6547	1370	0,6308
300	0,525	660	0,6593	1020	0,6580	1380	0,6276
310	0,531	670	0,6624	1030	0,6591	1390	0,6226
320	0,535	680	0,6636	1040	0,6620	1400	0,6183
330	0,538	690	0,6644	1050	0,6644	1410	0,6132
340	0,540	700	0,6653	1060	0,6672	1420	0,6087
350	0,544	710	0,6768	1070	0,6689	1430	0,6038
360	0,546	720	0,6778	1080	0,6718	1440	0,6001

Tabla 41. Datos curva de carga subestación Tennis Club A.

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Tennis Club B

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
10	0,4040	370	0,2963	730	0,4434	1090	0,4158
20	0,3986	380	0,2961	740	0,4452	1100	0,4163
30	0,3921	390	0,2939	750	0,4476	1110	0,4210
40	0,3877	400	0,2913	760	0,4497	1120	0,4252
50	0,3827	410	0,2836	770	0,4515	1130	0,4315
60	0,3819	420	0,2810	780	0,4555	1140	0,4362
70	0,3784	430	0,2823	790	0,4577	1150	0,4384
80	0,3734	440	0,2853	800	0,4584	1160	0,4374
90	0,3692	450	0,2885	810	0,4594	1170	0,4376
100	0,3657	460	0,2924	820	0,4609	1180	0,4373
110	0,3622	470	0,2950	830	0,4627	1190	0,4392
120	0,3589	480	0,2945	840	0,4633	1200	0,4364
130	0,3550	490	0,2979	850	0,4649	1210	0,4354
140	0,3511	500	0,3021	860	0,4669	1220	0,4327
150	0,3476	510	0,3088	870	0,4693	1230	0,4316
160	0,3441	520	0,3161	880	0,4724	1240	0,4321
170	0,3408	530	0,3229	890	0,4731	1250	0,4327
180	0,3377	540	0,3346	900	0,4731	1260	0,4351
190	0,3352	550	0,3441	910	0,4720	1270	0,4366
200	0,3325	560	0,3535	920	0,4712	1280	0,4349
210	0,3301	570	0,3648	930	0,4706	1290	0,4353
220	0,3280	580	0,3736	940	0,4653	1300	0,4367
230	0,3252	590	0,3813	950	0,4606	1310	0,4369
240	0,3207	600	0,3893	960	0,4582	1320	0,4375
250	0,3179	610	0,3944	970	0,4569	1330	0,4373
260	0,3154	620	0,4004	980	0,4564	1340	0,4352
270	0,3128	630	0,4069	990	0,4546	1350	0,4345
280	0,3104	640	0,4121	1000	0,4526	1360	0,4332
290	0,3086	650	0,4163	1010	0,4498	1370	0,4323
300	0,3084	660	0,4200	1020	0,4474	1380	0,4312
310	0,3074	670	0,4244	1030	0,4449	1390	0,4286
320	0,3039	680	0,4303	1040	0,4396	1400	0,4251
330	0,3023	690	0,4340	1050	0,4347	1410	0,4225
340	0,3005	700	0,4380	1060	0,4289	1420	0,4188
350	0,2994	710	0,4417	1070	0,4238	1430	0,4156
360	0,2977	720	0,4420	1080	0,4189	1440	0,4092

Tabla 42. Datos curva de carga subestación Tennis Club B.

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Manglero

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
10	0,5624	370	0,4996	730	0,6545	1090	0,6989
20	0,5586	380	0,5040	740	0,6546	1100	0,7013
30	0,5522	390	0,5078	750	0,6532	1110	0,7026
40	0,5563	400	0,5130	760	0,6524	1120	0,7059
50	0,5504	410	0,5197	770	0,6521	1130	0,7057
60	0,5450	420	0,5259	780	0,6503	1140	0,7058
70	0,5403	430	0,5337	790	0,6587	1150	0,7058
80	0,5360	440	0,5399	800	0,6498	1160	0,7035
90	0,5319	450	0,5458	810	0,6477	1170	0,7006
100	0,5278	460	0,5522	820	0,6476	1180	0,6975
110	0,5228	470	0,5587	830	0,6485	1190	0,6936
120	0,5164	480	0,5646	840	0,6493	1200	0,6895
130	0,5108	490	0,5708	850	0,6510	1210	0,6859
140	0,5049	500	0,5765	860	0,6522	1220	0,6818
150	0,5001	510	0,5809	870	0,6543	1230	0,6775
160	0,4964	520	0,5852	880	0,6554	1240	0,6710
170	0,4920	530	0,5910	890	0,6624	1250	0,6572
180	0,4878	540	0,5957	900	0,6673	1260	0,6545
190	0,4842	550	0,6006	910	0,6683	1270	0,6508
200	0,4821	560	0,6068	920	0,6702	1280	0,6467
210	0,4810	570	0,6119	930	0,6710	1290	0,6411
220	0,4796	580	0,6162	940	0,6721	1300	0,6351
230	0,4782	590	0,6219	950	0,6739	1310	0,6293
240	0,4862	600	0,6263	960	0,6748	1320	0,6249
250	0,4854	610	0,6301	970	0,6757	1330	0,6197
260	0,4766	620	0,6338	980	0,6759	1340	0,6157
270	0,4794	630	0,6370	990	0,6772	1350	0,6106
280	0,4794	640	0,6395	1000	0,6781	1360	0,6053
290	0,4827	650	0,6423	1010	0,6793	1370	0,6007
300	0,4791	660	0,6474	1020	0,6812	1380	0,5953
310	0,4808	670	0,6522	1030	0,6820	1390	0,5904
320	0,4828	680	0,6565	1040	0,6837	1400	0,5851
330	0,4877	690	0,6604	1050	0,6867	1410	0,5794
340	0,4900	700	0,6566	1060	0,6902	1420	0,5737
350	0,4936	710	0,6547	1070	0,6934	1430	0,5683
360	0,4960	720	0,6543	1080	0,6963	1440	0,5628

Tabla 43. Datos curva de carga subestación Manglero.

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Mocolí

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
10	0,1338	370	0,1214	730	0,1407	1090	0,1584
20	0,1330	380	0,1216	740	0,1406	1100	0,1585
30	0,1321	390	0,1212	750	0,1404	1110	0,1585
40	0,1314	400	0,1211	760	0,1404	1120	0,1597
50	0,1304	410	0,1215	770	0,1396	1130	0,1615
60	0,1297	420	0,1227	780	0,1381	1140	0,1618
70	0,1291	430	0,1239	790	0,1380	1150	0,1612
80	0,1281	440	0,1250	800	0,1378	1160	0,1618
90	0,1273	450	0,1262	810	0,1373	1170	0,1613
100	0,1263	460	0,1268	820	0,1380	1180	0,1608
110	0,1254	470	0,1273	830	0,1383	1190	0,1597
120	0,1241	480	0,1283	840	0,1384	1200	0,1592
130	0,1228	490	0,1290	850	0,1390	1210	0,1584
140	0,1216	500	0,1299	860	0,1403	1220	0,1570
150	0,1207	510	0,1307	870	0,1407	1230	0,1557
160	0,1199	520	0,1311	880	0,1416	1240	0,1547
170	0,1191	530	0,1319	890	0,1432	1250	0,1540
180	0,1183	540	0,1324	900	0,1441	1260	0,1531
190	0,1174	550	0,1334	910	0,1442	1270	0,1520
200	0,1167	560	0,1345	920	0,1462	1280	0,1512
210	0,1163	570	0,1354	930	0,1464	1290	0,1498
220	0,1163	580	0,1355	940	0,1464	1300	0,1485
230	0,1160	590	0,1360	950	0,1475	1310	0,1474
240	0,1161	600	0,1366	960	0,1488	1320	0,1467
250	0,1156	610	0,1364	970	0,1501	1330	0,1452
260	0,1157	620	0,1369	980	0,1514	1340	0,1440
270	0,1160	630	0,1382	990	0,1528	1350	0,1434
280	0,1162	640	0,1384	1000	0,1539	1360	0,1418
290	0,1171	650	0,1384	1010	0,1543	1370	0,1409
300	0,1170	660	0,1391	1020	0,1551	1380	0,1401
310	0,1181	670	0,1397	1030	0,1559	1390	0,1394
320	0,1186	680	0,1395	1040	0,1565	1400	0,1385
330	0,1196	690	0,1399	1050	0,1569	1410	0,1374
340	0,1204	700	0,1408	1060	0,1573	1420	0,1365
350	0,1213	710	0,1413	1070	0,1572	1430	0,1358
360	0,1217	720	0,1412	1080	0,1575	1440	0,1352

Tabla 44. Datos curva de carga subestación Mocolí.

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Lagos del Batán

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
10	0,4417	370	0,3713	730	0,5188	1090	0,4962
20	0,4380	380	0,3633	740	0,5232	1100	0,5043
30	0,4321	390	0,3458	750	0,5272	1110	0,5342
40	0,4276	400	0,3145	760	0,5270	1120	0,5664
50	0,4248	410	0,3044	770	0,5334	1130	0,5778
60	0,4209	420	0,3057	780	0,5334	1140	0,5890
70	0,4191	430	0,3077	790	0,5370	1150	0,5863
80	0,4165	440	0,3074	800	0,5413	1160	0,5860
90	0,4116	450	0,3058	810	0,5472	1170	0,5841
100	0,4025	460	0,3089	820	0,5510	1180	0,5838
110	0,3900	470	0,3100	830	0,5498	1190	0,5825
120	0,3751	480	0,3145	840	0,5528	1200	0,5804
130	0,3592	490	0,3213	850	0,5530	1210	0,5854
140	0,3407	500	0,3306	860	0,5527	1220	0,5860
150	0,3340	510	0,3379	870	0,5537	1230	0,5892
160	0,3330	520	0,3430	880	0,5526	1240	0,5940
170	0,3340	530	0,3477	890	0,5571	1250	0,5976
180	0,3365	540	0,3538	900	0,5573	1260	0,6021
190	0,3435	550	0,3675	910	0,5633	1270	0,6098
200	0,3491	560	0,3787	920	0,5601	1280	0,6165
210	0,3606	570	0,3865	930	0,5604	1290	0,6197
220	0,3663	580	0,3953	940	0,5570	1300	0,6247
230	0,3797	590	0,4003	950	0,5579	1310	0,6286
240	0,3937	600	0,4088	960	0,5578	1320	0,6238
250	0,4015	610	0,4163	970	0,5565	1330	0,6254
260	0,4109	620	0,4211	980	0,5575	1340	0,6220
270	0,4245	630	0,4309	990	0,5543	1350	0,6175
280	0,4398	640	0,4371	1000	0,5507	1360	0,6186
290	0,4550	650	0,4446	1010	0,5444	1370	0,6210
300	0,3917	660	0,4538	1020	0,5358	1380	0,6209
310	0,3869	670	0,4678	1030	0,5306	1390	0,6190
320	0,3858	680	0,4802	1040	0,5288	1400	0,6104
330	0,3847	690	0,4916	1050	0,5230	1410	0,6098
340	0,3805	700	0,4962	1060	0,5155	1420	0,6011
350	0,3761	710	0,5052	1070	0,5070	1430	0,5943
360	0,3735	720	0,5132	1080	0,4947	1440	0,5861

Tabla 45. Datos curva de carga subestación Lagos del Batán.

Datos de carga promedio del mes de abril para la subestación Ciudad Celeste

Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU	Tiempo (Min)	Demand a PU
15	0,2858	375	0,2306	735	0,2127	1095	0,2739
30	0,2906	390	0,2302	750	0,2161	1110	0,2763
45	0,2953	405	0,2289	765	0,2196	1125	0,2761
60	0,2939	420	0,2279	780	0,2225	1140	0,2753
75	0,2921	435	0,2264	795	0,2252	1155	0,2739
90	0,2902	450	0,2245	810	0,2276	1170	0,2718
105	0,2877	465	0,2225	825	0,2295	1185	0,2706
120	0,2845	480	0,2202	840	0,2313	1200	0,2703
135	0,2813	495	0,2197	855	0,2335	1215	0,2695
150	0,2865	510	0,2168	870	0,2353	1230	0,2689
165	0,2824	525	0,2093	885	0,2364	1245	0,2689
180	0,2779	540	0,2140	900	0,2374	1260	0,2695
195	0,2734	555	0,2138	915	0,2385	1275	0,2719
210	0,2682	570	0,2096	930	0,2412	1290	0,2728
225	0,2623	585	0,2048	945	0,2439	1305	0,2738
240	0,2575	600	0,2013	960	0,2474	1320	0,2750
255	0,2530	615	0,1998	975	0,2518	1335	0,2766
270	0,2483	630	0,2005	990	0,2559	1350	0,2781
285	0,2453	645	0,1997	1005	0,2576	1365	0,2802
300	0,2429	660	0,2008	1020	0,2582	1380	0,2818
315	0,2405	675	0,2029	1035	0,2648	1395	0,2835
330	0,2385	690	0,2048	1050	0,2667	1410	0,2841
345	0,2369	705	0,2072	1065	0,2636	1425	0,2854
360	0,2331	720	0,2104	1080	0,2659	1440	0,2849

Tabla 46. Datos curva de carga subestación Ciudad Celeste.

Anexo 2

Código en Matlab para hallar la temperatura del punto más caliente del devanado y el factor de envejecimiento en un transformador.

```
%Materia Integradora Ingeniería en Electricidad ESPOL 2017
%Temperatura del punto más calientes a partir de la cargabilidad
%Diego Maldonado - Miguel Parra

disp('1. Subestación Puntilla Los Arcos ');
disp('2. Subestación Tenis Club A ');
disp('3. Subestación Tenis Club B ');
disp('4. Subestación Manglero ');
disp('5. Subestación Mocoli ');
disp('6. Subestación Lagos del Batán ');
disp('7. Subestación Ciudad Celeste ');
opcion= input('Ingrese la opcion ');

if opcion>7
    disp('Ingrese la opcion: ');
end

Datos=xlsread('Transformadores');

switch opcion
    case 1
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'LosArcos');
        Wnucleo=Datos(5,1);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,1);     %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,1);     %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,1);     %Pérdidas del transformador a corriente
        nominal
        titulo='Subestación Puntilla Los Arcos';
    end

    case 2
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'TenisA');
        Wnucleo=Datos(5,2);     %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,2);     %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,2);     %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,2);     %Pérdidas del transformador a corriente
        nominal
        titulo='Subestación Tenis Club A';
    end

    case 3
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'TenisB');
        Wnucleo=Datos(5,3);     %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,3);     %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,3);     %Volumen de aceite en litros
```



```

        Plosses=Datos(8,3);      %Pérdidas del transformador a corriente
nominal
        titulo='Subestación Tenis Club B';
end

switch opcion
    case 4
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'Manglero');
        Wnucleo=Datos(5,4);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,4);      %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,4);      %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,4);      %Pérdidas del transformador a corriente
nominal
        titulo='Subestación Manglero';
end

switch opcion
    case 5
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'Mocoli');
        Wnucleo=Datos(5,5);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,5);      %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,5);      %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,5);      %Pérdidas del transformador a corriente
nominal
        titulo='Subestación Mocoli';
end

switch opcion
    case 6
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'Batan');
        Wnucleo=Datos(5,6);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,6);      %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,6);      %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,6);      %Pérdidas del transformador a corriente
nominal
        titulo='Subestación Lagos del Batan';
end

switch opcion
    case 7
        Load=xlsread('CurvaDeCarga.xlsx', 'CC');
        Wnucleo=Datos(5,7);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,7);      %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,7);      %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,7);      %Pérdidas del transformador a corriente
nominal
        titulo='Subestación Ciudad Celeste';
end

[M,N]=size(Load);
t=1440/(M*60);      %Duration of load in hours
Oft=55;      %Top oil rise over ambient temperature at rated load

```

```

Ogft=25;           %Hottest spot conductor rise over top oil at rated
load
R=3.2;            %Ratio of load loss at rated load to no load loss
n=0.8;           %Exponential power of total loss versus top oil
temperature rise above ambient
m=0.8;           %Exponential power of winding loss versus winding
temperature rise above oil
a=0;
b=1;

%Capacidad térmica del aceite
C=(0.1323*Wnucleo)+(0.0882*Wtanque)+(0.3513*Vaceite);
Tr=(C*Oft)/Plosses;

%Hallamos el K inicial como un promedio de las 6 cargas anteriores
for i=M-6:M-1
    a=a+(Load(i,2))^2;
end
K=(a/6)^(1/2);
Ou=Oft*((R*K^2)+1)/(R+1)^n;
A=Ou;
Load(1,3)=A;
Oo=Ou;

for j=1:2
    b=b+1;
    Load(1,j+b)=A;
    Og=28.6*(K^(2*m));
    Load(1,j+b+1)=30+Og+Oo;
    for i=2:M
        K=Load(i-1,2);
        Oi=Load(i-1,j+b);
        Ou=Oft*((R*K^2)+1)/(R+1)^n;
        Oo=(Ou*(1-2.7182^(-t/Tr)))+Oi*(2.7182^(-t/Tr));
        Og=28.6*(K^(2*m));
        Load(i,j+b)=Oo;
        Load(i,j+b+1)=30+Og+Oo;
    end
    A=Load(M,j+b);
end

x=Load(:,1);
y=Load(:,2);
z=Load(:,6);
[ax,h1,h2]=plotyy(x,y,x,z);
xlim([0,1440])
grid
xlabel('Minutos')
set(get(ax(1),'YLabel'),'String','Carga en PU')
set(get(ax(2),'YLabel'),'String','Temperatura del punto más
caliente')
title(titulo)

```

```

%Materia Integradora Ingenieria en Electricidad ESPOL 2017
%Proyección de la Temperatura Hot Spot y porcentaje de envejecimiento
%Diego Maldonado - Miguel Parra

```

```

disp('1. Subestación Manglero ');
disp('2. Subestación Mocoli ');
opcion= input('Ingrese la opcion ');

```

```

if opcion>2
    disp('Ingrese la opcion: ');
end
Datos=xlsread('Transformadores');

```

```

switch opcion
    case 1
        Load1=xlsread('ProyeccionCarga.xlsx', 'Manglero');
        Wnucleo=Datos(5,4);      %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,4);     %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,4);     %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,4);     %Pérdidas del transformador a corriente
        nominal
        titulo='Subestación Manglero';
    end

```

```

switch opcion
    case 2
        Load1=xlsread('ProyeccionCarga.xlsx', 'Mocoli');
        Wnucleo=Datos(5,5);     %Peso del núcleo y bobinas en kg
        Wtanque=Datos(6,5);     %Peso del tanque en kg
        Vaceite=Datos(7,5);     %Volumen de aceite en litros
        Plosses=Datos(8,5);     %Pérdidas del transformador a corriente
        nominal
        titulo='Subestación Mocoli';
    end

```

```

[MM,NN]=size(Load1);
t=1440/(MM*60); %Duration of load in hours
Oft=55;        %Top oil rise over ambient temperature at rated load
Ogft=25;      %Hottest spot conductor rise over top oil at rated
load
R=3.2;        %Ratio of load loss at rated load to no load loss
n=0.8;        %Exponential power of total loss versus top oil
temperature rise above ambient
m=0.8;        %Exponential power of winding loss versus winding
temperature rise above oil
a=0;
n=1;

```

```

%Capacidad térmica del aceite
C=(0.1323*Wnucleo)+(0.0882*Wtanque)+(0.3513*Vaceite);
Tr=(C*Oft)/Plosses;

```

```

%Hallamos el K inicial como un promedio de las 6 cargas anteriores

for p=2:NN
    Load(:,1)=Load1(:,1);
    Load(:,2)=Load1(:,p);
    [M,N]=size(Load);
    a=0;
    n=1;
for i=M-6:M-1
    a=a+(Load(i,2))^2;
end
K=(a/6)^(1/2);
Ou=Oft*((R*K^2)+1)/(R+1)^n;
A=Ou;
Load(1,3)=A;
Oo=Ou;
for j=1:2
    n=n+1;
    Load(1,j+n)=A;
    Og=28.6*(K^(2*m));
    Load(1,j+n+1)=30+Og+Oo;
    for i=2:M
        K=Load(i-1,2);
        Oi=Load(i-1,j+n);
        Ou=Oft*((R*K^2)+1)/(R+1)^n;
        Oo=(Ou*(1-2.7182^(-t/Tr)))+Oi*(2.7182^(-t/Tr));
        Og=28.6*(K^(2*m));
        Load(i,j+n)=Oo;
        Load(i,j+n+1)=30+Og+Oo;
    end
    A=Load(M,j+n);
end
B(:,p-1)=Load(:,6);
end

[mm,nn]=size(B);
A=350000000;
for i=1:nn
    for j=1:mm
        C(j,i)=(t*exp((15000/383)-(15000/(B(j,i)+273))));
        D(j,i)=((1/1000)-(1/200))*A*(2.7182^(-13350/(B(j,i)+273)));
        Env(j,i)=C(j,i)+D(j,i);
    end
end
end

```

Anexo 3

Matriz de envejecimiento en base a la cargabilidad y a la humedad del transformador.

		Humedad del aceite					
		Dry	1%	1,50%	2%	3%	4%
Temperatura del punto más caliente debido a la cargabilidad	40	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200
	41	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200
	42	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200
	43	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200	0,000200
	44	0,000300	0,000300	0,000300	0,000300	0,000300	0,000300
	45	0,000300	0,000300	0,000300	0,000300	0,000300	0,000301
	46	0,000400	0,000400	0,000400	0,000400	0,000400	0,000401
	47	0,000400	0,000400	0,000400	0,000400	0,000400	0,000401
	48	0,000500	0,000500	0,000500	0,000500	0,000500	0,000501
	49	0,000600	0,000600	0,000600	0,000600	0,000601	0,000601
	50	0,000700	0,000700	0,000700	0,000700	0,000701	0,000701
	51	0,000800	0,000800	0,000800	0,000800	0,000801	0,000801
	52	0,000900	0,000900	0,000900	0,000900	0,000901	0,000901
	53	0,001100	0,001100	0,001100	0,001100	0,001101	0,001101
	54	0,001200	0,001200	0,001200	0,001200	0,001201	0,001202
	55	0,001400	0,001400	0,001400	0,001400	0,001401	0,001402
	56	0,001600	0,001600	0,001600	0,001600	0,001601	0,001602
	57	0,001900	0,001900	0,001900	0,001901	0,001901	0,001902
	58	0,002100	0,002100	0,002100	0,002101	0,002102	0,002103
	59	0,002400	0,002400	0,002401	0,002401	0,002402	0,002403
	60	0,002800	0,002800	0,002801	0,002801	0,002802	0,002804
	61	0,003200	0,003200	0,003201	0,003201	0,003202	0,003204
	62	0,003700	0,003700	0,003701	0,003701	0,003703	0,003705
	63	0,004200	0,004200	0,004201	0,004201	0,004203	0,004205
	64	0,004800	0,004801	0,004801	0,004801	0,004803	0,004806
	65	0,005400	0,005401	0,005401	0,005401	0,005404	0,005406
	66	0,006200	0,006201	0,006201	0,006202	0,006204	0,006207
	67	0,007100	0,007101	0,007101	0,007102	0,007105	0,007108
	68	0,008000	0,008001	0,008002	0,008002	0,008005	0,008009
	69	0,009100	0,009101	0,009102	0,009102	0,009106	0,009110
	70	0,010400	0,010401	0,010402	0,010402	0,010406	0,010411

		Humedad del aceite					
		Dry	1%	1,50%	2%	3%	4%
Temperatura del punto más caliente debido a la cargabilidad	71	0,011800	0,011801	0,011802	0,011803	0,011807	0,011813
	72	0,013400	0,013401	0,013402	0,013403	0,013408	0,013414
	73	0,015200	0,015202	0,015203	0,015203	0,015209	0,015216
	74	0,017201	0,017202	0,017203	0,017204	0,017210	0,017218
	75	0,019501	0,019502	0,019503	0,019504	0,019511	0,019520
	76	0,022001	0,022002	0,022004	0,022005	0,022012	0,022022
	77	0,024901	0,024902	0,024904	0,024905	0,024914	0,024925
	78	0,028101	0,028103	0,028105	0,028106	0,028115	0,028128
	79	0,031801	0,031803	0,031805	0,031807	0,031817	0,031831
	80	0,035801	0,035803	0,035806	0,035807	0,035819	0,035834
	81	0,040401	0,040404	0,040407	0,040408	0,040421	0,040438
	82	0,045501	0,045504	0,045507	0,045509	0,045524	0,045542
	83	0,051301	0,051305	0,051308	0,051310	0,051326	0,051347
	84	0,057702	0,057705	0,057709	0,057711	0,057729	0,057752
	85	0,064902	0,064906	0,064910	0,064912	0,064932	0,064958
	86	0,072902	0,072906	0,072911	0,072914	0,072936	0,072965
	87	0,081902	0,081907	0,081912	0,081915	0,081940	0,081972
	88	0,091902	0,091908	0,091914	0,091917	0,091944	0,091979
	89	0,103103	0,103108	0,103115	0,103119	0,103149	0,103188
	90	0,115603	0,115609	0,115617	0,115621	0,115654	0,115697
	91	0,129503	0,129510	0,129518	0,129523	0,129560	0,129608
	92	0,144903	0,144911	0,144920	0,144925	0,144966	0,145019
	93	0,162204	0,162213	0,162223	0,162228	0,162273	0,162332
	94	0,181304	0,181314	0,181325	0,181331	0,181381	0,181445
	95	0,202605	0,202615	0,202628	0,202634	0,202689	0,202760
	96	0,226305	0,226317	0,226330	0,226338	0,226399	0,226477
	97	0,252606	0,252619	0,252634	0,252642	0,252709	0,252795
	98	0,281706	0,281721	0,281737	0,281746	0,281820	0,281915
	99	0,314107	0,314123	0,314141	0,314151	0,314232	0,314337
	100	0,349908	0,349925	0,349945	0,349956	0,350045	0,350161
	101	0,389708	0,389728	0,389749	0,389761	0,389860	0,389987

		Humedad del aceite					
		Dry	1%	1,50%	2%	3%	4%
Temperatura del punto más caliente debido a la cargabilidad	102	0,433709	0,433730	0,433754	0,433767	0,433876	0,434016
	103	0,482310	0,482333	0,482360	0,482374	0,482493	0,482647
	104	0,536211	0,536237	0,536266	0,536282	0,536413	0,536581
	105	0,595712	0,595740	0,595772	0,595790	0,595933	0,596119
	106	0,661413	0,661444	0,661479	0,661498	0,661656	0,661860
	107	0,734015	0,734048	0,734087	0,734108	0,734281	0,734504
	108	0,814216	0,814253	0,814295	0,814318	0,814508	0,814753
	109	0,902618	0,902658	0,902704	0,902730	0,902938	0,903206
	110	1,000019	1,000064	1,000114	1,000142	1,000370	1,000664
	111	1,107421	1,107470	1,107525	1,107555	1,107805	1,108127
	112	1,225623	1,225676	1,225737	1,225770	1,226044	1,226396
	113	1,355826	1,355884	1,355950	1,355986	1,356285	1,356671
	114	1,499028	1,499091	1,499164	1,499203	1,499531	1,499952
	115	1,656531	1,656600	1,656679	1,656722	1,657080	1,657541
	116	1,829633	1,829709	1,829795	1,829843	1,830234	1,830737
	117	2,019736	2,019819	2,019913	2,019965	2,020392	2,020942
	118	2,228540	2,228630	2,228733	2,228790	2,229255	2,229855
119	2,457643	2,457742	2,457854	2,457916	2,458424	2,459079	
120	2,708947	2,709055	2,709177	2,709245	2,709799	2,710512	

Tabla 47. Matriz de envejecimiento total.

Anexo 4

Datos de generación solar fotovoltaica en el cantón Samborondón obtenidos mediante simulación usando el software PVsyst. Los valores presentados en la Tablas 47 y 48 se encuentran en KWH y representan la generación fotovoltaica en un día promedio de cada mes.

Simulación con nueve paneles fotovoltaicos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,14	0,14	0,22	0,24	0,38	0,34	0,29	0,29	0,31	0,29	0,26	0,16
8:00	0,44	0,51	0,67	0,61	0,81	0,76	0,70	0,71	0,72	0,63	0,65	0,53
9:00	0,80	0,92	1,08	0,92	1,19	1,11	1,03	1,13	1,07	0,92	1,01	0,91
10:00	1,09	1,24	1,39	1,17	1,50	1,40	1,27	1,41	1,40	1,12	1,24	1,21
11:00	1,17	1,43	1,55	1,25	1,55	1,56	1,44	1,58	1,53	1,21	1,31	1,27
12:00	1,27	1,50	1,56	1,30	1,62	1,67	1,48	1,62	1,61	1,28	1,33	1,31
13:00	1,24	1,50	1,51	1,24	1,57	1,54	1,43	1,48	1,56	1,34	1,29	1,20
14:00	1,10	1,38	1,39	1,11	1,40	1,46	1,30	1,32	1,37	1,30	1,14	1,03
15:00	0,87	1,12	1,17	0,91	1,12	1,17	1,05	1,09	1,11	0,98	0,85	0,77
16:00	0,56	0,76	0,82	0,62	0,79	0,83	0,73	0,76	0,74	0,58	0,51	0,45
17:00	0,23	0,35	0,38	0,26	0,36	0,38	0,35	0,35	0,33	0,19	0,12	0,13
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 48. Datos de generación fotovoltaica usando nueve paneles solares.

Simulación con seis paneles fotovoltaicos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,11	0,11	0,15	0,18	0,19	0,16	0,14	0,15	0,19	0,20	0,22	0,16
8:00	0,32	0,34	0,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,38	0,41	0,38	0,44	0,40
9:00	0,52	0,56	0,61	0,66	0,61	0,56	0,52	0,59	0,59	0,53	0,61	0,59
10:00	0,66	0,71	0,76	0,82	0,76	0,69	0,64	0,72	0,75	0,62	0,72	0,73
11:00	0,67	0,80	0,82	0,85	0,77	0,76	0,71	0,80	0,80	0,65	0,73	0,74
12:00	0,71	0,81	0,81	0,87	0,79	0,81	0,72	0,80	0,82	0,67	0,72	0,74
13:00	0,68	0,80	0,77	0,81	0,75	0,72	0,68	0,72	0,78	0,69	0,69	0,66
14:00	0,58	0,71	0,69	0,71	0,65	0,67	0,60	0,62	0,67	0,65	0,60	0,55
15:00	0,45	0,57	0,56	0,56	0,49	0,50	0,46	0,49	0,52	0,47	0,43	0,40
16:00	0,28	0,37	0,36	0,35	0,31	0,32	0,29	0,31	0,31	0,25	0,24	0,22
17:00	0,10	0,14	0,14	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,05	0,04	0,05
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 49. Datos de generación fotovoltaica usando seis paneles solares.

Anexo 5

Datos de curva de carga por abonado de la subestación Manglero usando diferentes opciones de sistemas fotovoltaicos.

Caso 1. Seis paneles solares con un inversor de 0,60 KW.

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,49
20	0	0	0	0	0	0	2,47
30	0	0	0	0	0	0	2,45
40	0	0	0	0	0	0	2,46
50	0	0	0	0	0	0	2,44
60	0	0	0	0	0	0	2,41
70	0	0	0	0	0	0	2,39
80	0	0	0	0	0	0	2,37
90	0	0	0	0	0	0	2,36
100	0	0	0	0	0	0	2,34
110	0	0	0	0	0	0	2,32
120	0	0	0	0	0	0	2,29
130	0	0	0	0	0	0	2,26
140	0	0	0	0	0	0	2,24
150	0	0	0	0	0	0	2,22
160	0	0	0	0	0	0	2,20
170	0	0	0	0	0	0	2,18
180	0	0	0	0	0	0	2,16
190	0	0	0	0	0	0	2,15
200	0	0	0	0	0	0	2,14
210	0	0	0	0	0	0	2,13
220	0	0	0	0	0	0	2,12
230	0	0	0	0	0	0	2,12
240	0	0	0	0	0	0	2,15
250	0	0	0	0	0	0	2,15
260	0	0	0	0	0	0	2,11
270	0	0	0	0	0	0	2,12
280	0	0	0	0	0	0	2,12
290	0	0	0	0	0	0	2,14
300	0	0	0	0	0	0	2,12
310	0	0	0	0	0	0	2,13
320	0	0	0	0	0	0	2,14
330	0	0	0	0	0	0	2,16

340	0	0	0	0	0	0	2,17
350	0	0	0	0	0	0	2,19
360	0	0	0	0	0	0	2,20
370	0	0	0	0	0	0	2,21
380	0	0	0	0	0	0	2,23
390	0	0	0	0	0	0	2,25
400	0	0	0	0	0	0	2,27
410	0	0	0	0	0	0	2,30
420	0,03	0	0,03	0	0	0	2,33
430	0,03	0	0,03	0	0	0	2,36
440	0,03	0	0,03	0	0	0	2,39
450	0,03	0	0,03	0	0	0	2,42
460	0,03	0	0,03	0	0	0	2,45
470	0,03	0	0,03	0	0	0	2,48
480	0,08	0	0,08	0	0	0	2,50
490	0,08	0	0,08	0	0	0	2,53
500	0,08	0	0,08	0	0	0	2,55
510	0,08	0	0,08	0	0	0	2,57
520	0,08	0	0,08	0	0	0	2,59
530	0,08	0	0,08	0	0	0	2,62
540	0,11	0	0,11	0	0	0	2,64
550	0,11	0	0,11	0	0	0	2,66
560	0,11	0	0,11	0	0	0	2,69
570	0,11	0	0,11	0	0	0	2,71
580	0,11	0	0,11	0	0	0	2,73
590	0,11	0	0,11	0	0	0	2,76
600	0,14	0	0,14	0	0	0	2,78
610	0,14	0	0,14	0	0	0	2,79
620	0,14	0	0,14	0	0	0	2,81
630	0,14	0	0,14	0	0	0	2,82
640	0,14	0	0,14	0	0	0	2,83
650	0,14	0	0,14	0	0	0	2,85
660	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,27
670	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,29
680	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,31
690	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,33
700	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,31
710	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,30
720	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,30
730	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,30
740	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,30
750	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,29
760	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,29
770	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	2,29
780	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,28
790	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,32

800	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,28
810	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,27
820	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,27
830	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	2,27
840	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,28
850	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,28
860	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,29
870	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,30
880	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,30
890	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	2,33
900	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,36
910	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,36
920	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,37
930	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,37
940	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,38
950	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	2,39
960	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,39
970	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,39
980	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,39
990	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,40
1000	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,40
1010	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	2,41
1020	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,42
1030	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,42
1040	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,43
1050	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,44
1060	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,46
1070	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,47
1080	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,49
1090	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,50
1100	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,51
1110	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,51
1120	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,53
1130	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,53
1140	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,53
1150	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,53
1160	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,52
1170	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,50
1180	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,49
1190	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,47
1200	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,46
1210	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,44
1220	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,42
1230	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,40
1240	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,37
1250	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,31

1260	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,30
1270	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,28
1280	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,27
1290	0	0	0	0,00	0	0	2,84
1300	0	0	0	0,00	0	0	2,81
1310	0	0	0	0,00	0	0	2,79
1320	0	0	0	0,00	0	0	2,77
1330	0	0	0	0,00	0	0	2,75
1340	0	0	0	0,00	0	0	2,73
1350	0	0	0	0,00	0	0	2,71
1360	0	0	0	0,00	0	0	2,68
1370	0	0	0	0,00	0	0	2,66
1380	0	0	0	0,00	0	0	2,64
1390	0	0	0	0,00	0	0	2,62
1400	0	0	0	0,00	0	0	2,59
1410	0	0	0	0,00	0	0	2,57
1420	0	0	0	0,00	0	0	2,54
1430	0	0	0	0,00	0	0	2,52
1440	0	0	0	0,00	0	0	2,49
TOTAL			2,95	2,88			

Tabla 50. Opción Manglero seis paneles e inversor 0,6 KW.

Caso 2. Seis paneles solares con un inversor de 1 KW

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,49
20	0	0	0	0	0	0	2,47
30	0	0	0	0	0	0	2,45
40	0	0	0	0	0	0	2,46
50	0	0	0	0	0	0	2,44
60	0	0	0	0	0	0	2,41
70	0	0	0	0	0	0	2,39
80	0	0	0	0	0	0	2,37
90	0	0	0	0	0	0	2,36
100	0	0	0	0	0	0	2,34
110	0	0	0	0	0	0	2,32
120	0	0	0	0	0	0	2,29
130	0	0	0	0	0	0	2,26
140	0	0	0	0	0	0	2,24
150	0	0	0	0	0	0	2,22
160	0	0	0	0	0	0	2,20

170	0	0	0	0	0	0	2,18
180	0	0	0	0	0	0	2,16
190	0	0	0	0	0	0	2,15
200	0	0	0	0	0	0	2,14
210	0	0	0	0	0	0	2,13
220	0	0	0	0	0	0	2,12
230	0	0	0	0	0	0	2,12
240	0	0	0	0	0	0	2,15
250	0	0	0	0	0	0	2,15
260	0	0	0	0	0	0	2,11
270	0	0	0	0	0	0	2,12
280	0	0	0	0	0	0	2,12
290	0	0	0	0	0	0	2,14
300	0	0	0	0	0	0	2,12
310	0	0	0	0	0	0	2,13
320	0	0	0	0	0	0	2,14
330	0	0	0	0	0	0	2,16
340	0	0	0	0	0	0	2,17
350	0	0	0	0	0	0	2,19
360	0	0	0	0	0	0	2,20
370	0	0	0	0	0	0	2,21
380	0	0	0	0	0	0	2,23
390	0	0	0	0	0	0	2,25
400	0	0	0	0	0	0	2,27
410	0	0	0	0	0	0	2,30
420	0,03	0	0,03	0	0	0	2,33
430	0,03	0	0,03	0	0	0	2,36
440	0,03	0	0,03	0	0	0	2,39
450	0,03	0	0,03	0	0	0	2,42
460	0,03	0	0,03	0	0	0	2,45
470	0,03	0	0,03	0	0	0	2,48
480	0,08	0	0,08	0	0	0	2,50
490	0,08	0	0,08	0	0	0	2,53
500	0,08	0	0,08	0	0	0	2,55
510	0,08	0	0,08	0	0	0	2,57
520	0,08	0	0,08	0	0	0	2,59
530	0,08	0	0,08	0	0	0	2,62
540	0,11	0	0,11	0	0	0	2,64
550	0,11	0	0,11	0	0	0	2,66
560	0,11	0	0,11	0	0	0	2,69
570	0,11	0	0,11	0	0	0	2,71
580	0,11	0	0,11	0	0	0	2,73
590	0,11	0	0,11	0	0	0	2,76
600	0,14	0	0,14	0	0	0	2,78
610	0,14	0	0,14	0	0	0	2,79
620	0,14	0	0,14	0	0	0	2,81

630	0,14	0	0,14	0	0	0	2,82
640	0,14	0	0,14	0	0	0	2,83
650	0,14	0	0,14	0	0	0	2,85
660	0,14	0	0,14	0	0	0	2,87
670	0,14	0	0,14	0	0	0	2,89
680	0,14	0	0,14	0	0	0	2,91
690	0,14	0	0,14	0	0	0	2,93
700	0,14	0	0,14	0	0	0	2,91
710	0,14	0	0,14	0	0	0	2,90
720	0,15	0	0,15	0	0	0	2,90
730	0,15	0	0,15	0	0	0	2,90
740	0,15	0	0,15	0	0	0	2,90
750	0,15	0	0,15	0	0	0	2,89
760	0,15	0	0,15	0	0	0	2,89
770	0,15	0	0,15	0	0	0	2,89
780	0,14	0	0,14	0	0	0	2,88
790	0,14	0	0,14	0	0	0	2,92
800	0,14	0	0,14	0	0	0	2,88
810	0,14	0	0,14	0	0	0	2,87
820	0,14	0	0,14	0	0	0	2,87
830	0,14	0	0,14	0	0	0	2,87
840	0,12	0	0,12	0	0	0	2,88
850	0,12	0	0,12	0	0	0	2,88
860	0,12	0	0,12	0	0	0	2,89
870	0,12	0	0,12	0	0	0	2,90
880	0,12	0	0,12	0	0	0	2,90
890	0,12	0	0,12	0	0	0	2,93
900	0,09	0	0,09	0	0	0	2,96
910	0,09	0	0,09	0	0	0	2,96
920	0,09	0,09	0	0,07	0,17	1	1,97
930	0,09	0,09	0	0,07	0,17	1	1,97
940	0,09	0,09	0	0,07	0,17	1	1,98
950	0,09	0,09	0	0,07	0,17	1	1,99
960	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	1,99
970	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	1,99
980	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	1,99
990	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	2,00
1000	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	2,00
1010	0,06	0,06	0	0,11	0,17	1	2,01
1020	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,02
1030	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,02
1040	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,03
1050	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,04
1060	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,06
1070	0,02	0,02	0	0,15	0,17	1	2,07
1080	0	0	0	0,17	0,17	1	2,09

1090	0	0	0	0,17	0,17	1	2,10
1100	0	0	0	0,17	0,17	1	2,11
1110	0	0	0	0,17	0,17	1	2,11
1120	0	0	0	0,17	0,17	1	2,13
1130	0	0	0	0,17	0,17	1	2,13
1140	0	0	0	0,17	0,17	1	2,13
1150	0	0	0	0,17	0,17	1	2,13
1160	0	0	0	0,17	0,17	1	2,12
1170	0	0	0	0,17	0,17	1	2,10
1180	0	0	0	0,17	0,17	1	2,09
1190	0	0	0	0,17	0,17	1	2,07
1200	0	0	0	0,17	0,17	1	2,06
1210	0	0	0	0,17	0,17	1	2,04
1220	0	0	0	0,17	0,17	1	2,02
1230	0	0	0	0,17	0,17	1	2,00
1240	0	0	0	0,17	0,17	1	1,97
1250	0	0	0	0,17	0,17	1	1,91
1260	0	0	0	0,17	0,17	1	1,90
1270	0	0	0	0,17	0,17	1	1,88
1280	0	0	0	0,17	0,17	1	1,87
1290	0	0	0	0,17	0,17	1	1,84
1300	0	0	0	0	0	0	2,81
1310	0	0	0	0	0	0	2,79
1320	0	0	0	0	0	0	2,77
1330	0	0	0	0	0	0	2,75
1340	0	0	0	0	0	0	2,73
1350	0	0	0	0	0	0	2,71
1360	0	0	0	0	0	0	2,68
1370	0	0	0	0	0	0	2,66
1380	0	0	0	0	0	0	2,64
1390	0	0	0	0	0	0	2,62
1400	0	0	0	0	0	0	2,59
1410	0	0	0	0	0	0	2,57
1420	0	0	0	0	0	0	2,54
1430	0	0	0	0	0	0	2,52
1440	0	0	0	0	0	0	2,49
TOTAL			5,54	5,50			

Tabla 51. Opción Manglero seis paneles e inversor 1 KW.

Caso 3. Nueve paneles solares con un inversor de 0,75 KW

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,49
20	0	0	0	0	0	0	2,47
30	0	0	0	0	0	0	2,45
40	0	0	0	0	0	0	2,46
50	0	0	0	0	0	0	2,44
60	0	0	0	0	0	0	2,41
70	0	0	0	0	0	0	2,39
80	0	0	0	0	0	0	2,37
90	0	0	0	0	0	0	2,36
100	0	0	0	0	0	0	2,34
110	0	0	0	0	0	0	2,32
120	0	0	0	0	0	0	2,29
130	0	0	0	0	0	0	2,26
140	0	0	0	0	0	0	2,24
150	0	0	0	0	0	0	2,22
160	0	0	0	0	0	0	2,20
170	0	0	0	0	0	0	2,18
180	0	0	0	0	0	0	2,16
190	0	0	0	0	0	0	2,15
200	0	0	0	0	0	0	2,14
210	0	0	0	0	0	0	2,13
220	0	0	0	0	0	0	2,12
230	0	0	0	0	0	0	2,12
240	0	0	0	0	0	0	2,15
250	0	0	0	0	0	0	2,15
260	0	0	0	0	0	0	2,11
270	0	0	0	0	0	0	2,12
280	0	0	0	0	0	0	2,12
290	0	0	0	0	0	0	2,14
300	0	0	0	0	0	0	2,12
310	0	0	0	0	0	0	2,13
320	0	0	0	0	0	0	2,14
330	0	0	0	0	0	0	2,16
340	0	0	0	0	0	0	2,17
350	0	0	0	0	0	0	2,19
360	0	0	0	0	0	0	2,20
370	0	0	0	0	0	0	2,21
380	0	0	0	0	0	0	2,23

390	0	0	0	0	0	0	2,25
400	0	0	0	0	0	0	2,27
410	0	0	0	0	0	0	2,30
420	0,04	0	0,04	0	0	0	2,33
430	0,04	0	0,04	0	0	0	2,36
440	0,04	0	0,04	0	0	0	2,39
450	0,04	0	0,04	0	0	0	2,42
460	0,04	0	0,04	0	0	0	2,45
470	0,04	0	0,04	0	0	0	2,48
480	0,10	0	0,10	0	0	0	2,50
490	0,10	0	0,10	0	0	0	2,53
500	0,10	0	0,10	0	0	0	2,55
510	0,10	0	0,10	0	0	0	2,57
520	0,10	0	0,10	0	0	0	2,59
530	0,10	0	0,10	0	0	0	2,62
540	0,15	0	0,15	0	0	0	2,64
550	0,15	0	0,15	0	0	0	2,66
560	0,15	0	0,15	0	0	0	2,69
570	0,15	0	0,15	0	0	0	2,71
580	0,15	0	0,15	0	0	0	2,73
590	0,15	0	0,15	0	0	0	2,76
600	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,03
610	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,04
620	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,06
630	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,07
640	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,08
650	0,20	0,13	0,07	0	0,13	0,75	2,10
660	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,12
670	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,14
680	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,16
690	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,18
700	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,16
710	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,15
720	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,15
730	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,15
740	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,15
750	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,14
760	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,14
770	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	2,14
780	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,13
790	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,17
800	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,13
810	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,12
820	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,12
830	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	2,12
840	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,13

850	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,13
860	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,14
870	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,15
880	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,15
890	0,19	0,13	0	0	0,13	0,75	2,18
900	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,21
910	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,21
920	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,22
930	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,22
940	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,23
950	0,15	0,13	0	0	0,13	0,75	2,24
960	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,24
970	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,24
980	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,24
990	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,25
1000	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,25
1010	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	2,26
1020	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,27
1030	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,27
1040	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,28
1050	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,29
1060	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,31
1070	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	2,32
1080	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,34
1090	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,35
1100	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,36
1110	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,36
1120	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,38
1130	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,38
1140	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,38
1150	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,38
1160	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,37
1170	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,35
1180	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,34
1190	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,32
1200	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,31
1210	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,29
1220	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,27
1230	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,25
1240	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,22
1250	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,16
1260	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,15
1270	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,13
1280	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,12
1290	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,09
1300	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,06

1310	0	0	0	0,13	0,13	0,75	2,04
1320	0	0	0	0	0	0	2,77
1330	0	0	0	0	0	0	2,75
1340	0	0	0	0	0	0	2,73
1350	0	0	0	0	0	0	2,71
1360	0	0	0	0	0	0	2,68
1370	0	0	0	0	0	0	2,66
1380	0	0	0	0	0	0	2,64
1390	0	0	0	0	0	0	2,62
1400	0	0	0	0	0	0	2,59
1410	0	0	0	0	0	0	2,57
1420	0	0	0	0	0	0	2,54
1430	0	0	0	0	0	0	2,52
1440	0	0	0	0	0	0	2,49
Total			3,73	3,62			

Tabla 52. Opción Manglero nueve paneles e inversor 0,75 KW.

Caso 4. Nueve paneles solares con un inversor de 1,50 KW

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,49
20	0	0	0	0	0	0	2,47
30	0	0	0	0	0	0	2,45
40	0	0	0	0	0	0	2,46
50	0	0	0	0	0	0	2,44
60	0	0	0	0	0	0	2,41
70	0	0	0	0	0	0	2,39
80	0	0	0	0	0	0	2,37
90	0	0	0	0	0	0	2,36
100	0	0	0	0	0	0	2,34
110	0	0	0	0	0	0	2,32
120	0	0	0	0	0	0	2,29
130	0	0	0	0	0	0	2,26
140	0	0	0	0	0	0	2,24
150	0	0	0	0	0	0	2,22
160	0	0	0	0	0	0	2,20
170	0	0	0	0	0	0	2,18
180	0	0	0	0	0	0	2,16
190	0	0	0	0	0	0	2,15
200	0	0	0	0	0	0	2,14
210	0	0	0	0	0	0	2,13

220	0	0	0	0	0	0	2,12
230	0	0	0	0	0	0	2,12
240	0	0	0	0	0	0	2,15
250	0	0	0	0	0	0	2,15
260	0	0	0	0	0	0	2,11
270	0	0	0	0	0	0	2,12
280	0	0	0	0	0	0	2,12
290	0	0	0	0	0	0	2,14
300	0	0	0	0	0	0	2,12
310	0	0	0	0	0	0	2,13
320	0	0	0	0	0	0	2,14
330	0	0	0	0	0	0	2,16
340	0	0	0	0	0	0	2,17
350	0	0	0	0	0	0	2,19
360	0	0	0	0	0	0	2,20
370	0	0	0	0	0	0	2,21
380	0	0	0	0	0	0	2,23
390	0	0	0	0	0	0	2,25
400	0	0	0	0	0	0	2,27
410	0	0	0	0	0	0	2,30
420	0,04	0	0,04	0	0	0	2,33
430	0,04	0	0,04	0	0	0	2,36
440	0,04	0	0,04	0	0	0	2,39
450	0,04	0	0,04	0	0	0	2,42
460	0,04	0	0,04	0	0	0	2,45
470	0,04	0	0,04	0	0	0	2,48
480	0,10	0	0,10	0	0	0	2,50
490	0,10	0	0,10	0	0	0	2,53
500	0,10	0	0,10	0	0	0	2,55
510	0,10	0	0,10	0	0	0	2,57
520	0,10	0	0,10	0	0	0	2,59
530	0,10	0	0,10	0	0	0	2,62
540	0,15	0	0,15	0	0	0	2,64
550	0,15	0	0,15	0	0	0	2,66
560	0,15	0	0,15	0	0	0	2,69
570	0,15	0	0,15	0	0	0	2,71
580	0,15	0	0,15	0	0	0	2,73
590	0,15	0	0,15	0	0	0	2,76
600	0,20	0	0,20	0	0	0	2,78
610	0,20	0	0,20	0	0	0	2,79
620	0,20	0	0,20	0	0	0	2,81
630	0,20	0	0,20	0	0	0	2,82
640	0,20	0	0,20	0	0	0	2,83
650	0,20	0	0,20	0	0	0	2,85
660	0,21	0	0,21	0	0	0	2,87
670	0,21	0	0,21	0	0	0	2,89

680	0,21	0	0,21	0	0	0	2,91
690	0,21	0	0,21	0	0	0	2,93
700	0,21	0	0,21	0	0	0	2,91
710	0,21	0	0,21	0	0	0	2,90
720	0,22	0	0,22	0	0	0	2,90
730	0,22	0	0,22	0	0	0	2,90
740	0,22	0	0,22	0	0	0	2,90
750	0,22	0	0,22	0	0	0	2,89
760	0,22	0	0,22	0	0	0	2,89
770	0,22	0	0,22	0	0	0	2,89
780	0,21	0	0,21	0	0	0	2,88
790	0,21	0	0,21	0	0	0	2,92
800	0,21	0	0,21	0	0	0	2,88
810	0,21	0	0,21	0	0	0	2,87
820	0,21	0	0,21	0	0	0	2,87
830	0,21	0	0,21	0	0	0	2,87
840	0,19	0	0,19	0	0	0	2,88
850	0,19	0	0,19	0	0	0	2,88
860	0,19	0	0,19	0	0	0	2,89
870	0,19	0	0,19	0	0	0	2,90
880	0,19	0	0,19	0	0	0	2,90
890	0,19	0,19	0	0,07	0,25	1,50	1,43
900	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,46
910	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,46
920	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,47
930	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,47
940	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,48
950	0,15	0,15	0	0,10	0,25	1,50	1,49
960	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,49
970	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,49
980	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,49
990	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,50
1000	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,50
1010	0,10	0,10	0	0,15	0,25	1,50	1,51
1020	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,52
1030	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,52
1040	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,53
1050	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,54
1060	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,56
1070	0,04	0,04	0	0,21	0,25	1,50	1,57
1080	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,59
1090	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,60
1100	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,61
1110	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,61
1120	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,63
1130	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,63

1140	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,63
1150	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,63
1160	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,62
1170	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,60
1180	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,59
1190	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,57
1200	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,56
1210	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,54
1220	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,52
1230	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,50
1240	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,47
1250	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,41
1260	0	0	0	0,25	0,25	1,50	1,40
1270	0	0	0	0	0	0	2,88
1280	0	0	0	0	0	0	2,87
1290	0	0	0	0	0	0	2,84
1300	0	0	0	0	0	0	2,81
1310	0	0	0	0	0	0	2,79
1320	0	0	0	0	0	0	2,77
1330	0	0	0	0	0	0	2,75
1340	0	0	0	0	0	0	2,73
1350	0	0	0	0	0	0	2,71
1360	0	0	0	0	0	0	2,68
1370	0	0	0	0	0	0	2,66
1380	0	0	0	0	0	0	2,64
1390	0	0	0	0	0	0	2,62
1400	0	0	0	0	0	0	2,59
1410	0	0	0	0	0	0	2,57
1420	0	0	0	0	0	0	2,54
1430	0	0	0	0	0	0	2,52
1440	0	0	0	0	0	0	2,49
Total			7,655	7,525			

Tabla 53. Opción Manglero nueve paneles e inversor 1,50 KW.

Anexo 6

Datos de curva de carga por abonado de la subestación Mocolí usando diferentes opciones de sistemas fotovoltaicos.

Caso 5. Seis paneles solares con un inversor de 0,50 KW.

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,25
20	0	0	0	0	0	0	2,23
30	0	0	0	0	0	0	2,22
40	0	0	0	0	0	0	2,21
50	0	0	0	0	0	0	2,19
60	0	0	0	0	0	0	2,18
70	0	0	0	0	0	0	2,17
80	0	0	0	0	0	0	2,15
90	0	0	0	0	0	0	2,14
100	0	0	0	0	0	0	2,12
110	0	0	0	0	0	0	2,11
120	0	0	0	0	0	0	2,08
130	0	0	0	0	0	0	2,06
140	0	0	0	0	0	0	2,04
150	0	0	0	0	0	0	2,03
160	0	0	0	0	0	0	2,01
170	0	0	0	0	0	0	2,00
180	0	0	0	0	0	0	1,99
190	0	0	0	0	0	0	1,97
200	0	0	0	0	0	0	1,96
210	0	0	0	0	0	0	1,95
220	0	0	0	0	0	0	1,95
230	0	0	0	0	0	0	1,95
240	0	0	0	0	0	0	1,95
250	0	0	0	0	0	0	1,94
260	0	0	0	0	0	0	1,94
270	0	0	0	0	0	0	1,95
280	0	0	0	0	0	0	1,95
290	0	0	0	0	0	0	1,97
300	0	0	0	0	0	0	1,97
310	0	0	0	0	0	0	1,98
320	0	0	0	0	0	0	1,99
330	0	0	0	0	0	0	2,01

340	0	0	0	0	0	0	2,02
350	0	0	0	0	0	0	2,04
360	0	0	0	0	0	0	2,04
370	0	0	0	0	0	0	2,04
380	0	0	0	0	0	0	2,04
390	0	0	0	0	0	0	2,04
400	0	0	0	0	0	0	2,03
410	0	0	0	0	0	0	2,04
420	0,03	0	0,03	0	0	0	2,06
430	0,03	0	0,03	0	0	0	2,08
440	0,03	0	0,03	0	0	0	2,10
450	0,03	0	0,03	0	0	0	2,12
460	0,03	0	0,03	0	0	0	2,13
470	0,03	0	0,03	0	0	0	2,14
480	0,08	0	0,08	0	0	0	2,16
490	0,08	0	0,08	0	0	0	2,17
500	0,08	0	0,08	0	0	0	2,18
510	0,08	0	0,08	0	0	0	2,20
520	0,08	0	0,08	0	0	0	2,20
530	0,08	0	0,08	0	0	0	2,22
540	0,11	0	0,11	0	0	0	2,22
550	0,11	0	0,11	0	0	0	2,24
560	0,11	0	0,11	0	0	0	2,26
570	0,11	0	0,11	0	0	0	2,27
580	0,11	0	0,11	0	0	0	2,28
590	0,11	0	0,11	0	0	0	2,28
600	0,14	0	0,14	0	0	0	2,29
610	0,14	0	0,14	0	0	0	2,29
620	0,14	0	0,14	0	0	0	2,30
630	0,14	0	0,14	0	0	0	2,32
640	0,14	0	0,14	0	0	0	2,33
650	0,14	0	0,14	0	0	0	2,32
660	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,84
670	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,85
680	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,84
690	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,85
700	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,87
710	0,14	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,87
720	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,87
730	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,86
740	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,86
750	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,86
760	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,86
770	0,15	0,08	0,06	0	0,08	0,50	1,85
780	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,82
790	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,82

800	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,81
810	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,81
820	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,82
830	0,14	0,08	0,05	0	0,08	0,50	1,82
840	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,83
850	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,84
860	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,86
870	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,86
880	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,88
890	0,12	0,08	0,04	0	0,08	0,50	1,91
900	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,92
910	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,92
920	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,96
930	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,96
940	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,96
950	0,09	0,08	0,01	0	0,08	0,50	1,98
960	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,00
970	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,02
980	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,04
990	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,07
1000	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,09
1010	0,06	0,06	0	0,02	0,08	0,50	2,09
1020	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,11
1030	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,12
1040	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,13
1050	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,14
1060	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,14
1070	0,02	0,02	0	0,06	0,08	0,50	2,14
1080	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,15
1090	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,16
1100	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,16
1110	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,16
1120	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,18
1130	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,21
1140	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,22
1150	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,21
1160	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,22
1170	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,21
1180	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,20
1190	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,18
1200	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,17
1210	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,16
1220	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,14
1230	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,12
1240	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,10
1250	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,09

1260	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,07
1270	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,05
1280	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,04
1290	0	0	0	0,08	0,08	0,50	2,02
1300	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,99
1310	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,98
1320	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,97
1330	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,94
1340	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,92
1350	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,91
1360	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,88
1370	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,87
1380	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,85
1390	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,84
1400	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,83
1410	0	0	0	0,08	0,08	0,50	1,81
1420	0	0	0	0	0	0	2,29
1430	0	0	0	0	0	0	2,28
1440	0	0	0	0	0	0	2,27
Total			3,4110	3,3718			

Tabla 54. Opción Mocolí seis paneles e inversor 0,50 KW.

Caso 6. Seis paneles solares con un inversor de 0,60 KW.

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,25
20	0	0	0	0	0	0	2,23
30	0	0	0	0	0	0	2,22
40	0	0	0	0	0	0	2,21
50	0	0	0	0	0	0	2,19
60	0	0	0	0	0	0	2,18
70	0	0	0	0	0	0	2,17
80	0	0	0	0	0	0	2,15
90	0	0	0	0	0	0	2,14
100	0	0	0	0	0	0	2,12
110	0	0	0	0	0	0	2,11
120	0	0	0	0	0	0	2,08
130	0	0	0	0	0	0	2,06
140	0	0	0	0	0	0	2,04

150	0	0	0	0	0	0	2,03
160	0	0	0	0	0	0	2,01
170	0	0	0	0	0	0	2,00
180	0	0	0	0	0	0	1,99
190	0	0	0	0	0	0	1,97
200	0	0	0	0	0	0	1,96
210	0	0	0	0	0	0	1,95
220	0	0	0	0	0	0	1,95
230	0	0	0	0	0	0	1,95
240	0	0	0	0	0	0	1,95
250	0	0	0	0	0	0	1,94
260	0	0	0	0	0	0	1,94
270	0	0	0	0	0	0	1,95
280	0	0	0	0	0	0	1,95
290	0	0	0	0	0	0	1,97
300	0	0	0	0	0	0	1,97
310	0	0	0	0	0	0	1,98
320	0	0	0	0	0	0	1,99
330	0	0	0	0	0	0	2,01
340	0	0	0	0	0	0	2,02
350	0	0	0	0	0	0	2,04
360	0	0	0	0	0	0	2,04
370	0	0	0	0	0	0	2,04
380	0	0	0	0	0	0	2,04
390	0	0	0	0	0	0	2,04
400	0	0	0	0	0	0	2,03
410	0	0	0	0	0	0	2,04
420	0,03	0	0,03	0	0	0	2,06
430	0,03	0	0,03	0	0	0	2,08
440	0,03	0	0,03	0	0	0	2,10
450	0,03	0	0,03	0	0	0	2,12
460	0,03	0	0,03	0	0	0	2,13
470	0,03	0	0,03	0	0	0	2,14
480	0,08	0	0,08	0	0	0	2,16
490	0,08	0	0,08	0	0	0	2,17
500	0,08	0	0,08	0	0	0	2,18
510	0,08	0	0,08	0	0	0	2,20
520	0,08	0	0,08	0	0	0	2,20
530	0,08	0	0,08	0	0	0	2,22

540	0,11	0	0,11	0	0	0	2,22
550	0,11	0	0,11	0	0	0	2,24
560	0,11	0	0,11	0	0	0	2,26
570	0,11	0	0,11	0	0	0	2,27
580	0,11	0	0,11	0	0	0	2,28
590	0,11	0	0,11	0	0	0	2,28
600	0,14	0	0,14	0	0	0	2,29
610	0,14	0	0,14	0	0	0	2,29
620	0,14	0	0,14	0	0	0	2,30
630	0,14	0	0,14	0	0	0	2,32
640	0,14	0	0,14	0	0	0	2,33
650	0,14	0	0,14	0	0	0	2,32
660	0,14	0	0,14	0	0	0	2,34
670	0,14	0	0,14	0	0	0	2,35
680	0,14	0	0,14	0	0	0	2,34
690	0,14	0	0,14	0	0	0	2,35
700	0,14	0	0,14	0	0	0	2,37
710	0,14	0	0,14	0	0	0	2,37
720	0,15	0	0,15	0	0	0	2,37
730	0,15	0	0,15	0	0	0	2,36
740	0,15	0	0,15	0	0	0	2,36
750	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	1,76
760	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	1,76
770	0,15	0,10	0,05	0	0,10	0,60	1,75
780	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,72
790	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,72
800	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,71
810	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,71
820	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,72
830	0,14	0,10	0,04	0	0,10	0,60	1,72
840	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,73
850	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,74
860	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,76
870	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,76
880	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,78
890	0,12	0,10	0,02	0	0,10	0,60	1,81
900	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,82
910	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,82
920	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,86

930	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,86
940	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,86
950	0,09	0,09	0	0,01	0,10	0,60	1,88
960	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,90
970	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,92
980	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,94
990	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,97
1000	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,99
1010	0,06	0,06	0	0,04	0,10	0,60	1,99
1020	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,01
1030	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,02
1040	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,03
1050	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,04
1060	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,04
1070	0,02	0,02	0	0,08	0,10	0,60	2,04
1080	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,05
1090	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,06
1100	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,06
1110	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,06
1120	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,08
1130	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,11
1140	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,12
1150	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,11
1160	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,12
1170	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,11
1180	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,10
1190	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,08
1200	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,07
1210	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,06
1220	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,04
1230	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,02
1240	0	0	0	0,10	0,10	0,60	2,00
1250	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,99
1260	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,97
1270	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,95
1280	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,94
1290	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,92
1300	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,89
1310	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,88

1320	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,87
1330	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,84
1340	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,82
1350	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,81
1360	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,78
1370	0	0	0	0,10	0,10	0,60	1,77
1380	0	0	0	0	0	0	2,35
1390	0	0	0	0	0	0	2,34
1400	0	0	0	0	0	0	2,33
1410	0	0	0	0	0	0	2,31
1420	0	0	0	0	0	0	2,29
1430	0	0	0	0	0	0	2,28
1440	0	0	0	0	0	0	2,27
Total			3,8500	3,7800			

Tabla 55. Opción Mocolí seis paneles e inversor 0,60 KW.

Caso 7. Nueve paneles solares con un inversor de 0,75 KW.

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,25
20	0	0	0	0	0	0	2,23
30	0	0	0	0	0	0	2,22
40	0	0	0	0	0	0	2,21
50	0	0	0	0	0	0	2,19
60	0	0	0	0	0	0	2,18
70	0	0	0	0	0	0	2,17
80	0	0	0	0	0	0	2,15
90	0	0	0	0	0	0	2,14
100	0	0	0	0	0	0	2,12
110	0	0	0	0	0	0	2,11
120	0	0	0	0	0	0	2,08
130	0	0	0	0	0	0	2,06
140	0	0	0	0	0	0	2,04
150	0	0	0	0	0	0	2,03
160	0	0	0	0	0	0	2,01
170	0	0	0	0	0	0	2,00

180	0	0	0	0	0	0	1,99
190	0	0	0	0	0	0	1,97
200	0	0	0	0	0	0	1,96
210	0	0	0	0	0	0	1,95
220	0	0	0	0	0	0	1,95
230	0	0	0	0	0	0	1,95
240	0	0	0	0	0	0	1,95
250	0	0	0	0	0	0	1,94
260	0	0	0	0	0	0	1,94
270	0	0	0	0	0	0	1,95
280	0	0	0	0	0	0	1,95
290	0	0	0	0	0	0	1,97
300	0	0	0	0	0	0	1,97
310	0	0	0	0	0	0	1,98
320	0	0	0	0	0	0	1,99
330	0	0	0	0	0	0	2,01
340	0	0	0	0	0	0	2,02
350	0	0	0	0	0	0	2,04
360	0	0	0	0	0	0	2,04
370	0	0	0	0	0	0	2,04
380	0	0	0	0	0	0	2,04
390	0	0	0	0	0	0	2,04
400	0	0	0	0	0	0	2,03
410	0	0	0	0	0	0	2,04
420	0,04	0	0,04	0	0	0	2,06
430	0,04	0	0,04	0	0	0	2,08
440	0,04	0	0,04	0	0	0	2,10
450	0,04	0	0,04	0	0	0	2,12
460	0,04	0	0,04	0	0	0	2,13
470	0,04	0	0,04	0	0	0	2,14
480	0,10	0	0,10	0	0	0	2,16
490	0,10	0	0,10	0	0	0	2,17
500	0,10	0	0,10	0	0	0	2,18
510	0,10	0	0,10	0	0	0	2,20
520	0,10	0	0,10	0	0	0	2,20
530	0,10	0	0,10	0	0	0	2,22
540	0,15	0	0,15	0	0	0	2,22
550	0,15	0	0,15	0	0	0	2,24
560	0,15	0	0,15	0	0	0	2,26

570	0,15	0	0,15	0	0	0	2,27
580	0,15	0	0,15	0	0	0	2,28
590	0,15	0	0,15	0	0	0	2,28
600	0,20	0	0,20	0	0	0	2,29
610	0,20	0	0,20	0	0	0	2,29
620	0,20	0	0,20	0	0	0	2,30
630	0,20	0	0,20	0	0	0	2,32
640	0,20	0	0,20	0	0	0	2,33
650	0,20	0	0,20	0	0	0	2,32
660	0,21	0	0,21	0	0	0	2,34
670	0,21	0	0,21	0	0	0	2,35
680	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,59
690	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,60
700	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,62
710	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,62
720	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,62
730	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,61
740	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,61
750	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,61
760	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,61
770	0,22	0,13	0,09	0	0,13	0,75	1,60
780	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,57
790	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,57
800	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,56
810	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,56
820	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,57
830	0,21	0,13	0,08	0	0,13	0,75	1,57
840	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,58
850	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,59
860	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,61
870	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,61
880	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,63
890	0,19	0,13	0,06	0	0,13	0,75	1,66
900	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,67
910	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,67
920	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,71
930	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,71
940	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,71
950	0,15	0,13	0,03	0	0,13	0,75	1,73

960	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,75
970	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,77
980	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,79
990	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,82
1000	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,84
1010	0,10	0,10	0	0,02	0,13	0,75	1,84
1020	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,86
1030	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,87
1040	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,88
1050	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,89
1060	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,89
1070	0,04	0,04	0	0,08	0,13	0,75	1,89
1080	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,90
1090	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,91
1100	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,91
1110	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,91
1120	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,93
1130	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,96
1140	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,97
1150	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,96
1160	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,97
1170	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,96
1180	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,95
1190	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,93
1200	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,92
1210	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,91
1220	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,89
1230	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,87
1240	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,85
1250	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,84
1260	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,82
1270	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,80
1280	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,79
1290	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,77
1300	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,74
1310	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,73
1320	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,72
1330	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,69
1340	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,67

1350	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,66
1360	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,63
1370	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,62
1380	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,60
1390	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,59
1400	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,58
1410	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,56
1420	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,54
1430	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,53
1440	0	0	0	0,13	0,13	0,75	1,52
Total			5,25	5,25			

Tabla 56. Opción Mocolí nueve paneles e inversor 0,75 KW.

Caso 8. Nueve paneles solares con un inversor de 1 KW

Tiempo (Min)	Generación Panel solar (KWH)	Energía del panel solar al inversor (KWH)	Carga de la batería (KWH)	Descarga de la batería (KWH)	Energía total al inversor (KWH)	Potencia del inversor (KW)	Demand a (KW)
10	0	0	0	0	0	0	2,25
20	0	0	0	0	0	0	2,23
30	0	0	0	0	0	0	2,22
40	0	0	0	0	0	0	2,21
50	0	0	0	0	0	0	2,19
60	0	0	0	0	0	0	2,18
70	0	0	0	0	0	0	2,17
80	0	0	0	0	0	0	2,15
90	0	0	0	0	0	0	2,14
100	0	0	0	0	0	0	2,12
110	0	0	0	0	0	0	2,11
120	0	0	0	0	0	0	2,08
130	0	0	0	0	0	0	2,06
140	0	0	0	0	0	0	2,04
150	0	0	0	0	0	0	2,03
160	0	0	0	0	0	0	2,01
170	0	0	0	0	0	0	2,00
180	0	0	0	0	0	0	1,99
190	0	0	0	0	0	0	1,97
200	0	0	0	0	0	0	1,96

210	0	0	0	0	0	0	1,95
220	0	0	0	0	0	0	1,95
230	0	0	0	0	0	0	1,95
240	0	0	0	0	0	0	1,95
250	0	0	0	0	0	0	1,94
260	0	0	0	0	0	0	1,94
270	0	0	0	0	0	0	1,95
280	0	0	0	0	0	0	1,95
290	0	0	0	0	0	0	1,97
300	0	0	0	0	0	0	1,97
310	0	0	0	0	0	0	1,98
320	0	0	0	0	0	0	1,99
330	0	0	0	0	0	0	2,01
340	0	0	0	0	0	0	2,02
350	0	0	0	0	0	0	2,04
360	0	0	0	0	0	0	2,04
370	0	0	0	0	0	0	2,04
380	0	0	0	0	0	0	2,04
390	0	0	0	0	0	0	2,04
400	0	0	0	0	0	0	2,03
410	0	0	0	0	0	0	2,04
420	0,04	0	0,04	0	0	0	2,06
430	0,04	0	0,04	0	0	0	2,08
440	0,04	0	0,04	0	0	0	2,10
450	0,04	0	0,04	0	0	0	2,12
460	0,04	0	0,04	0	0	0	2,13
470	0,04	0	0,04	0	0	0	2,14
480	0,10	0	0,10	0	0	0	2,16
490	0,10	0	0,10	0	0	0	2,17
500	0,10	0	0,10	0	0	0	2,18
510	0,10	0	0,10	0	0	0	2,20
520	0,10	0	0,10	0	0	0	2,20
530	0,10	0	0,10	0	0	0	2,22
540	0,15	0	0,15	0	0	0	2,22
550	0,15	0	0,15	0	0	0	2,24
560	0,15	0	0,15	0	0	0	2,26
570	0,15	0	0,15	0	0	0	2,27
580	0,15	0	0,15	0	0	0	2,28
590	0,15	0	0,15	0	0	0	2,28

600	0,20	0	0,20	0	0	0	2,29
610	0,20	0	0,20	0	0	0	2,29
620	0,20	0	0,20	0	0	0	2,30
630	0,20	0	0,20	0	0	0	2,32
640	0,20	0	0,20	0	0	0	2,33
650	0,20	0	0,20	0	0	0	2,32
660	0,21	0	0,21	0	0	0	2,34
670	0,21	0	0,21	0	0	0	2,35
680	0,21	0	0,21	0	0	0	2,34
690	0,21	0	0,21	0	0	0	2,35
700	0,21	0	0,21	0	0	0	2,37
710	0,21	0	0,21	0	0	0	2,37
720	0,22	0	0,22	0	0	0	2,37
730	0,22	0	0,22	0	0	0	2,36
740	0,22	0	0,22	0	0	0	2,36
750	0,22	0	0,22	0	0	0	2,36
760	0,22	0	0,22	0	0	0	2,36
770	0,22	0	0,22	0	0	0	2,35
780	0,21	0	0,21	0	0	0	2,32
790	0,21	0	0,21	0	0	0	2,32
800	0,21	0,17	0,04	0	0,17	1	1,31
810	0,21	0,17	0,04	0	0,17	1	1,31
820	0,21	0,17	0,04	0	0,17	1	1,32
830	0,21	0,17	0,04	0	0,17	1	1,32
840	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,33
850	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,34
860	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,36
870	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,36
880	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,38
890	0,19	0,17	0,02	0	0,17	1	1,41
900	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,42
910	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,42
920	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,46
930	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,46
940	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,46
950	0,15	0,15	0	0,02	0,17	1	1,48
960	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,50
970	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,52
980	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,54

990	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,57
1000	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,59
1010	0,10	0,10	0	0,06	0,17	1	1,59
1020	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,61
1030	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,62
1040	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,63
1050	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,64
1060	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,64
1070	0,04	0,04	0	0,12	0,17	1	1,64
1080	0	0	0	0,17	0,17	1	1,65
1090	0	0	0	0,17	0,17	1	1,66
1100	0	0	0	0,17	0,17	1	1,66
1110	0	0	0	0,17	0,17	1	1,66
1120	0	0	0	0,17	0,17	1	1,68
1130	0	0	0	0,17	0,17	1	1,71
1140	0	0	0	0,17	0,17	1	1,72
1150	0	0	0	0,17	0,17	1	1,71
1160	0	0	0	0,17	0,17	1	1,72
1170	0	0	0	0,17	0,17	1	1,71
1180	0	0	0	0,17	0,17	1	1,70
1190	0	0	0	0,17	0,17	1	1,68
1200	0	0	0	0,17	0,17	1	1,67
1210	0	0	0	0,17	0,17	1	1,66
1220	0	0	0	0,17	0,17	1	1,64
1230	0	0	0	0,17	0,17	1	1,62
1240	0	0	0	0,17	0,17	1	1,60
1250	0	0	0	0,17	0,17	1	1,59
1260	0	0	0	0,17	0,17	1	1,57
1270	0	0	0	0,17	0,17	1	1,55
1280	0	0	0	0,17	0,17	1	1,54
1290	0	0	0	0,17	0,17	1	1,52
1300	0	0	0	0,17	0,17	1	1,49
1310	0	0	0	0,17	0,17	1	1,48
1320	0	0	0	0,17	0,17	1	1,47
1330	0	0	0	0,17	0,17	1	1,44
1340	0	0	0	0,17	0,17	1	1,42
1350	0	0	0	0,17	0,17	1	1,41
1360	0	0	0	0,17	0,17	1	1,38
1370	0	0	0	0	0	0	2,37

1380	0	0	0	0	0	0	2,35
1390	0	0	0	0	0	0	2,34
1400	0	0	0	0	0	0	2,33
1410	0	0	0	0	0	0	2,31
1420	0	0	0	0	0	0	2,29
1430	0	0	0	0	0	0	2,28
1440	0	0	0	0	0	0	2,27
Total			6,17	6,04			

Tabla 57. Opción Mocolí nueve paneles e inversor 1 KW.