

Memoria de Cálculo
Integración de Sistemas Fotovoltaicos en la Plaza de
Mercado “La Concordia”

Yurbreiner Reinaldo Barajas López
Juan Andrés Velandia Cárdenas

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander

22 de enero de 2026

Índice general

1. Parte eléctrica existente	3
1.1. Registro fotográfico del sistema existente	3
2. Recolección de datos – Plaza de Mercado “La Concordia”	6
3. Definición del alcance para los usuarios	8
4. Medición de parámetros para los sistemas de interés	9
4.1. Tabla de datos recolectados	10
5. Dimensionamiento fotovoltaico de los sistemas	11
5.1. Elección de inversores y módulos fotovoltaicos	11
5.2. Compatibilidad entre equipos	13
5.2.1. Sistema 5 – 10.8 kWp	13
5.2.2. Sistema 4 – 4.4 kWp	15
5.2.3. Sistema 3 – 5.9 kWp	16
5.2.4. Sistema 2 – 4.72 kWp	17
5.2.5. Sistema 1 – 3.54 kWp	18
6. Diagrama unifilar y coordinación con la red	19
7. Selección de conductores, protecciones, regulación en AC y DC, pérdidas	20
7.1. Consulta de carga aprobada por el operador de red	20
7.2. Carga aprobada e instalada de los usuarios	21
7.3. Cálculo de regulación de tensión y pérdidas	21
7.4. Selección de protecciones y criterio de simultaneidad	22
7.5. Registro gráfico del proceso de cálculo e instalación	22
8. Simulación energética en software especializado y análisis de resultados	24
8.1. Simulación energética en PVsyst	24

8.1.1. Registro de simulación en PVsyst	25
8.2. Análisis de sombreado y disposición en cubierta con PVSol	26
8.2.1. Registro de disposición y análisis de sombreado	26
8.3. Análisis de resultados por sistema	27
8.3.1. Sistema 1	28
8.3.2. Sistema 2	31
8.3.3. Sistema 3	33
8.3.4. Sistema 4	35
8.3.5. Sistema 5	37
9. Organización en cubierta y disposición de tableros	39
10.Evaluación del sistema de puesta a tierra y mitigación de riesgos	42
11.Trámite de factibilidad, reforma del sistema y proceso de legalización	44
11.1. Documentación requerida para el trámite	45
11.2. Etapa de diseño y aprobación de planos	45
11.3. Construcción, interventoría y certificación	46
11.4. Legalización y puesta en servicio	46
12.Conclusión	47

Capítulo 1

Parte eléctrica existente

La primer actividad que se realizó fue identificar la parte eléctrica de la Plaza La Concordia. Como primer acercamiento que tuvimos, fuimos los integrantes y el director de grado, para ver puntos claves, limitaciones y cómo desarrollar el presente trabajo. Pudimos identificar que la plaza se conecta de un transformador que se encuentra en la esquina; este es de 112,5 kVA, 13,2/220 V, y desde bornes de este sale una red de uso que distribuye a todos los locales mediante empalmes, una práctica que no es muy bien vista desde la parte técnica. Estos empalmes llegan hasta los medidores y luego el alimentador hasta el tablero propio del cliente. Son 308 locales y de esos 200 tienen cuenta independiente con la ESSA, les llega su propia factura; algunos dueños tienen entre 2 o 3 locales.

De las limitaciones que vimos fue la manera de conectar el analizador de red, ya que no había lugar para medir, porque no había un tablero principal. La única opción era dejarlo en bornes del transformador, pero corríamos el riesgo de que nos robaran el equipo, por lo cual fue necesario recopilar la información de otra manera.

También se consultó con la administradora de la plaza, y nos comentó que hace un par de años la alcaldía había realizado un estudio para cambiar el techo, que se encuentra en mal estado, por lo cual también eso era una limitante, pues era necesario el cambio de cubierta, pero este sería cubierto por la alcaldía. Todas estas limitaciones fueron tomadas al momento de realizar los estudios y analizar la trazabilidad de la instalación.

1.1. Registro fotográfico del sistema existente

A continuación se presentan los espacios destinados para evidenciar el transformador y la forma en la que la red principal se deriva hacia los medidores de los usuarios.



Figura 1.1: Transformador principal de la Plaza de Mercado "La Concordia" (punto de alimentación en baja tensión).



Figura 1.2: Red principal en baja tensión que recorre el área de la plaza (alimentación general).



Figura 1.3: Derivaciones y empalmes realizados sobre el conductor para alimentar ramales hacia medidores.



Figura 1.4: Distribución hacia medidores y posterior alimentación a tableros de usuarios.

Capítulo 2

Recolección de datos – Plaza de Mercado “La Concordia”

La etapa en donde toco recolectar datos constituyó una de las fases más extensas y exigentes del desarrollo del proyecto, debido a la cantidad de usuarios involucrados, habian 308 locales, y nos toco presentarnos, comentarle a la gente que estabamos haciendo y porque motivo. Este proceso requirió un acercamiento directo con los comerciantes de la plaza, recorriendo local por local con el fin de explicar el alcance del estudio, los objetivos del dimensionamiento fotovoltaico y la forma en la que la información sería utilizada.

Si bien la administración de la plaza había informado previamente a los usuarios mediante el sistema de citófono, durante el trabajo en campo se evidenció que una parte de los comerciantes se encontraba inicialmente a la defensiva frente a la toma de datos. En muchos casos existía preocupación por tomar la foto de las facturas de energía, al asumir que dicha información podría ser utilizada con otros fines no acamedemicos. Esta situación nos hizo ser conscientes de que debiamos de tener cuidado con lo que se decia y como se decia.

Como resultado de estas condiciones, la información se obtuvo mediante lo pensado, pero en al rededor de dos semanas de ir todos los dias unas horas para poder cumplir esa actividad. En aproximadamente la mitad de los casos, los datos fueron tomados directamente a partir de las facturas de energía suministradas voluntariamente por los usuarios, registrando valores como consumo mensual, número de servicio y código NIU. En los demás casos, se realizó la recolección mediante la identificación del número de NIU y la estimación del consumo a partir del aforo de cargas instaladas en los locales, sin realizar registro fotográfico de las facturas.

El trabajo de campo se desarrolló durante un periodo aproximado de dos semanas, con jornadas diarias de al menos cuatro horas, lo cual permitió cubrir de manera progresiva los diferentes sectores de la plaza y consolidar una base de datos representativa de los usuarios seleccionados.

Cabe resaltar que no fue posible realizar mediciones eléctricas directas con equipos de instrumentación, debido a que la plaza no dispone de un tablero general de distribución que permitiera el acceso seguro a los puntos de medición. En su lugar, la infraestructura se basa en una red de uso con múltiples derivaciones hacia los medidores individuales, lo cual limitó la posibilidad de obtener parámetros eléctricos en tiempo real.

Toda la documentación recopilada durante esta fase, incluyendo las facturas utilizadas y los registros complementarios de campo, se presenta en el **Apéndice E**, donde se organiza la información de cada usuario y se detallan los criterios empleados para la validación de los datos.

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Fecha: 17 de agosto de 2025

Yo, **Andrea Matajira Ordoñez**, en calidad de administradora de la Plaza La Concordia, por medio de la presente autorizo a los estudiantes **Juan Andrés Velandia** y **Yurbreiner Barajas López**, quienes se encuentran realizando su proyecto de grado en la Plaza La Concordia, para llevar a cabo la toma de mediciones en los locales cuyos usuarios han accedido y están interesados en la implementación de un sistema solar fotovoltaico.

Los estudiantes estarán tomando muestras y registros periódicamente. Después de las 2:00 p.m., cuando la plaza empiece su proceso de cierre, serán acompañados por el vigilante asignado. La autorización para realizar estas actividades se extiende hasta las 4:00 p.m.

Se expide la presente autorización para los fines que los interesados consideren pertinentes.

Firma: 

Nombre: Andrea Matajira Ordoñez

Cédula: 678233432

Figura 2.1: Carta de autotizacion para mediciones.

Capítulo 3

Definición del alcance para los usuarios

A partir del proceso de socialización con los comerciantes y de la información recopilada durante la etapa de recolección de datos, se identificó que el interés principal de los usuarios era contar con un sistema de generación fotovoltaica capaz de cubrir la totalidad de su consumo mensual de energía y, adicionalmente, permitir la entrega de excedentes a la red de distribución cuando las condiciones de generación lo permitieran.

Con base en este requerimiento, se definió la implementación de **sistemas fotovoltaicos conectados a la red** (*on-grid*), los cuales operan en paralelo con el sistema de distribución existente, priorizando el autoconsumo y habilitando la inyección de energía excedente hacia la red, de acuerdo con los lineamientos técnicos y regulatorios establecidos para la autogeneración a pequeña escala.

Durante el trabajo de campo, los usuarios manifestaron de manera recurrente inconvenientes asociados a la red interna de uso de la plaza, especialmente relacionados con interrupciones del servicio y eventos de cortocircuito que, según su percepción, se encontraban vinculados a la alta cantidad de empalmes y derivaciones presentes en el tendido principal. Esta condición motivó la solicitud de una solución que permitiera **independizar la conexión de los sistemas fotovoltaicos** de la red de uso común.

En respuesta a esta necesidad, y como criterio común para los cinco sistemas analizados, se acordó la implementación de un **tablero de conexión en corriente alterna** alimentado directamente desde las bornas del transformador de distribución. Esta configuración permite establecer un punto de conexión claro y controlado para la inyección de energía a la red, sin alterar la estructura interna de los tableros de los usuarios aguas abajo, los cuales mantienen su configuración original para la distribución de cargas internas.

De esta manera, el alcance del proyecto no solo contempla el dimensionamiento y la selección de los equipos fotovoltaicos, sino también la definición de una arquitectura de conexión que mejore la confiabilidad operativa.

Capítulo 4

Medición de parámetros para los sistemas de interés

Para la caracterización del comportamiento eléctrico de los usuarios seleccionados, se realizaron **tomas horarias de tensión y corriente** en los puntos de conexión durante la jornada de operación. Este procedimiento se llevó a cabo de manera alternada entre los integrantes del proyecto, lo que permitió cubrir de forma continua el periodo de medición y asegurar la consistencia de los registros obtenidos.

A partir de los valores medidos se construyó la tabla de resultados que presenta la **potencia estimada para cada uno de los sistemas analizados**, la cual fue empleada posteriormente como base para el balance de cargas del tablero trifásico y para el dimensionamiento de los generadores fotovoltaicos.

Cabe resaltar que las mediciones se realizaron en condiciones normales de operación de los locales, con el fin de obtener valores representativos del comportamiento real de la carga a lo largo del día.

4.1. Tabla de datos recolectados

Hora	4,4kWp	10,8kWp	5,90kWp	3,54kWp	4,72kWp
12:00 – 1:00 a.m.	0,3	0,4	0,30769231	0,25	0,15
1:00 – 2:00 a.m.	0,3	0,4	0,31538462	0,25	0,15
2:00 – 3:00 a.m.	0,3	0,4	0,30769231	0,25	0,15
3:00 – 4:00 a.m.	0,4	0,43	0,33076923	0,26	0,18
4:00 – 5:00 a.m.	0,8	0,84	0,64615385	0,27	0,2
5:00 – 6:00 a.m.	1,1	1,75	1,34615385	0,35	0,28
6:00 – 7:00 a.m.	1,5	1,89	1,45384615	0,67	0,46
7:00 – 8:00 a.m.	1,55	2,03	1,56153846	0,68	0,53
8:00 – 9:00 a.m.	1,48	2,12	1,63076923	0,75	0,58
9:00 – 10:00 a.m.	1,52	2,15	1,53571429	0,81	0,61
10:00 – 11:00 a.m.	1,7	2,35	1,56666667	1,1	0,72
11:00 – 12:00 m.	1,68	2,59	1,99230769	1,3	0,74
12:00 – 1:00 p.m.	1,4	2,01	1,54615385	1	0,79
1:00 – 2:00 p.m.	1,6	2,15	1,53571429	1,32	0,6
2:00 – 3:00 p.m.	1,26	2,23	1,71538462	1,35	0,69
3:00 – 4:00 p.m.	0,97	1,9	1,46153846	0,86	0,6
4:00 – 5:00 p.m.	0,5	0,9	0,69230769	0,26	0,15
5:00 – 6:00 p.m.	0,3	0,8	0,7	0,25	0,15
6:00 – 7:00 p.m.	0,3	0,56	0,56	0,25	0,15
7:00 – 8:00 p.m.	0,3	0,47	0,47	0,25	0,15
8:00 – 9:00 p.m.	0,32	0,42	0,42	0,25	0,15
9:00 – 10:00 p.m.	0,289	0,41	0,41	0,25	0,15
10:00 – 11:00 p.m.	0,345	0,42	0,42	0,25	0,15
11:00 – 12:00 a.m.	0,31	0,43	0,43	0,25	0,15

Figura 4.1: Toma de parámetros eléctricos (tensión y corriente) en los puntos de conexión durante la jornada de medición.

Capítulo 5

Dimensionamiento fotovoltaico de los sistemas

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se desarrolló a partir de los consumos energéticos mensuales y los perfiles de carga definidos para cada usuario. Como criterio general, se buscó que la potencia instalada permitiera cubrir una fracción significativa de la demanda diurna, priorizando el autoconsumo y minimizando la inyección de excedentes a la red.

5.1. Elección de inversores y módulos fotovoltaicos

La selección de los inversores se realizó considerando la potencia nominal del generador, la configuración de seguidores del punto de máxima potencia (MPPT), los niveles de tensión y corriente admisibles en los circuitos DC y AC, así como la compatibilidad con los requerimientos de conexión establecidos por el operador de red.

Por su parte, los módulos fotovoltaicos fueron seleccionados con base en su potencia pico, eficiencia, características eléctricas, certificaciones técnicas y comportamiento térmico, garantizando su adecuación a las condiciones ambientales del sitio.

SISTEMA 1			
INVERSOR		PANEL	
Fabricante	Huawei	Tipo	JAM78S30 590
Tipo	SUN20003KTL L1	Potencia nominal	590 W
Potencia nominal	3.00kWac	Tipo panel	Double Glass
Corriente nominal	15 A	Vmpp	44.80 V
Rango voltaje/nominal	50-550V	Impp	13.17 A
Cumplimentos	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116	Voc	53.30 V
		Isc	13.93 A

Figura 5.1: Sistema 1

SISTEMA 2			
INVERSOR		PANEL	
Fabricante	Huawei	Tipo	JAM78S30 590
Tipo	SUN20004KTL L1	Potencia nominal	590 W
Potencia nominal	4.00kWac	Tipo panel	Double Glass
Corriente nominal	20 A	Vmpp	44.80 V
Rango voltaje/nominal	80-600V	Impp	13.17 A
Cumplimentos	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727,	Voc	53.30 V
		Isc	13.93 A

Figura 5.2: Sistema 2

SISTEMA 3			
INVERSOR		PANEL	
Fabricante	Generic	Tipo	JAM78S30 590
Tipo	SUN2000 4.95KTL JPL1	Potencia nominal	590 W
Potencia nominal	5.00kWac	Tipo panel	Double Glass
Corriente nominal	25 A	Vmpp	44.80 V
Rango voltaje/nominal	90-560V	Impp	13.17 A
Cumplimentos	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116	Voc	53.30 V
		Isc	13.93 A

Figura 5.3: Sistema 3

SISTEMA 4			
INVERSOR		PANEL	
Fabricante	Huawei	Tipo	JAM72S20 440MR
Tipo	SUN20004KTL L1	Potencia nominal	440 W
Potencia nominal	4.00kWac	Tipo panel	Double Glass
Corriente nominal	17 A	Vmpp	40.90 V
Rango voltaje/nominal	80-600V	Impp	10.76 A
Cumplimentos	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116	Voc	49.40 V
		Isc	11.28 A

Figura 5.4: Sistema 4

SISTEMA 5			
INVERSOR		PANEL	
Fabricante	Generic	Tipo	JAM72S20 540MR
Tipo	SUN2000 10KTL M2 380V	Potencia nominal	540 W
Potencia nominal	10.00kWac	Tipo panel	Double Glass
Corriente nominal	17 A	Vmpp	42.16 V
Rango voltaje/nominal	160-950V	Impp	12.81 A
Cumplimentos	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2,	Voc	49.90 V
		Isc	13.57 A

Figura 5.5: Sistema 5

5.2. Compatibilidad entre equipos

En esta sección se presenta la evaluación de compatibilidad eléctrica y operativa entre los módulos fotovoltaicos y los inversores seleccionados para los cinco sistemas dimensionados, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento dentro de los rangos de tensión, corriente y potencia establecidos por los fabricantes, así como su adecuación a las condiciones de operación del sitio.

5.2.1. Sistema 5 – 10.8 kWp

Características del arreglo

- Paneles: 20 unidades de 540 Wp (2 strings \times 10 módulos en serie)
- Potencia DC total: 10.8 kWp

- Inversor: 10 kWac
- Relación DC/AC: 1.08

Características de los componentes

Módulo fotovoltaico JAM72-S30-540-MR: Módulo con celdas monocristalinas tipo PERC y una eficiencia del 21 %. Incorpora tecnología *half-cell*, lo cual reduce las pérdidas por calentamiento y mejora el desempeño ante condiciones de sombreado parcial, gracias a la presencia de tres diodos de bypass. Cuenta con certificaciones UL, IEC y CE, y una garantía de 12 años por parte del fabricante.

Inversor SUN2000-10KTL-M2-450: Inversor de cadena con una eficiencia máxima del 98.6 %. Opera dentro de un rango de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) entre 160 V y 950 V, lo que proporciona flexibilidad en la configuración del arreglo. Dispone de dos MPPT independientes y una capacidad de corriente nominal de 30 A por cada entrada.

Análisis de compatibilidad

- Voltaje MPPT: $U_{mpp} = 377$ V (2 strings \times 10 módulos), valor que se encuentra dentro del rango operativo del inversor (160–950 V).
- Corriente: $I_{mpp} = 26$ A, adecuada para la capacidad nominal del inversor.
- Relación DC/AC: 1.08, permite un ligero sobredimensionamiento del generador sin generar pérdidas significativas por saturación.
- Potencia operativa: $P_{mpp} \approx 9,91$ kWp a 50°C, compatible con la potencia máxima en AC del inversor (10 kWac).

Ventajas

- Relación DC/AC equilibrada que favorece la maximización de la producción anual.
- Configuración simple mediante dos strings idénticos de 10 módulos en serie, conectados en paralelo, lo que facilita el diseño y reduce problemas de desbalance ante sombreado parcial.
- Buen aprovechamiento del inversor sin operación prolongada en condiciones de saturación.

Los componentes presentan alta disponibilidad en el mercado nacional a través de proveedores como AutoSolar Colombia, Solen Technology, Solartex Colombia, Eco Green Solar y Solaire. El fabricante recomienda realizar limpiezas periódicas cada cuatro meses con el fin de reducir las pérdidas por acumulación de polvo.

5.2.2. Sistema 4 – 4.4 kWp

Características del arreglo

- Paneles: 10 unidades de 440 Wp (2 strings \times 5 módulos en serie)
- Potencia DC total: 4.4 kWp
- Inversor: 4 kWac
- Relación DC/AC: 1.10

Características de los componentes

Módulo fotovoltaico JAM72-S20-440-MR: Módulo monocristalino tipo PERC con eficiencia del 20.5 % y tecnología *half-cell*, que contribuye a la reducción de pérdidas térmicas y mejora el desempeño ante sombreado parcial. Incorpora tres diodos de bypass y cuenta con certificaciones UL, IEC y CE, además de una garantía de 12 años.

Inversor SUN2000-4KTL-L1: Inversor de cadena con eficiencia máxima del 98.4 %. Opera en un rango MPPT entre 80 V y 600 V, dispone de dos MPPT independientes y admite una corriente nominal de 12.5 A por cada entrada.

Análisis de compatibilidad

- Voltaje MPPT: $U_{mpp} = 188$ V (2 strings \times 5 módulos), dentro del rango operativo del inversor (80–600 V).
- Corriente: $I_{mpp} = 12,5$ A, compatible con la capacidad del inversor.
- Relación DC/AC: 1.10, adecuada para permitir sobredimensionamiento moderado sin pérdidas relevantes.
- Potencia operativa: $P_{mpp} \approx 4,4$ kWp a 50°C, compatible con la potencia máxima del inversor (4 kWac).

Ventajas

- Configuración simétrica mediante dos strings de cinco módulos en serie, conectados en paralelo.
- Flexibilidad en el uso de los MPPT para optimizar el desempeño de cada cadena.
- Aprovechamiento eficiente del inversor sin operación prolongada en saturación.

5.2.3. Sistema 3 – 5.9 kWp

Características del arreglo

- Paneles: 10 unidades de 590 Wp (2 strings \times 5 módulos en serie)
- Potencia DC total: 5.9 kWp
- Inversor: 4.95 kWac
- Relación DC/AC: 1.19

Características de los componentes

Módulo fotovoltaico JAM78-S30-590-MR: Módulo monocristalino tipo PERC con eficiencia del 22 % y tecnología *half-cell*. Presenta un coeficiente de temperatura aproximado de $-0.29\%/^{\circ}\text{C}$, lo que contribuye a un mejor desempeño térmico. Incorpora tres diodos de bypass y cuenta con certificaciones UL, IEC y CE, además de una garantía de 12 años.

Inversor SUN2000-4.95KTL-JPL1: Inversor de cadena con eficiencia máxima del 98.4 %, rango MPPT entre 90 V y 560 V y dos seguidores MPPT independientes. La corriente nominal admisible es de 14 A por cada entrada.

Análisis de compatibilidad

- Voltaje MPPT: $U_{mpp} = 202\text{ V}$ (2 strings \times 5 módulos), dentro del rango operativo del inversor.
- Corriente: $I_{mpp} \approx 27\text{ A}$ por string, compatible con la capacidad del inversor.
- Relación DC/AC: 1.19, adecuada para maximizar la producción anual.
- Potencia operativa: $P_{mpp} \approx 4,4\text{ kWp}$ a 50°C , compatible con la potencia máxima en AC del inversor (4.95 kWac).

Ventajas

- Configuración simple con dos strings idénticos en paralelo.
- Buen comportamiento frente a sombreado parcial y desbalance entre cadenas.
- Aprovechamiento eficiente del inversor sin sobrecarga continua.

5.2.4. Sistema 2 – 4.72 kWp

Características del arreglo

- Paneles: 8 unidades de 590 Wp (2 strings \times 4 módulos en serie)
- Potencia DC total: 4.72 kWp
- Inversor: 4 kWac
- Relación DC/AC: 1.18

Características de los componentes

Módulo fotovoltaico JAM78-S30-590-MR: Módulo monocristalino tipo PERC con eficiencia del 22 %, tecnología *half-cell* y coeficiente térmico aproximado de $-0.29 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$. Cuenta con certificaciones UL, IEC y CE y garantía de 12 años.

Inversor SUN2000-4KTL-L1: Inversor de cadena con eficiencia del 98.4 %, rango MPPT entre 80 V y 600 V y dos seguidores MPPT independientes, con una corriente nominal de 12.5 A por entrada.

Análisis de compatibilidad

- Voltaje MPPT: $U_{mpp} = 202 \text{ V}$, dentro del rango operativo del inversor.
- Corriente: $I_{mpp} \approx 27 \text{ A}$ por string, compatible con la capacidad del inversor.
- Relación DC/AC: 1.18, adecuada para sobredimensionamiento moderado.
- Potencia operativa: $P_{mpp} \approx 4,4 \text{ kWp}$ a 50°C , compatible con la potencia máxima en AC del inversor (4 kWac).

5.2.5. Sistema 1 – 3.54 kWp

Características del arreglo

- Paneles: 6 unidades de 590 Wp (2 strings \times 3 módulos en serie)
- Potencia DC total: 3.54 kWp
- Inversor: 3 kWac
- Relación DC/AC: 1.18

Características de los componentes

Módulo fotovoltaico JAM78-S30-590-MR: Módulo monocristalino tipo PERC con eficiencia del 22 %, tecnología *half-cell* y coeficiente térmico aproximado de $-0.29 \text{ }^\circ\text{C}$. Cuenta con certificaciones UL, IEC y CE y garantía de 12 años.

Inversor SUN2000-3KTL-L1: Inversor de cadena con eficiencia del 98.4 %, rango MPPT entre 70 V y 600 V, dos seguidores MPPT independientes y una capacidad de corriente nominal de hasta 30 A por entrada.

Análisis de compatibilidad

- Voltaje MPPT: $U_{mpp} \approx 121 \text{ V}$, dentro del rango operativo del inversor.
- Corriente: $I_{mpp} \approx 27 \text{ A}$ por string, compatible con la capacidad del inversor.
- Relación DC/AC: 1.18, adecuada para maximizar la producción sin saturación del inversor.
- Potencia operativa: $P_{mpp} \approx 3,23 \text{ kWp}$ a 50°C , compatible con la potencia máxima en AC del inversor (3 kWac).

Ventajas generales

Para los cinco sistemas analizados, se destaca la disponibilidad comercial de los equipos en el mercado nacional a través de proveedores como AutoSolar Colombia, Solen Technology, Solartex Colombia, Eco Green Solar y Solaire. De acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes, se considera conveniente programar rutinas de limpieza de los módulos cada cuatro meses con el fin de reducir las pérdidas asociadas a la acumulación de polvo y contaminantes superficiales.

Capítulo 6

Diagrama unifilar y coordinación con la red

Se elaboró el diagrama unifilar de cada sistema, en el cual se representan los elementos principales de la instalación, incluyendo protecciones, inversor, ductos, accesorios y strings, para ver el plano completo se puede ver el anexo de planos y sale el unifilar.

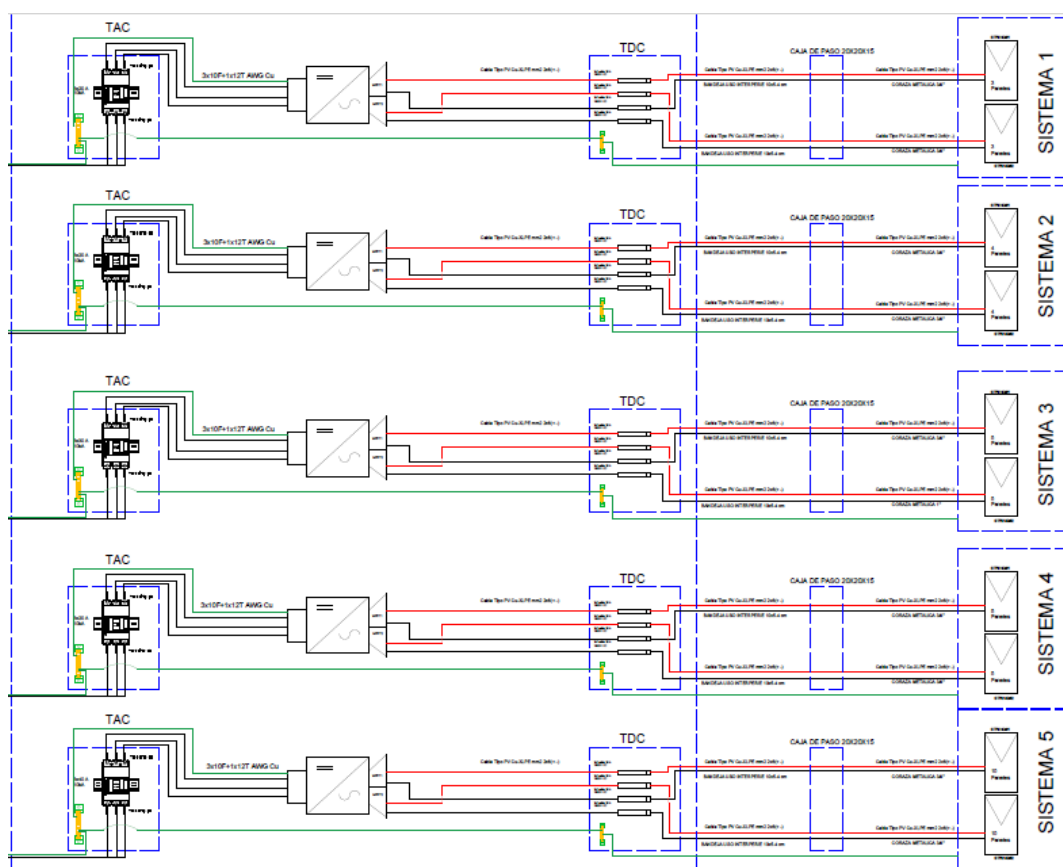


Figura 6.1: Unifilar SFV

Capítulo 7

Selección de conductores, protecciones, regulación en AC y DC, pérdidas

El proceso de selección de conductores y dispositivos de protección se desarrolló a partir de la caracterización de la carga aprobada por el operador de red, la cual constituye el valor de referencia para el dimensionamiento de los elementos aguas arriba de cada sistema fotovoltaico y del tablero totalizador de conexión.

7.1. Consulta de carga aprobada por el operador de red

Para la obtención de la carga aprobada e instalada de cada usuario, fue necesario identificar el **número NIU** presente en las facturas de energía y realizar la consulta directa con la Empresa Electrificadora de Santander (ESSA). Este procedimiento se llevó a cabo mediante la línea telefónica **115**, seleccionando la **opción 5 en dos ocasiones** y esperar hasta que un operador nos ayudara con la información, esto se hizo principalmente con los sistemas que estábamos trabajando, pero como necesitábamos definir la carga total, también se realizó la consulta de los demás locales. La ESSA realiza visita cada cierto tiempo y en esta información queda constancia de la descripción de la plaza, con esta información suministrada vía llamada, pudimos trabajar.

A partir de estos datos se estableció la carga instalada de diseño, la cual se definió como un valor ligeramente inferior al aprobado por ESSA, con el fin de representar un escenario conservador de operación real de las cargas.

7.2. Carga aprobada e instalada de los usuarios

En la Tabla 7.1 se presentan los valores de carga aprobada por ESSA para los cinco usuarios seleccionados, así como la carga instalada adoptada para los cálculos, definida como una reducción de 0,2 kVA respecto al valor aprobado.

Cuadro 7.1: Carga aprobada por ESSA y carga instalada de diseño

Usuario	S aprobada ESSA (kVA)	Carga instalada (kVA)
Usuario 1	3.5	3.3
Usuario 2	4.0	3.8
Usuario 3	5.1	4.9
Usuario 4	4.5	4.3
Usuario 5	8.9	8.7

Estos valores fueron utilizados como base para el cálculo de las corrientes de diseño, la selección de las secciones de los conductores y la definición de los dispositivos de protección en corriente alterna.

7.3. Cálculo de regulación de tensión y pérdidas

El análisis de regulación de tensión en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) se realizó mediante el uso de plantillas de cálculo desarrolladas en el entorno académico del curso, bajo la orientación del profesor Manuel. Estas herramientas permitieron estimar la caída de tensión en función de la longitud de los conductores, la corriente de diseño, la sección seleccionada y el tipo de material empleado.

De manera complementaria, se evaluaron las pérdidas eléctricas asociadas a cada tramo, con el fin de verificar que los valores obtenidos se mantuvieran dentro de los límites recomendados para sistemas fotovoltaicos, tanto en el lado del generador como en el lado de la red. Todos estos cálculos se realizaron tomando en cuenta la normativa dada por la ESSA para diseños eléctricos y la norma del grupo EPM NC-RA8-030.

Descripción	%
Redes de distribución, B.T., zona urbana	5
Redes de distribución, B.T., zona rural	7
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución) para cargas concentradas o multiusuarios desde bornes del transformador	3
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución) desde redes de la Empresa	2
Circuito ramal	2
Alumbrado público	4

Tabla 2.3 Porcentajes de regulación de tensión

Figura 7.1: Tabla de regulacion permitida.

Componente	Energía (%)	Potencia (%)
Línea de distribución (34,5 kV)	1,5	2,7
Alimentadores primarios (Hasta 13,2 kV)	0,5	0,8
Transformadores	2,2	*
Redes de baja tensión	2,7	5,5

Tabla 2.4 Pérdidas máximas de energía y potencia

Figura 7.2: Tabla de perdidas permitidas.

7.4. Selección de protecciones y criterio de simultaneidad

Para la selección de los dispositivos de protección totalizadores se tuvo en cuenta que las cargas de los usuarios no operan de manera simultánea a su potencia máxima durante todo el tiempo. En consecuencia, se adoptó un **factor de simultaneidad de 0,8** sobre la carga instalada total, con el propósito de definir una corriente de diseño representativa del comportamiento real del sistema.

Este criterio permitió seleccionar protecciones que garantizan la seguridad ante condiciones de sobrecorriente y cortocircuito, sin sobredimensionar innecesariamente los dispositivos ni los conductores asociados al tablero principal de conexión.

7.5. Registro gráfico del proceso de cálculo e instalación

A continuación se presentan los espacios destinados para el registro gráfico de las plantillas de cálculo utilizadas y de la disposición de los elementos asociados a la selección de conductores y protecciones.

PROYECTO: PLAZA LA CONCORDIA										TIPO SUBESTACIÓN										CONEXIÓN										REVISOS										FECHA:										mañana, 20 de enero de 2020										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO										DISEÑO									
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Capítulo 8

Simulación energética en software especializado y análisis de resultados

8.1. Simulación energética en PVsyst

Con el fin de estimar la producción energética anual y evaluar el comportamiento global de los sistemas fotovoltaicos, se realizaron simulaciones en el software especializado *PVsyst*. Esta herramienta permitió modelar cada sistema a partir de los parámetros eléctricos definidos en el proceso de dimensionamiento, incorporando variables como la irradiación solar del sitio, las pérdidas por temperatura, las pérdidas eléctricas en los conductores y la eficiencia de los inversores.

Los resultados obtenidos a partir de estas simulaciones sirvieron como referencia para la validación del tamaño de los generadores fotovoltaicos y para la estimación del nivel de cobertura frente al consumo energético de los usuarios.

8.1.1. Registro de simulación en PVsyst

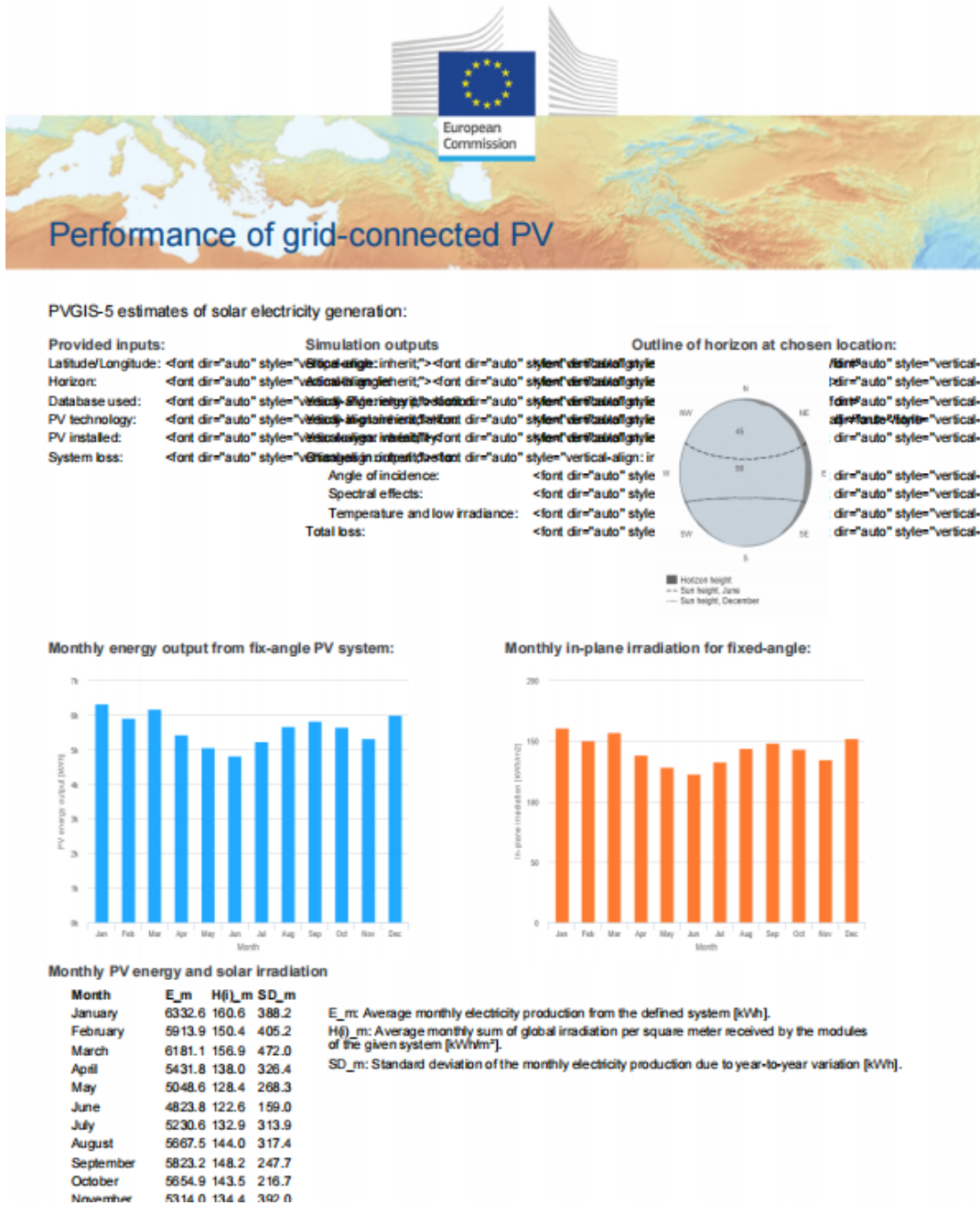


Figura 8.1: Resultado general de simulación energética en PVsyst para uno de los sistemas analizados.

8.2. Análisis de sombreado y disposición en cubierta con PVSol

La evaluación del sombreado y la disposición física de los módulos sobre la cubierta se desarrolló mediante el software *PVSol*. Esta herramienta permitió generar un modelo tridimensional simplificado de la zona de instalación, en el cual se representaron los obstáculos presentes, la geometría de la cubierta y la orientación de los arreglos fotovoltaicos.

A partir de este modelo se analizó la incidencia de sombras a lo largo del año y su impacto sobre la producción energética, lo que facilitó la definición de la ubicación final de los módulos, la separación entre filas y la asignación de cadenas a los diferentes seguidores MPPT de los inversores.

8.2.1. Registro de disposición y análisis de sombreado

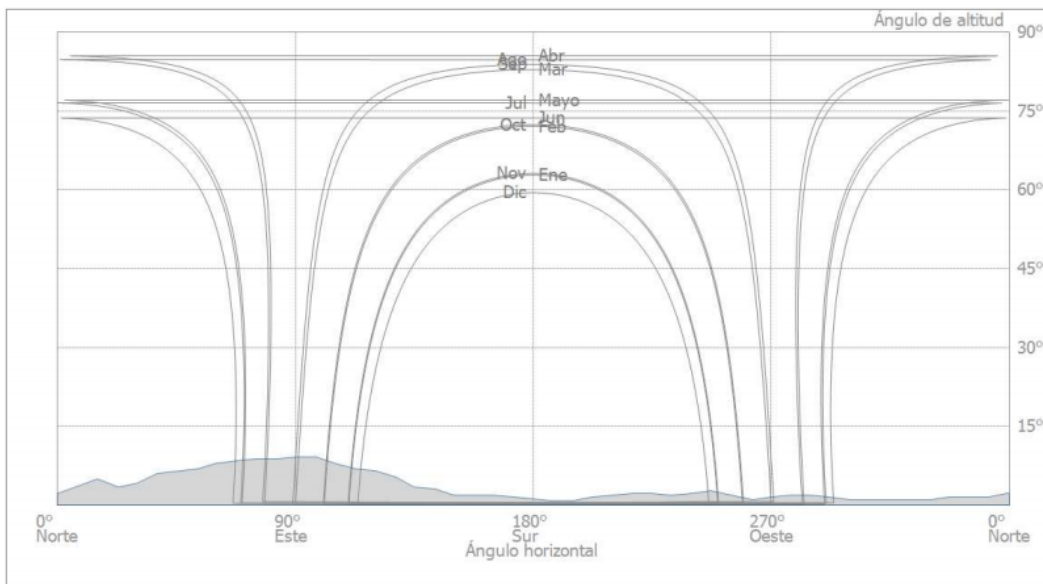


Figura 8.2: Línea Horizonte.

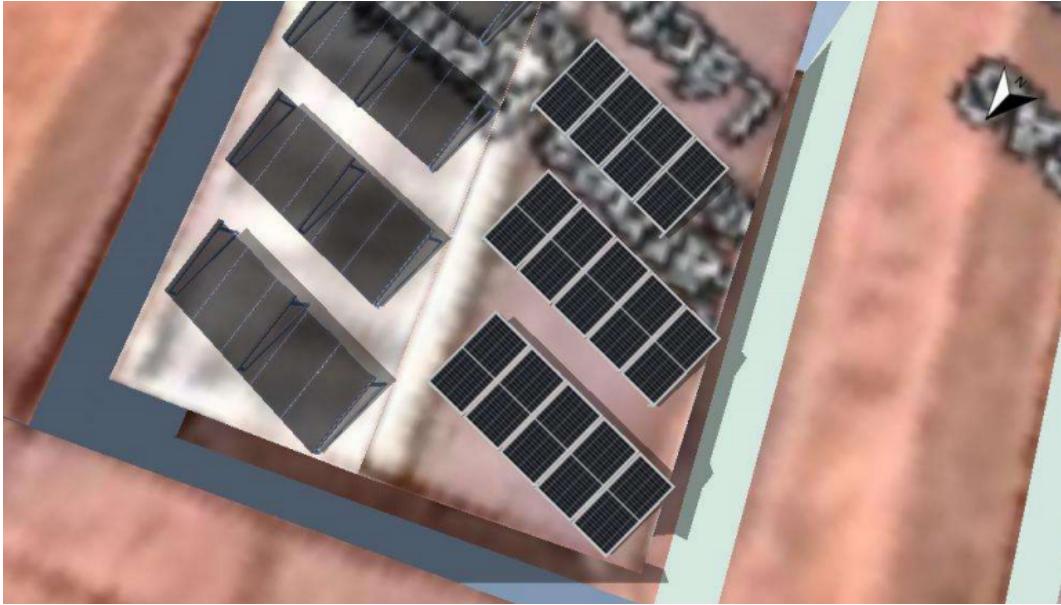


Figura 8.3: Disposicion y orientacion.

8.3. Análisis de resultados por sistema

A partir de la simulacion y de toda la informacion anteriormente recolectada se usaron plantillas de Excel para realizar el calculo por sistema de consumo, importacion, exportacion, excedentes y analisis economico, se presentaran los datos mas representativos en cada sistema. Teniendo en cuenta el precio del kWh. Y ademas vamos a ver si los datos se parecen a la curva caracteristica dada para el sector comercial de la ESSA.

Precio del kWh		
CU	Generacion (G):	271,04 \$/kWh
	Transmision(T):	54,68 \$/kWh
	Distribucion(D):	310,99 \$/kWh
	Restricciones(R):	49,16 \$/kWh
	Perdidas(PR):	61,38 \$/kWh
	Comercializacion(C):	126,85 \$/kWh
CU TOTAL		874,14 \$/kWh
Contribuciones		186,3 \$/kWh
Alumbrado		157,42 \$/kWh
COSTO DE ENERGIA		1217,86 \$/kWh
Precio de bolsa(17/01/2026)		198 \$/kWh
Tasa		324,76 \$/kWh

Figura 8.4: Precio kWh.

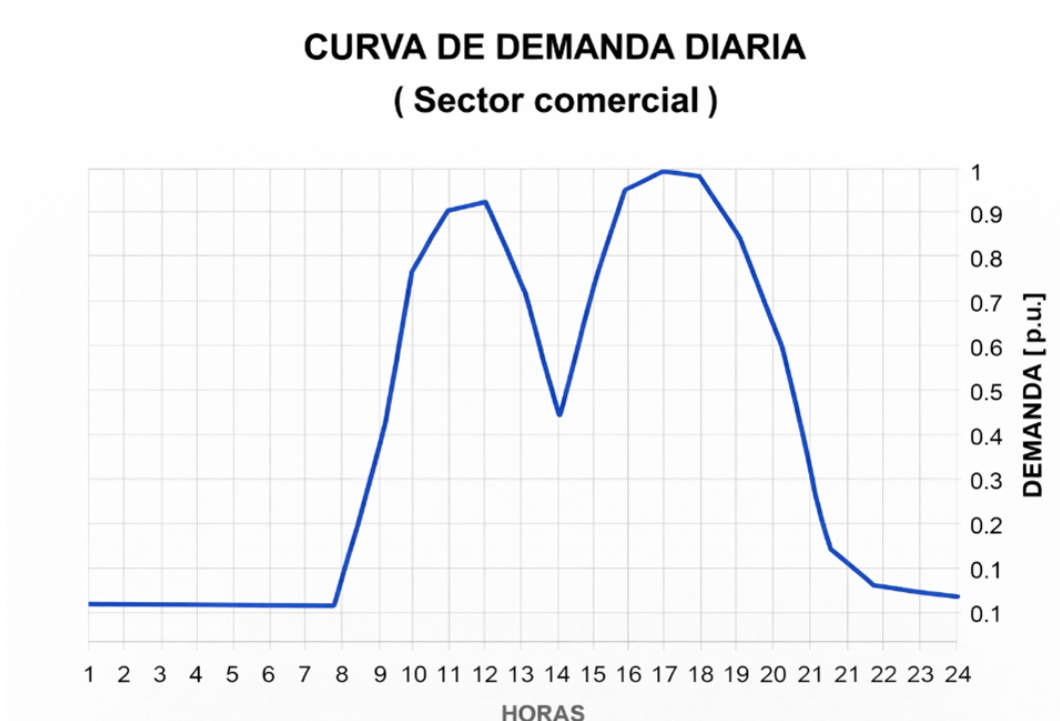


Figura 8.5: Curva característica sector comercial-ESSA.

8.3.1. Sistema 1



Figura 8.6: Curva de generación diaria típica – Sistema 1.

Mes	Consumo(kW)	Generacion (kW)	Importacion (KW)	Autoconsumo	Exportacion Tipo 1	Exportaciones Tipo 2
Enero	425,9947335 kWh	637,5001 kWh	177,0478635 kWh	248,947 kWh	177,0478635 kWh	211,5053665 kWh
Febrero	429,9946841 kWh	571,0329 kWh	186,0898185 kWh	243,905 kWh	186,0898185 kWh	141,0382159 kWh
Marzo	421,994783 kWh	568,6612 kWh	180,6914395 kWh	241,303 kWh	180,6914395 kWh	146,666417 kWh
Abril	425,9947335 kWh	568,4135 kWh	175,2972148 kWh	250,698 kWh	175,2972148 kWh	142,4187665 kWh
Mayo	420,9947953 kWh	607,5681 kWh	164,0161063 kWh	256,979 kWh	164,0161063 kWh	186,5733047 kWh
Junio	426,9947212 kWh	565,1328 kWh	174,0383166 kWh	252,956 kWh	174,0383166 kWh	138,1380788 kWh
Julio	419,9948077 kWh	573,3264 kWh	174,3471067 kWh	245,648 kWh	174,3471067 kWh	153,3315923 kWh
Agosto	421,994783 kWh	582,5741 kWh	179,0103887 kWh	242,984 kWh	179,0103887 kWh	160,579317 kWh
Septiembre	424,9947459 kWh	534,9449 kWh	177,3831286 kWh	247,612 kWh	177,3831286 kWh	109,9501541 kWh
Octubre	425,9947335 kWh	531,9267 kWh	181,9570403 kWh	244,038 kWh	181,9570403 kWh	105,9319665 kWh
Noviembre	426,9947212 kWh	548,344 kWh	174,7438136 kWh	252,251 kWh	174,7438136 kWh	121,3492788 kWh
Diciembre	426,9947212 kWh	637,3277 kWh	168,5338139 kWh	258,461 kWh	168,3578722 kWh	210,5089206 kWh
Año	5098,936963 kWh	6926,7524 kWh	2113,156051 kWh	2985,78 kWh	2112,980109 kWh	1827,991379 kWh
Promedio	424,9114136 kWh	577,229367 kWh	176,0963376 kWh	248,815 kWh	176,0816758 kWh	152,3326149 kWh
Porcentaje	-36%	136%		43%	31%	26%

Figura 8.7: Consumo, Importación, Exportación y Excedentes – Sistema 1.

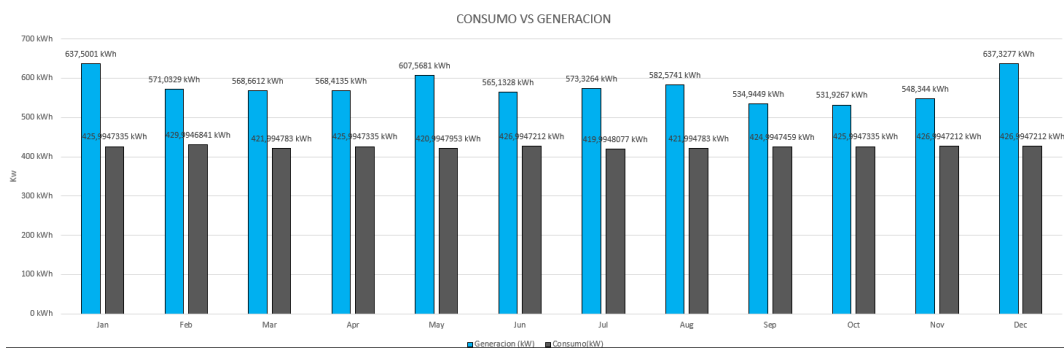


Figura 8.8: Comparativa Consumo vs Generación– Sistema 1.

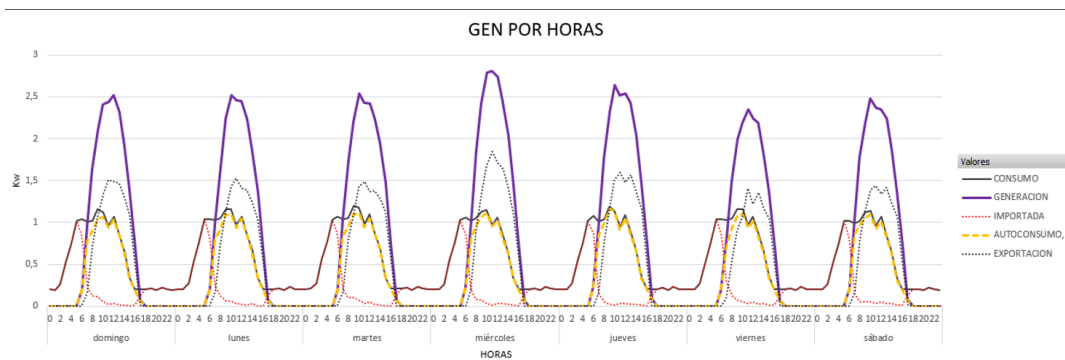


Figura 8.9: Curvas en conjunto– Sistema 1.

INFORMACION PROPUESTA	
TAMAÑO DEL SISTEMA	4400 Wp
AHORROS ANUALES	\$ 6.273.108,99
PRODUCCION ANUAL	6926,8 kWh
CONSUMO ACTUAL	424,9 kWh/mes
TARIFA ACTUAL DE ENERGIA	\$ 1.281,76
LARGO	2, M
ANCHO	1,1 M
AREA	22 M2
INVERSION	-\$ 24.908.500,00
%IVA	19%
IVA	-\$ 4.732.615,00
TOTAL	-\$ 29.641.115,00
TIR	26%
PERIODO DE RECUPERACION	4,8 Años

Figura 8.10: Analisis economico – Sistema 1.

8.3.2. Sistema 2

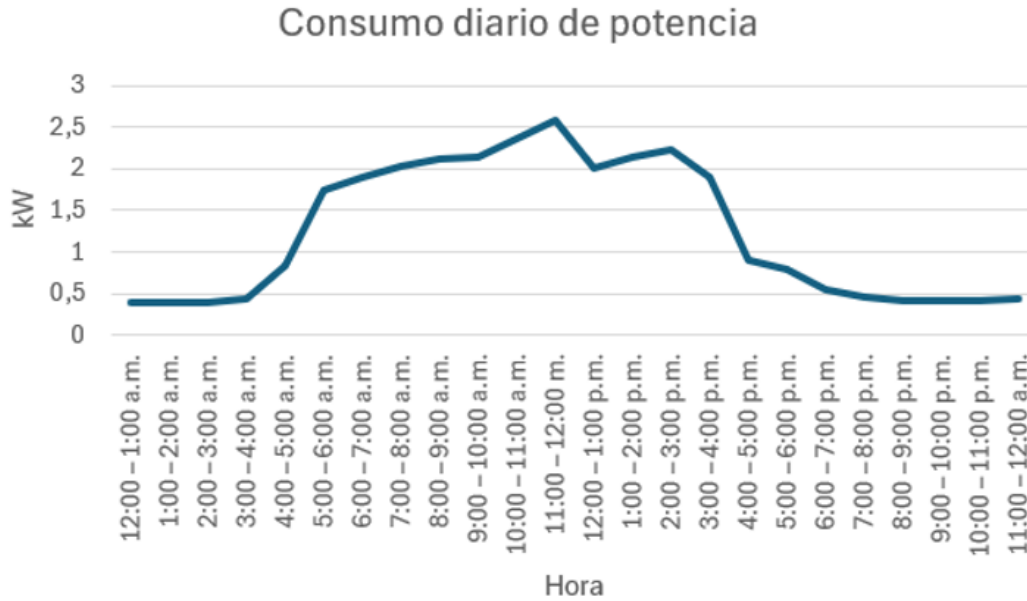


Figura 8.11: Curva de generación diaria típica – Sistema 2.

Mes	Consumption (KW)	Generacion (KW)	Importacion (KW)	Autoconsumo (KW)	Exportacion Tipo 1	Exportaciones Tipo 2
Enero	929,0081989	1586,2573	350,2214932	578,7867058	350,2214932	657,2491011
Febrero	928,0081901	1421,7077	361,9511662	566,0570239	361,9511662	493,6995099
Marzo	930,0082078	1415,9173	355,5960876	574,4121202	355,5960876	485,9090922
Abril	920,0081195	1416,0651	340,6315389	579,3765806	340,6315389	496,0569805
Mayo	923,008146	1514,1334	323,0420704	599,9660756	323,0420704	591,125254
Junio	924,0081548	1408,5676	342,5135931	581,4945617	342,5135931	484,5594452
Julio	924,0081548	1429,1356	344,7173693	579,2907855	344,7173693	505,1274452
Agosto	925,0081636	1451,0511	354,1881347	570,8200289	354,1881347	526,0429364
Septiembre	926,0081725	1332,9209	343,5444821	582,4636904	343,5444821	406,9127275
Octubre	927,0081813	1325,7646	358,8283629	568,1798184	358,8283629	398,7564187
Noviembre	928,0081901	1367,3065	339,7365428	588,2716473	339,7365428	439,2983099
Diciembre	929,0081989	1587,6052	331,081824	597,926375	330,7407479	658,9380771
Año	11113,09808	17256,4323	4146,052665	6967,045413	4145,711589	6143,675298
Promedio	926,0915065	1438,036025	345,5043888	580,5871178	345,4759658	511,9729415
Porcentaje	-55%	155%		40,37%	24%	35%

Figura 8.12: Consumo, Importación, Exportación y Excedentes – Sistema 2.

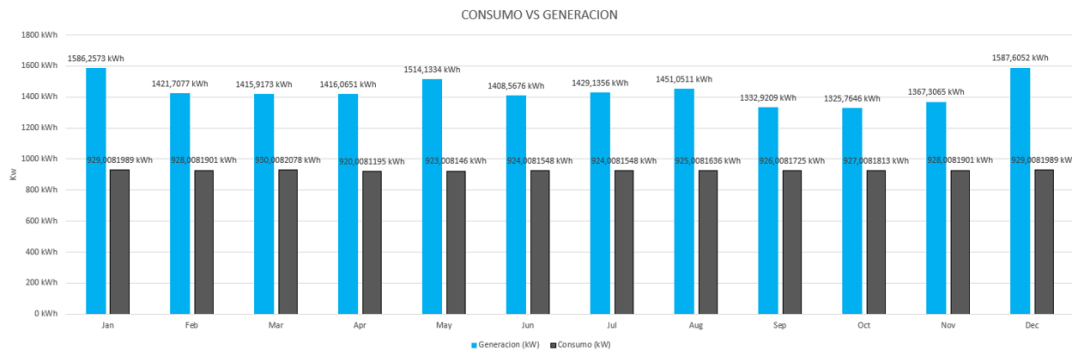


Figura 8.13: Comparativa Consumo vs Generacion– Sistema 2.

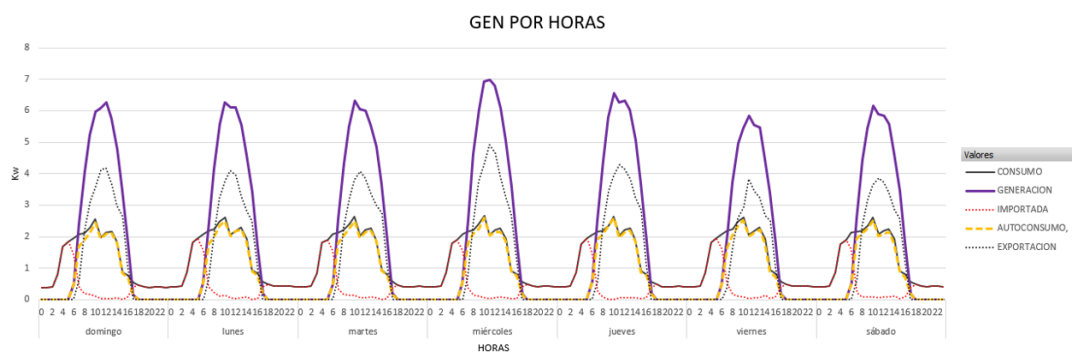


Figura 8.14: Curvas en conjunto– Sistema 2.

INFORMACION PROPUESTA	
TAMAÑO DEL SISTEMA	10800 Wp
AHORROS ANUALES	\$ 14.189.575,00
PRODUCCION ANUAL	17256,4 kWh
CONSUMO ACTUAL	926,1 kWh/mes
TARIFA ACTUAL DE ENERGIA	\$ 1.281,76
LARGO	2,3 M
ANCHO	1,1 M
AREA	51,98 M2
INVERSION	-\$ 55.684.500,00
%IVA	19%
IVA	-\$ 10.580.055,00
TOTAL	-\$ 66.264.555,00
TIR	24%
PERIODO DE RECUPERACION	5,1 Años

Figura 8.15: Analisis economico – Sistema 2.

8.3.3. Sistema 3



Figura 8.16: Curva de generación diaria típica – Sistema 3.

Mes	Consumo (kW)	Generacion (kW)	Importacion (KW)	Autoconsumo (KW)	Exportacion Tipo 1	Exportaciones Tipo 2
Enero	701,0038658 kWh	837,49 kWh	291,993099 kWh	409,0107668 kWh	291,993099 kWh	136,4861342 kWh
Febrero	698,0038493 kWh	749,7688 kWh	307,4461363 kWh	390,557713 kWh	307,4461363 kWh	51,76495073 kWh
Marzo	708,0039044 kWh	747,8546 kWh	310,1319255 kWh	397,8719789 kWh	310,1319255 kWh	39,85069558 kWh
Abril	687,0037886 kWh	747,0127 kWh	289,7394489 kWh	397,2643397 kWh	289,7394489 kWh	60,00891139 kWh
Mayo	697,0038438 kWh	798,0136 kWh	276,7906054 kWh	420,2132383 kWh	276,7906054 kWh	101,0097562 kWh
Junio	695,0038327 kWh	742,0618 kWh	292,352777 kWh	402,6510557 kWh	292,352777 kWh	47,05796727 kWh
Julio	699,0038548 kWh	752,5308 kWh	301,1776256 kWh	397,8262292 kWh	301,1776256 kWh	53,52694521 kWh
Agosto	700,0038603 kWh	765,1363 kWh	306,1210703 kWh	393,88279 kWh	306,1210703 kWh	65,1324397 kWh
Septiembre	705,0038879 kWh	703,0282 kWh	303,5971279 kWh	401,40676 kWh	301,62144 kWh	0 kWh
Octubre	706,0038934 kWh	699,4583 kWh	313,0628266 kWh	392,9410668 kWh	306,5172332 kWh	0 kWh
Noviembre	700,0038603 kWh	720,7271 kWh	293,8069978 kWh	406,1968625 kWh	293,8069978 kWh	20,7232397 kWh
Diciembre	704,0038824 kWh	837,208 kWh	276,8816094 kWh	427,122273 kWh	276,618332 kWh	133,467395 kWh
Año	8400,046324 kWh	9100,2902 kWh	3563,10125 kWh	4836,945074 kWh	3554,316691 kWh	709,028435 kWh
Promedio	700,0038603 kWh	758,357517 kWh	296,9251041 kWh	403,0787562 kWh	296,1930576 kWh	59,08570292 kWh
Porcentaje	-8%	108%		53%	39%	8%

Figura 8.17: Consumo, Importacion, Exportacion y Excedentes – Sistema 3.

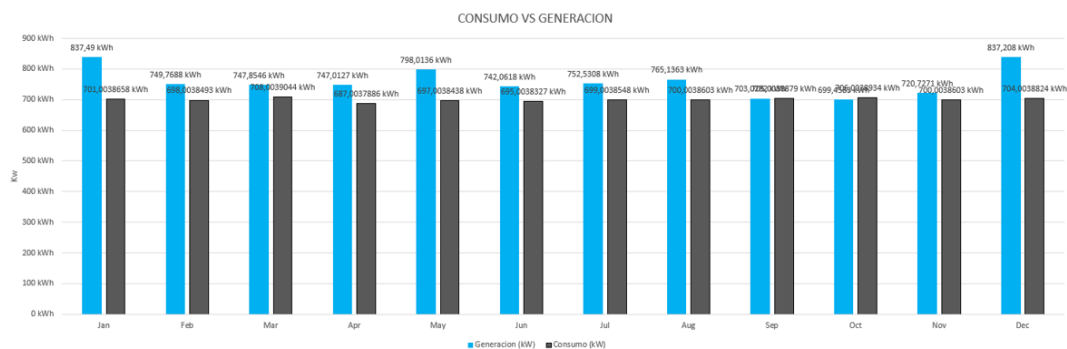


Figura 8.18: Comparativa Consumo vs Generacion– Sistema 3.

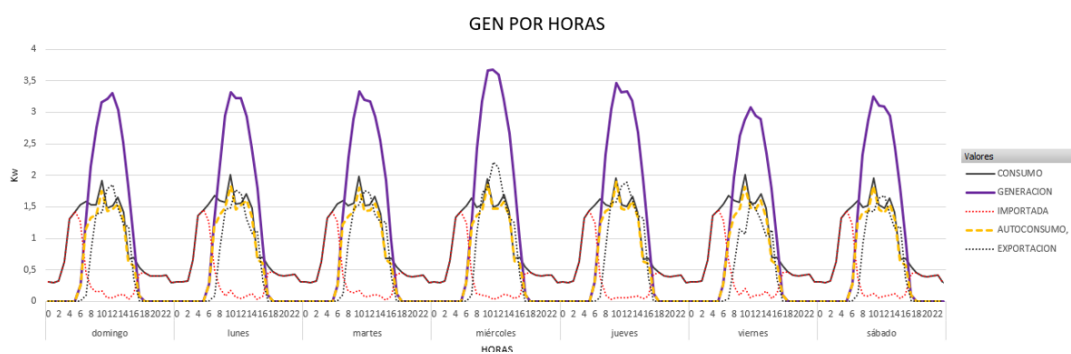


Figura 8.19: Curvas en conjunto– Sistema 3.

INFORMACION PROPUESTA	
TAMAÑO DEL SISTEMA	5900 Wp
AHORROS ANUALES	\$ 9.888.532,90
PRODUCCION ANUAL	9100,3 kWh
CONSUMO ACTUAL	700, kWh/mes
TARIFA ACTUAL DE ENERGIA	\$ 1.281,76
LARGO	2,3 M
ANCHO	1,3 M
AREA	28,75 M2
INVERSION	-\$ 26.809.125,00
%IVA	19%
IVA	-\$ 5.093.733,75
TOTAL	-\$ 31.902.858,75
TIR	28%
PERIODO DE RECUPERACION	4,2 Años

Figura 8.20: Analisis economico – Sistema 3.

8.3.4. Sistema 4



Figura 8.21: Curva de generación diaria típica – Sistema 4.

Mes	Consumo (kW)	Generacion (kW)	Importacion (KW)	Autoconsumo (KW)	Exportacion Tipo 1	Exportaciones Tipo 2
Enero	370,0063224 kWh	513,289 kWh	132,0752357 kWh	237,9310867 kWh	132,0752357 kWh	143,2826776 kWh
Febrero	372,0063565 kWh	458,9991 kWh	140,7962549 kWh	231,2101016 kWh	140,7962549 kWh	86,99274346 kWh
Marzo	368,0062882 kWh	456,4255 kWh	140,2800522 kWh	227,726236 kWh	140,2800522 kWh	88,41921181 kWh
Abril	365,0062369 kWh	456,5381 kWh	133,9844292 kWh	231,0218077 kWh	133,9844292 kWh	91,53186307 kWh
Mayo	360,0061515 kWh	488,1819 kWh	121,9921918 kWh	238,0139597 kWh	121,9921918 kWh	128,1757485 kWh
Junio	368,0062882 kWh	453,6426 kWh	133,2338506 kWh	234,7724376 kWh	133,2338506 kWh	85,63631181 kWh
Julio	367,0062711 kWh	459,692 kWh	138,0383829 kWh	228,9678882 kWh	138,0383829 kWh	92,6857289 kWh
Agosto	369,0063053 kWh	467,344 kWh	141,1628716 kWh	227,8434336 kWh	141,1628716 kWh	98,33769472 kWh
Septiembre	370,0063224 kWh	428,1629 kWh	137,6996345 kWh	232,3066878 kWh	137,6996345 kWh	58,15657763 kWh
Octubre	371,0063395 kWh	427,02 kWh	142,4642534 kWh	228,542086 kWh	142,4642534 kWh	56,01366055 kWh
Noviembre	370,0063224 kWh	440,4356 kWh	134,2183978 kWh	235,7879246 kWh	134,2183978 kWh	70,42927763 kWh
Diciembre	372,0063565 kWh	513,8239 kWh	123,8944644 kWh	248,1118921 kWh	123,7020079 kWh	142,01 kWh
Año	4422,075561 kWh	5563,5546 kWh	1619,840019 kWh	2802,235542 kWh	1619,647563 kWh	1141,671496 kWh
Promedio	368,5062967 kWh	463,62955 kWh	134,9866683 kWh	233,5196285 kWh	134,9706302 kWh	95,13929131 kWh
Porcentaje	-26%	126%		50%	29%	21%

Figura 8.22: Consumo, Importacion, Exportacion y Excedentes – Sistema 4.

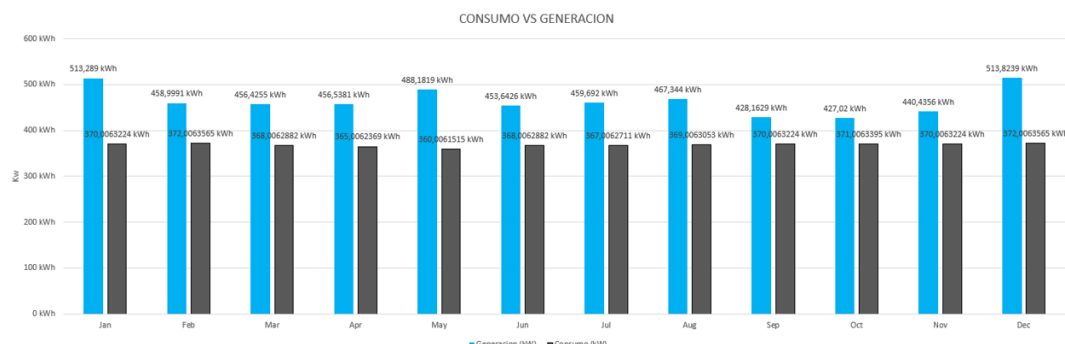


Figura 8.23: Comparativa Consumo vs Generación– Sistema 4.

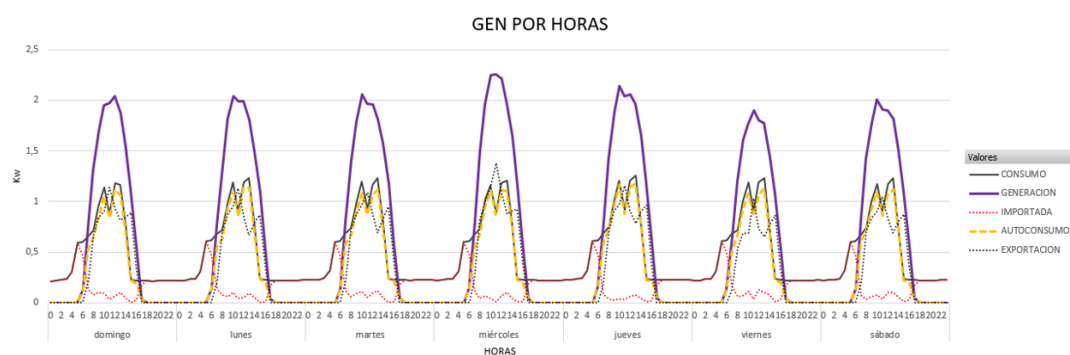


Figura 8.24: Curvas en conjunto– Sistema 4.

INFORMACION PROPUESTA	
TAMAÑO DEL SISTEMA	3540 Wp
AHORROS ANUALES	\$ 5.420.036,95
PRODUCCION ANUAL	5563,6 kWh
CONSUMO ACTUAL	368,5 kWh/mes
TARIFA ACTUAL DE ENERGIA	\$ 1.281,76
LARGO	2,3 M
ANCHO	1,2 M
AREA	16,56 M2
INVERSION	-\$ 18.085.475,00
%IVA	19%
IVA	-\$ 3.436.240,25
TOTAL	-\$ 21.521.715,25
TIR	27%
PERIODO DE RECUPERACION	4,5 Años

Figura 8.25: Analisis economico – Sistema 4.

8.3.5. Sistema 5



Figura 8.26: Curva de generación diaria típica – Sistema 5.

Mes	Consumo (kW)	Generacion (kW)	Importacion (KW)	Autoconsumo (KW)	Exportacion Tipo 1	Exportaciones Tipo 2
Enero	240,001479 kWh	677,2207 kWh	82,24609928 kWh	157,7553799 kWh	82,24609928 kWh	437,2192208 kWh
Febrero	241,001485 kWh	606,5053 kWh	84,41255735 kWh	156,588928 kWh	84,41255735 kWh	365,5038147 kWh
Marzo	243,001498 kWh	604,5906 kWh	81,82503674 kWh	161,1764609 kWh	81,82503674 kWh	361,5891023 kWh
Abril	245,00151 kWh	603,9052 kWh	79,26412025 kWh	165,7373897 kWh	79,26412025 kWh	358,90369 kWh
Mayo	246,001516 kWh	645,1145 kWh	74,77927231 kWh	171,2222439 kWh	74,77927231 kWh	399,1129838 kWh
Junio	247,001522 kWh	599,8886 kWh	79,27006566 kWh	167,7314567 kWh	79,27006566 kWh	352,8870777 kWh
Julio	240,001479 kWh	608,3598 kWh	76,87576822 kWh	163,125711 kWh	76,87576822 kWh	368,3583208 kWh
Agosto	243,001498 kWh	618,5871 kWh	81,06927978 kWh	161,9322179 kWh	81,06927978 kWh	375,5856023 kWh
Septiembre	241,001485 kWh	568,3141 kWh	75,3617344 kWh	165,6397509 kWh	75,3617344 kWh	327,3126147 kWh
Octubre	239,001473 kWh	565,3759 kWh	80,72226297 kWh	158,27921 kWh	80,72226297 kWh	326,374427 kWh
Noviembre	235,001448 kWh	582,6275 kWh	74,43126762 kWh	160,5701807 kWh	74,43126762 kWh	347,6260516 kWh
Diciembre	233,001436 kWh	676,9839 kWh	75,47936735 kWh	157,5220687 kWh	75,36601633 kWh	444,095815 kWh
Año	2893,01783 kWh	7357,4732 kWh	945,7368319 kWh	1947,280998 kWh	945,6234809 kWh	4464,568721 kWh
Promedio	241,084819 kWh	613,1227667 kWh	78,81140266 kWh	162,2734165 kWh	78,80195674 kWh	372,0473934 kWh
Porcentaje	-154%	254%		26%	13%	61%

Figura 8.27: Consumo, Importacion, Exportacion y Excedentes – Sistema 5.

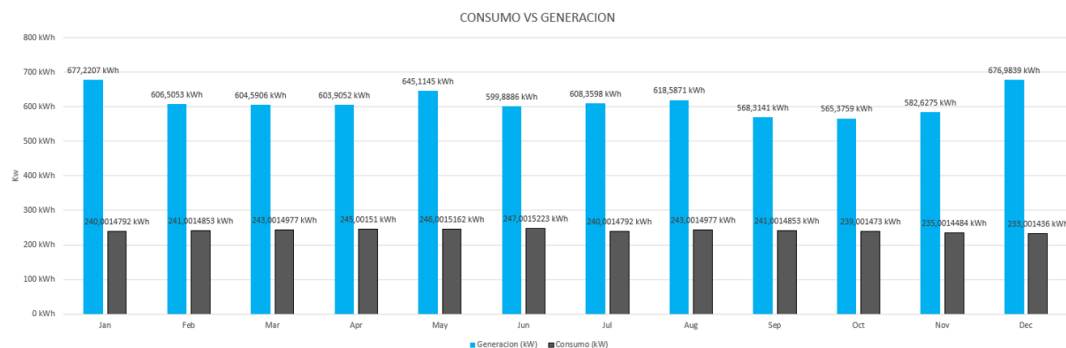


Figura 8.28: Comparativa Consumo vs Generacion– Sistema 5.

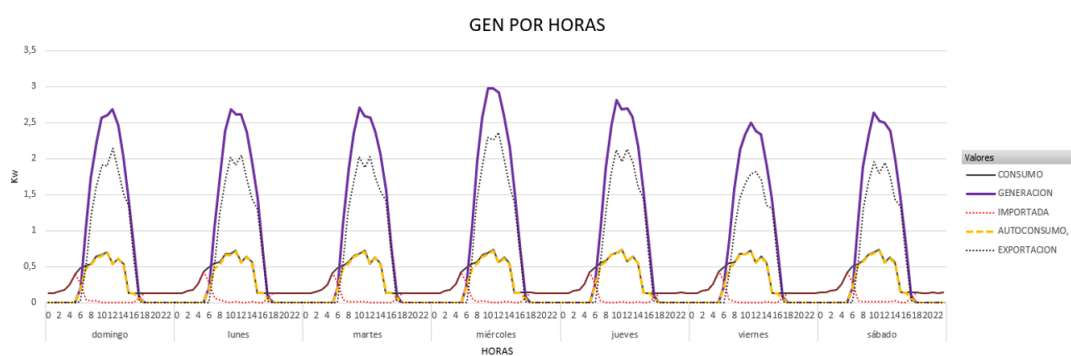


Figura 8.29: Curvas en conjunto– Sistema 5.

INFORMACION PROPUESTA	
TAMAÑO DEL SISTEMA	4720 Wp
AHORROS ANUALES	\$ 4.247.000,70
PRODUCCION ANUAL	7357,5 kWh
CONSUMO ACTUAL	241,1 kWh/mes
TARIFA ACTUAL DE ENERGIA	\$ 1.281,76
LARGO	2,3 M
ANCHO	1,2 M
AREA	22,08 M2
INVERSION	-\$ 19.447.300,00
%IVA	19%
IVA	-\$ 3.694.987,00
TOTAL	-\$ 23.142.287,00
TIR	20%
PERIODO DE RECUPERACION	4,6 Años

Figura 8.30: Analisis economico – Sistema 5.

Capítulo 9

Organización en cubierta y disposición de tableros

Se definió la disposición física de los módulos fotovoltaicos sobre la cubierta, buscando una distribución que maximizara la captación solar y facilitara las labores de instalación y mantenimiento. Se tuvieron en cuenta aspectos como separación entre filas, accesos, rutas de cableado y puntos de anclaje estructural.

De igual manera, se estableció la ubicación de los tableros de conexión en corriente continua y corriente alterna, garantizando condiciones adecuadas de ventilación, accesibilidad, señalización y protección mecánica.

Segun lo dialogado con la comunidad de la plaza y con la administradora, se comento que habia un espacio en donde se podrian proyectar poner los equipos, ya que este lugar no se habia usado y no se contemplaba usarlo, por lo cual lo escogimos y calculamos bajo esa disposicion ciertamente dada desde el inicio.

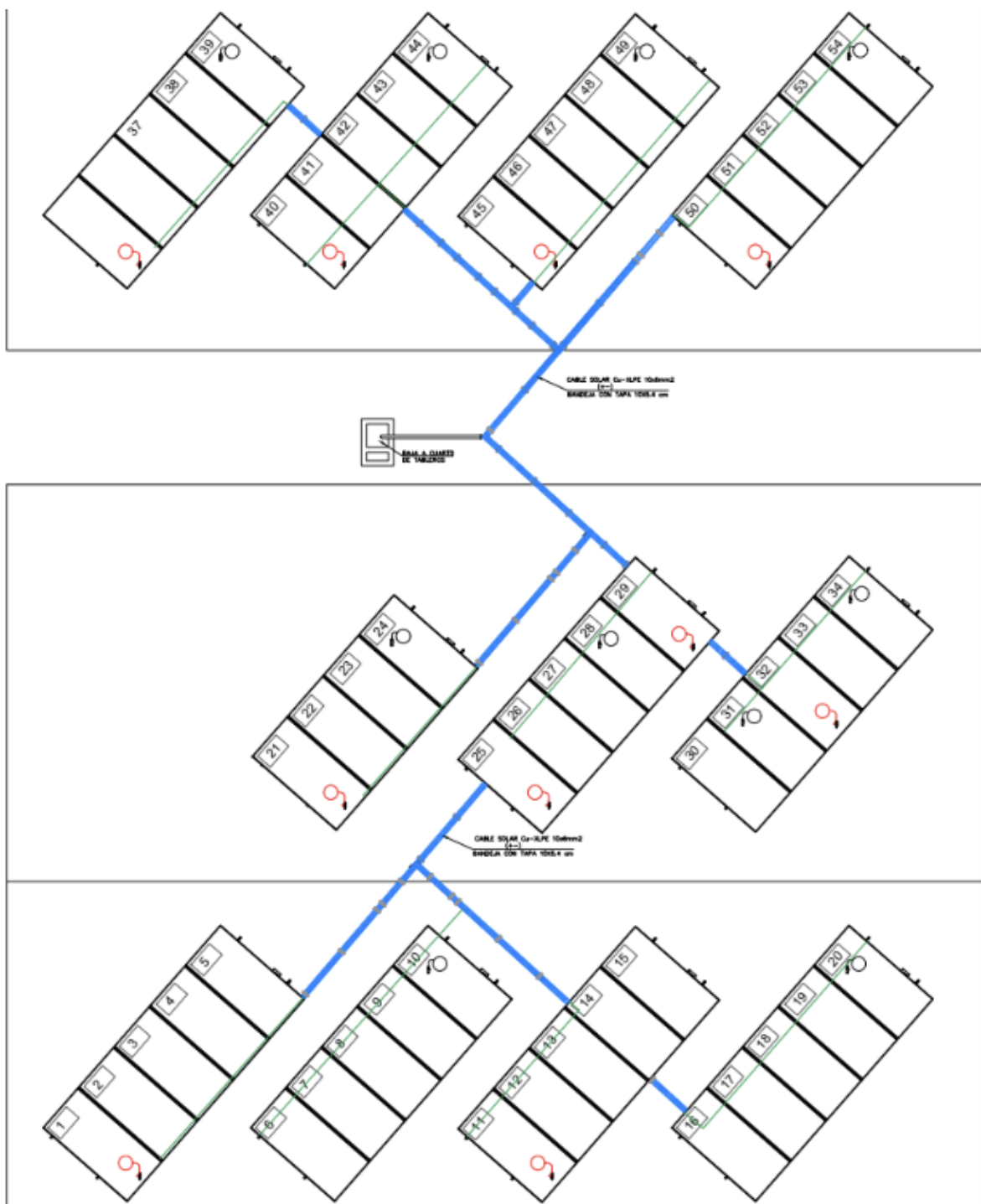


Figura 9.1: Disposicion en cubierta.

TABLERO TRIFASICO DE SISTEMAS

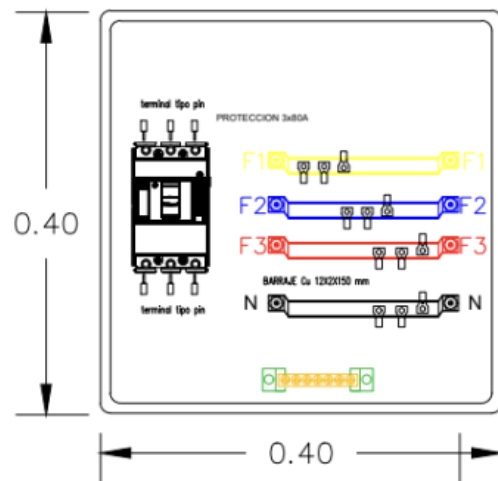


Figura 9.2: Detalle tablero.

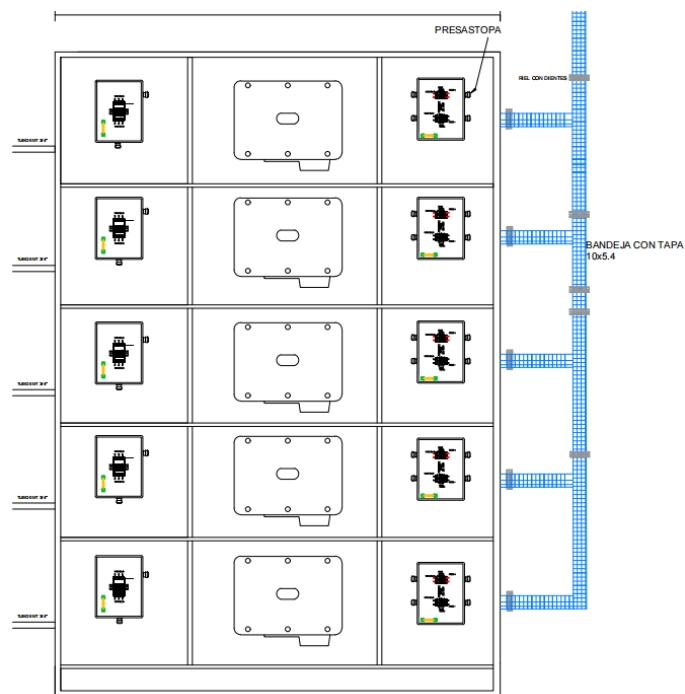


Figura 9.3: Detalle tablero de llegada SFV.

Capítulo 10

Evaluación del sistema de puesta a tierra y mitigación de riesgos

Este proyecto se desarrolló de manera integral, teniendo en cuenta que la ingeniería no debe enfocarse únicamente en una situación específica, sino que también debe considerar los factores externos que pueden influir en su desempeño y los criterios necesarios para validar su correcta implementación. Por esta razón, además del dimensionamiento y la caracterización de los usuarios, se realizó el análisis y diagnóstico del sistema de puesta a tierra.

Durante este proceso, la administradora de la plaza y miembros de la comunidad con varios años de permanencia en el lugar comentaron que inicialmente se había proyectado la instalación de una caja de inspección para la puesta a tierra; sin embargo, por motivos que no se conocen con certeza, dicha caja no fue utilizada y permaneció en el sitio. Ante esta situación, se consultó si, en caso de desarrollarse el proyecto, sería posible hacer uso de esta infraestructura existente, a lo cual se obtuvo una respuesta afirmativa. En consecuencia, fue necesario verificar su condición mediante la medición de su resistencia eléctrica.

Uno de los integrantes del grupo labora en la empresa Solectrica, la cual facilitó el equipo necesario para realizar la medición. Esta se llevó a cabo con un telurómetro, obteniéndose un valor de **7,96 ohm**, lo que representa un resultado favorable, dado que los valores de referencia aceptables se encuentran por debajo del rango de **10 a 25 ohm**. Por lo tanto, se concluyó que la caja de inspección existente puede ser utilizada para la implementación del sistema proyectado.

Adicionalmente, se realizó el estudio de análisis de riesgo por descargas atmosféricas, en el cual se determinó que la probabilidad de impactos anuales en la zona es baja. Asimismo, se tuvo en cuenta la presencia de edificaciones de mayor altura en el entorno, las cuales influyen en la captación natural de descargas. Como resultado de los cálculos realizados, los niveles de riesgo obtenidos se ubicaron por debajo de los valores tolerables, evidenciando que no es

necesaria la implementación de un sistema de apantallamiento adicional.



Figura 10.1: Medición de resistencia a tierra.

Capítulo 11

Trámite de factibilidad, reforma del sistema y proceso de legalización

Desde el punto de vista técnico y regulatorio, los cinco sistemas fotovoltaicos dimensionados no requieren, de manera individual, la realización de estudios de factibilidad ni de conexión a la red, dado que la potencia instalada en cada caso no supera el 50 % de la carga promedio de los usuarios y, adicionalmente, el transformador de distribución no opera por encima del 80 % de su capacidad nominal. Bajo estas condiciones, los sistemas pueden clasificarse dentro de los esquemas de autogeneración a pequeña escala sin impacto significativo sobre la red existente.

No obstante, los usuarios manifestaron su interés en realizar una modificación en la arquitectura de conexión, consistente en la implementación de un **tablero común alimentado directamente desde las bornas del transformador**, con el fin de independizar los sistemas fotovoltaicos y sus puntos de inyección de la red de uso interna de la plaza. Esta decisión implica una **reforma en la infraestructura eléctrica existente**, lo cual hace indispensable la realización del trámite de factibilidad ante el operador de red. Tenemos un lista, de los requisitos que son necesarios cuando se realizan tramites de este tipo, los cuales segun la ESSA, entran en tramites complejos, y es necesario revisar cuales aplican segun el tipo de proyecto.

<input type="checkbox"/>	1. Formato de solicitud de servicio. FPSTV002-V2
<input type="checkbox"/>	2. Cronograma de entrada en operación.
<input type="checkbox"/>	3. Formato de información del sistema de medición para registro de fronteras comercial - Medida semidirecta e indirecta. FPSTV021-V1
<input type="checkbox"/>	4. Formato de solicitud de recibo técnico. FPSTV026-V1
<input type="checkbox"/>	5. Fotocopia de la cédula y matrícula profesional del ingeniero diseñador.
<input type="checkbox"/>	6. Fotocopia de la cédula del propietario o representante legal.
<input type="checkbox"/>	7. Registro Único Tributario - RUT, con fecha de generación no mayor a 30 días.
<input type="checkbox"/>	8. Certificado de libertad y tradición del predio.
<input type="checkbox"/>	9. Carta poder de autorización del propietario o representante legal para realización del trámite.
<input type="checkbox"/>	10. Carta de solicitud de retiro de sellos y medidores, firmada por el propietario o autorizado, si es autorizado debe presentar poder.
<input type="checkbox"/>	11. Carta de comunicación de elección de comercializador.
<input type="checkbox"/>	12. Factibilidad aprobada y vigente.
<input type="checkbox"/>	13. Certificados de calibración y protocolos del medidor, transformadores de corriente y transformadores de potencial.
<input type="checkbox"/>	14. Certificados de conformidad de producto de los elementos que conforman el sistema de medida vigente.
<input type="checkbox"/>	15. Dictamen de certificación RETIE.
<input type="checkbox"/>	16. Declaración de cumplimiento del RETIE, según su artículo 34.9. Subestación y TGBT. Media tensión. Sistema de medida.
<input type="checkbox"/>	17. Fotocopia de matrícula profesional del electricista constructor.

Figura 11.1: Lista de requisitos conexion compleja.

11.1. Documentación requerida para el trámite

Para dar inicio al proceso de factibilidad, se estableció como necesario contar con la siguiente documentación por parte de los propietarios de los puntos de servicio:

- Copia del documento de identidad de los titulares de las cuentas de energía.
- Carta de autorización dirigida a la empresa encargada de la ejecución de la reforma, en la cual los propietarios facultan la realización de los trámites ante la Empresa Electricadora de Santander (ESSA).
- Formato de solicitud del servicio diligenciado, conforme a los requisitos establecidos por el operador de red.

11.2. Etapa de diseño y aprobación de planos

Una vez recopilada la documentación, se procede con la elaboración del diseño técnico de la reforma. En esta etapa se desarrollan los planos unifilares y la memoria de cálculo asociada, los cuales incluyen, entre otros aspectos, los cálculos de regulación de tensión, las distancias de seguridad, la selección de conductores, el dimensionamiento de las protecciones y el detalle constructivo de todos los elementos que serán intervenidos o instalados.

Estos documentos son presentados al operador de red para su revisión y aprobación. La validación de los planos constituye un requisito previo para el inicio de la fase de construcción del tablero totalizador y de la instalación definitiva de los sistemas fotovoltaicos.

11.3. Construcción, interventoría y certificación

Con los planos aprobados, se procede a la ejecución de las obras correspondientes, las cuales incluyen la construcción del tablero de conexión en corriente alterna, la instalación de los sistemas fotovoltaicos y la implementación de los elementos de protección y puesta a tierra definidos en el diseño.

Posteriormente, se solicita la interventoría por parte del equipo técnico de la ESSA, quien realiza una inspección en campo para verificar que la instalación cumpla con los lineamientos técnicos y constructivos aprobados, así como con la normativa vigente aplicable.

De manera complementaria, se tramita la certificación RETIE, para lo cual un inspector autorizado evalúa el cumplimiento de los requisitos de seguridad eléctrica, señalización, protecciones, puesta a tierra y documentación técnica del sistema.

11.4. Legalización y puesta en servicio

Una vez superadas las etapas de interventoría y certificación, se realiza la solicitud formal de conexión y legalización ante la ESSA. En esta fase, el operador de red efectúa la instalación de los medidores correspondientes, los cuales son suministrados en condición de comodato, y habilita oficialmente la operación de los sistemas fotovoltaicos en paralelo con la red de distribución.

Con este procedimiento se garantiza que la integración de los cinco sistemas fotovoltaicos se realice de manera ordenada, segura y conforme a los requerimientos técnicos y regulatorios establecidos, asegurando tanto la protección de la infraestructura existente como la correcta trazabilidad de la energía generada y consumida por los usuarios.

Capítulo 12

Conclusión

El desarrollo del presente proyecto permitió dar cumplimiento integral a los tres objetivos planteados inicialmente, demostrando la viabilidad técnica, normativa y financiera de la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en la Plaza de Mercado La Concordia. A pesar de los retos encontrados durante las etapas de recolección de información, caracterización de la red y socialización con los usuarios, se logró un impacto directo en la reducción del costo energético de los establecimientos participantes, reflejado en los ahorros anuales obtenidos y en periodos de retorno de la inversión inferiores a cinco años.

Los sistemas diseñados presentan una vida útil estimada del orden de los quince años, lo que permite proyectar al menos una década de aprovechamiento neto posterior al periodo de recuperación de la inversión. Asimismo, los costos de operación y mantenimiento se encuentran cubiertos por los mismos beneficios económicos generados por la autogeneración, fortaleciendo la sostenibilidad del proyecto a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista técnico y normativo, se verificó el cumplimiento de los requerimientos establecidos por la reglamentación vigente, garantizando condiciones adecuadas de seguridad eléctrica, calidad del servicio y compatibilidad con la red del operador. En términos de capacidad de integración, los cinco usuarios seleccionados representan aproximadamente el 54 % del límite máximo permitido para la inyección de energía al transformador bajo la figura de Autogeneración a Pequeña Escala, lo que deja un margen disponible para la futura incorporación de nuevos sistemas sin comprometer la estabilidad del sistema eléctrico.

Finalmente, el proyecto fue concebido como una intervención integral estructurada en dos fases. La primera, desarrollada en este trabajo, valida la factibilidad y establece un modelo técnico replicable. La segunda se proyecta como una oportunidad para integrar nuevos usuarios y promover la modernización progresiva de la infraestructura eléctrica de la plaza, con el propósito de fortalecer las condiciones de seguridad para las personas, los equipos y la continuidad del servicio, incentivando así una adopción más amplia de soluciones energéticas

sostenibles en el entorno comercial.