

# **Marco Teórico y Normativo**

Diseño de un Sistema de Generación Fotovoltaica para la Plaza de Mercado La  
Concordia

Bucaramanga, Santander

## **Autores**

Yurbreniner Reinaldo Barajas López  
Juan Andrés Velandia Cárdenas

Trabajo de Grado para optar al título de  
**Ingeniero Electricista**

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

22 de enero de 2026

# Índice general

<b>1. Marco Teórico y Normativo</b>	<b>2</b>
1.1. Normativa Usada . . . . .	2
1.2. Transición Energética y Rol de la Energía Solar Fotovoltaica . . . . .	6
1.3. Fundamentos de la Energía Solar Fotovoltaica . . . . .	7
1.3.1. Principio del Efecto Fotovoltaico . . . . .	7
1.3.2. Componentes Principales de un Sistema Fotovoltaico . . . . .	7
1.4. Tecnologías Fotovoltaicas . . . . .	8
1.5. Ventajas y Limitaciones de los Sistemas Fotovoltaicos . . . . .	8
1.6. Marco Normativo para Sistemas Fotovoltaicos en Colombia . . . . .	8
1.7. Aplicación del Marco Normativo al Contexto de la Plaza La Concordia . . .	9

# Capítulo 1

## Marco Teórico y Normativo

### 1.1. Normativa Usada

Para la realización del presente trabajo fue necesario desarrollar diversos cálculos técnicos, los cuales se fundamentaron en normativa vigente y documentos técnicos de referencia. Entre las principales fuentes normativas utilizadas se encuentran la **Norma Técnica de Diseño de la ESSA** y el documento **NC-RA8-030**, los cuales establecen los lineamientos para el diseño, verificación y validación de sistemas eléctricos en entornos comerciales.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos en la caracterización energética con valores de referencia normativos, se emplearon tablas técnicas extraídas de los manuales de la ESSA, tales como la Figura A.10 (página 120), utilizada para contrastar los perfiles de demanda obtenidos en campo.

Para los cálculos de regulación de tensión y pérdidas eléctricas se tuvieron en cuenta los porcentajes máximos admisibles establecidos en la normativa, garantizando que los valores proyectados se mantuvieran dentro de los límites de seguridad y calidad del servicio. De igual forma, en los planos eléctricos se incluyeron las distancias mínimas de seguridad exigidas para instalaciones eléctricas, con el propósito de asegurar condiciones adecuadas de operación y protección de los usuarios.

En el cálculo de la demanda máxima y diversificada se aplicaron los factores correspondientes definidos en los documentos técnicos de la ESSA (página 23), los cuales permiten estimar de manera realista el comportamiento conjunto de múltiples usuarios conectados a un mismo sistema de distribución.

Para la selección de conductores se utilizó la tabla de capacidades de conducción de corriente y caída de tensión especificada en la normativa (página 42), asegurando la correcta dimensionamiento de los conductores en función de las corrientes de operación y las condiciones de instalación.

Finalmente, para verificar la exactitud y clasificación de los equipos de medición y protección proyectados en el diagrama unifilar, se consultó la normativa del Grupo EPM, en la cual se establecen los requisitos de clase de exactitud y condiciones técnicas para transformadores de corriente, transformadores de tensión y medidores de energía (páginas 15 y 22).

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 1.1: Tabla de porcentajes tolerables segun tipo de red

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 1.2: Tabla de perdidas tolerables segun tipo de red

Las construcciones deberán respetar las distancias mínimas de seguridad presentadas en la tabla 2.9.

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas. (Figura 1)	34,5	3,8
	13,2	3,8
	< 1	0,45
Distancia horizontal "b" a muros, proyecciones, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 1)	115	2,8
	66	2,5
	34,5	2,3
	13,2	2,3
	< 1	1,7
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 1)	34,5	4,1
	13,2	4,1
	< 1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a trafico vehicular. (Figura 1)	115	6,1
	66	5,8
	34,5	5,6
	13,2	5,6
	< 1	5

Tabla 2.9 Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones

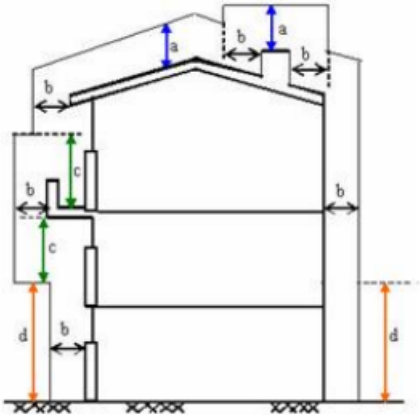


Figura 1 Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones

Figura 1.3: Tabla y esquema de distancias minimas de seguridad.

SECTOR	FACTOR DE DIVERSIDAD
ESTRATOS 1, 2, 3 y 4	$F_{div\_res} = \frac{1}{0,2 + 0,8 * e^{\left(\frac{1-N}{6}\right)}}$
ESTRATOS 5 y 6	$F_{div\_res} = \frac{1}{0,3 + 0,7 * e^{\left(\frac{1-N}{6}\right)}}$
COMERCIAL USUARIOS MONOFÁSICOS BIFILARES	$F_{div\_com} = \frac{1}{0,2 + 0,8 * e^{\left(\frac{1-N}{4,5}\right)}}$
COMERCIAL USUARIOS TRIFILARES Y TETRAFILARES	$F_{div\_com} = \frac{1}{0,3 + 0,7 * e^{\left(\frac{1-N}{4,5}\right)}}$

Tabla 2.16 Factores de diversidad

Figura 1.4: Tabla de factores de diversidad por tipo usuario final

Conductor		Temperatura nominal del conductor						Conductor desnudo	
		60 °C TW		75 °C THW		90 °C XLP			
Sección transv. [mm²]	Calibre AWG o kcmil	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
0,82	18	-	-	-	-	18	-	-	-
1,31	16	-	-	-	-	24	-	-	-
2,08	14	25*	-	30*	-	35*	-	30	-
3,3	12	30*	25*	35*	30*	40*	35*	40	30
5,25	10	40	35*	50*	40*	55*	40*	55	45
8,36	8	60	45	70	55	80	60	70	55
13,29	6	80	80	95	75	105	80	100	80
21,14	4	105	80	125	100	140	110	130	100
26,66	3	120	95	145	115	165	130	150	115
33,62	2	140	110	170	135	190	150	175	135
42,2	1	165	130	195	155	220	175	205	160
53,5	0	195	150	230	180	280	205	235	185
67,44	00	225	175	265	210	300	235	275	250
85,02	000	260	200	310	240	350	275	320	250
107,21	0000	300	235	360	280	405	315	370	290
126,67	250	340	265	405	315	455	355	410	320
152,01	300	375	290	445	350	505	395	460	360
177,34	350	420	330	505	395	570	445	510	400
202,68	400	455	356	545	425	615	480	555	435
253,35	500	515	405	620	485	700	545	630	490
304,02	600	575	455	690	540	780	615	710	560
354,69	750	630	500	755	595	855	675	780	615
380,02	700	655	515	785	620	885	725	810	640
405,36	800	880	535	815	845	920	700	845	670
456,03	900	730	580	870	700	985	785	905	725
506,7	1000	780	625	935	750	1055	845	965	770
633,38	1250	890	710	1065	855	1200	960		
760,05	1500	980	795	1175	950	1325	1075		
886,73	1750	1070	875	1280	1050	1445	1185		
1013,4	2000	1155	960	1385	1150	1560	1335		

Tabla 3.14 Capacidades de corriente (A) permisibles para conductores sencillos  
Aislados para 0-2000 V nominales al aire libre y temperatura ambiente de 30 °C

Figura 1.5: Tabla de ampacidad segun conductores

**Tabla 2. Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida (Resolución CREG 038-2014)**

Tipo de puntos de medición	Índice de clase para medidores de energía activa	Índice de clase para medidores de energía reactiva	Clase de exactitud para transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
1	0.2 S	2	0.2 S	0.2
2 y 3	0.5 S	2	0.5 S	0.5
4	1	2	0.5	0.5
5	1	2	--	--

Figura 1.6: Tabla de índices de clase para medidores

**Tabla 5. Selección de los medidores de energía, (basado en NTC 5019-2018)**

Tipo de medición	Tipo de servicio	Nivel de tensión		Capacidad Instalada (CI) en kVA	Descripción del medidor <sup>1</sup>		
		RETIE	CREG		Medidor	Energía <sup>2</sup>	Clase <sup>4</sup>
Directa	Monofásico bifilar	BT	1	$CI \leq X^3$	Monofásico bifilar	Activa	1 Activa
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva
	Monofásico trifilar	BT	1	$CI \leq X^3$	Monofásico trifilar ó Bifásico trifilar	Activa	1 Activa
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva
	Bifásico trifilar	BT	1	$CI \leq X^3$	Bifásico trifilar	Activa	1 Activa
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva
	Trifásico tetrafililar	BT	1	$CI \leq X^3$	Trifásico tetrafililar	Activa	1 Activa
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva

PA-NC-RA8-030 Selección y conexión de equipos del sistema de medida de energía eléctrica Página 22 de 71

Figura 1.7: Tabla de índices de clase para medidores

## 1.2. Transición Energética y Rol de la Energía Solar Fotovoltaica

La transición energética se ha consolidado como un eje estratégico para los países que buscan reducir su dependencia de fuentes fósiles y mitigar los efectos ambientales asociados a los sistemas tradicionales de generación eléctrica. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se posiciona como una de las alternativas más relevantes debido a su carácter renovable, su disponibilidad prácticamente inagotable y su bajo impacto ambiental durante la etapa de operación.

A nivel global, los avances tecnológicos y la reducción progresiva en los costos de los

módulos fotovoltaicos han permitido que esta tecnología alcance la denominada *paridad de red*, en la cual el costo de generación de la electricidad solar es comparable o incluso inferior al de la energía suministrada por los sistemas convencionales. Este escenario ha favorecido la adopción de sistemas de autogeneración en los sectores residencial, comercial e industrial.

En Colombia, la transición hacia un modelo energético más diversificado ha sido impulsada por la necesidad de reducir la dependencia del recurso hidroeléctrico y aprovechar el potencial solar presente en amplias regiones del territorio nacional. La Hoja de Ruta para la Transición Energética, liderada por el Ministerio de Minas y Energía, promueve la incorporación de fuentes no convencionales como mecanismo para fortalecer la seguridad energética y la resiliencia del sistema eléctrico.

## 1.3. Fundamentos de la Energía Solar Fotovoltaica

### 1.3.1. Principio del Efecto Fotovoltaico

La conversión de la energía solar en energía eléctrica se fundamenta en el efecto fotovoltaico, un fenómeno físico que ocurre en materiales semiconductores, principalmente el silicio. Cuando los fotones provenientes de la radiación solar inciden sobre la superficie de una celda fotovoltaica, transfieren su energía a los electrones del material, generando pares electrón-hueco.

En presencia del campo eléctrico interno generado por la unión tipo  $p-n$  del semiconductor, estos portadores de carga se desplazan de manera ordenada, produciendo una corriente eléctrica en corriente continua. La interconexión de múltiples celdas permite la conformación de módulos fotovoltaicos, los cuales pueden agruparse en arreglos para suministrar energía a diferentes escalas de potencia.

### 1.3.2. Componentes Principales de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico para autoconsumo está conformado por los siguientes elementos principales:

- **Módulos fotovoltaicos:** captan la radiación solar y la convierten en energía eléctrica en corriente continua.
- **Regulador de carga:** gestiona el flujo de energía hacia los sistemas de almacenamiento, evitando sobrecargas y descargas profundas.
- **Baterías:** almacenan la energía generada para su uso en periodos sin irradiación solar.



- **Inversor:** convierte la corriente continua en corriente alterna para su compatibilidad con la red y los equipos eléctricos convencionales.
- **Sistema de protecciones y cableado:** garantiza la seguridad operativa y el cumplimiento de la normativa técnica vigente.

## 1.4. Tecnologías Fotovoltaicas

Las principales tecnologías de módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado son:

- **Silicio monocristalino:** presenta altos niveles de eficiencia, generalmente entre el 17 % y el 22 %, adecuado para espacios con limitación de área.
- **Silicio policristalino:** ofrece eficiencias intermedias, en el rango del 13 % al 17 %, con menores costos de fabricación.
- **Película delgada (Thin-Film):** se caracteriza por menor eficiencia, pero mayor flexibilidad y mejor comportamiento en condiciones de alta temperatura o baja irradiación.

La selección tecnológica depende de factores como disponibilidad de espacio, condiciones climáticas, nivel de irradiación solar y restricciones económicas del proyecto.

## 1.5. Ventajas y Limitaciones de los Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos presentan ventajas ambientales, económicas y operativas, entre las que se destacan la reducción de emisiones contaminantes, la disminución de los costos de facturación eléctrica y el bajo requerimiento de mantenimiento.

No obstante, su operación depende de la disponibilidad del recurso solar, lo que introduce un componente de intermitencia que puede requerir sistemas de almacenamiento o respaldo. Asimismo, la inversión inicial puede representar una barrera para algunos usuarios.

## 1.6. Marco Normativo para Sistemas Fotovoltaicos en Colombia

La **Ley 1715 de 2014** establece el marco legal para la promoción de las fuentes no convencionales de energía en Colombia, definiendo incentivos tributarios y mecanismos para fomentar la inversión en proyectos de energías renovables.

La **Resolución CREG 030 de 2018** define las condiciones para la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida, permitiendo a los usuarios generar energía para autoconsumo y entregar excedentes al sistema.

La **Resolución CREG 060 de 2019** introduce requerimientos técnicos adicionales para la conexión de sistemas de generación, exigiendo modelos de control, simulaciones y pruebas de desempeño con el fin de preservar la estabilidad del sistema eléctrico.

En el ámbito técnico, la **NTC 2050 – Sección 705** establece los lineamientos para la interconexión segura de sistemas fotovoltaicos, abordando aspectos como protecciones, sincronización, puesta a tierra y desconexión segura.

A nivel internacional, los módulos fotovoltaicos deben cumplir con las normas **IEC 61215**, **IEC 61701**, **IEC 61730-1**, **IEC 61730-2** y **UL 1703**, las cuales garantizan su desempeño, seguridad eléctrica y resistencia ambiental.

## 1.7. Aplicación del Marco Normativo al Contexto de la Plaza La Concordia

La aplicación del marco teórico y normativo al caso de la Plaza de Mercado La Concordia permite establecer criterios técnicos y legales que orientan el diseño del sistema fotovoltaico propuesto. La condición de entorno comercial urbano conectado al Sistema Interconectado Nacional hace pertinente la adopción de un esquema de autogeneración que priorice el autoconsumo y la entrega de excedentes a la red.

El cumplimiento de los lineamientos de la NTC 2050 y de los estándares internacionales en la selección de módulos y equipos eléctricos garantiza que la solución propuesta sea técnica, económica y normativamente viable, además de segura y alineada con las buenas prácticas de la ingeniería eléctrica.