

Estimación CAPEX, OPEX y LCOE

Con el propósito de realizar una evaluación de la inversión (CAPEX), se ejecutó un proceso de consulta en el mercado actual de Bucaramanga, específicamente en el ámbito de la construcción de sistemas fotovoltaicos. Este procedimiento permitió obtener datos fundamentales para la estimación de los costos asociados con el suministro, transporte e instalación de dichos sistemas. La valoración del CAPEX se llevó a cabo mediante la inclusión de elementos esenciales identificados en la **Tabla 1**. Esta tabla abarca los componentes fundamentales que inciden directamente en la inversión, abordando aspectos como los costos de adquisición de equipos, gastos de transporte y los desembolsos asociados con la fase de instalación. La identificación y cuantificación de estos elementos es crucial para garantizar una evaluación precisa del CAPEX en el contexto de la implementación de sistemas fotovoltaicos en el centro poblado de Llano de Palmas.

Tabla 1.

Costos de inversión del proyecto FV en Llano de Palmas .

PRESUPUESTO PROYECTO LLANO DE PALMAS					
PROPONENTE: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER					
OBJETO: SUMINISTRO, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO MEDIANTE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL CENTRO POBLADO LLANO DE PALMAS DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO, SANTANDER.					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VLR UNITARIO	VLR TOTAL
1.0	SISTEMA DE MEDIDA				
1.01	Suministro, transporte e instalación de medidor de energía indirecta bidireccional de frontera. Incluye: parametrización y calibración de los equipos asociados, bornera cortocircuitable. Involucra instalación de CT's y PT's.	UND	2	\$ 4,229,000	\$ 8,458,000
1.02	Suministro, transporte e instalación de sistema de medida indirecta bidireccional para facturación de generación. Incluye: medidor, parametrización y calibración de los equipos asociados, bornera cortocircuitable, CT's, PT's, protección eléctrica y gabinete.	UND	1	\$ 6,504,000	\$ 6,504,000



SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 14,962,000
2.0	ADECUACIÓN TABLEROS ELÉCTRICOS				
2.01	Adecuación TPDC Baja tensión. Incluye: Instalación de gabinete, protecciones eléctricas DC 16A, DPS DC, Fusibles 15 A y Portafusibles 30 A.	UND	3	\$ 4,200,000	\$ 12,600,000
2.02	Adecuación TGBT. Incluye: Instalación de gabinete, protección general de 3x250 A, protecciones 3x80A, barraje trifásico.	UND	1	\$ 6,000,000	\$ 6,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 12,600,000
3.0	TRANSFORMADOR DE POTENCIA				
3.01	Suministro, transporte e instalación de transformador de potencia de 75kVA junto con accesorios. Incluye: circuito ramal alimentador desde TGBT y protecciones eléctricas asociadas.	UND	1	\$ 20,000,000	\$ 20,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 20,000,000
4.0	CIRCUITOS RAMALES DE ALIMENTACIÓN				
4.01	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 1, desde TPDC 1 hasta el INV1. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	35.0	\$ 894,084	\$ 31,292,931
4.02	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 2, desde TPDC 2 hasta el INV2. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	40.0	\$ 894,084	\$ 35,763,350
4.03	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 3, desde TPDC 3 hasta el INV3. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	30.0	\$ 894,084	\$ 26,822,513
4.04	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV, desde el inversor hasta el TGBT.	ML	6.0	\$ 891,291	\$ 5,347,747
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 67,056,281
5.0	ELEMENTOS DE CONEXIÓN				
5.01	Suministro, transporte e instalación de los elementos de conexión del sistema generador. Incluye DPS y Caja de cortacircuitos.	UND	1	\$ 3,119,266	\$ 3,119,266
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 3,119,266
6.0	SFV ON GRID				
6.01	Suministro, transporte e instalación de sistema de generación solar fotovoltaico ON GRID SFV. Incluye: Capacidad instalada de 24750 W (45 paneles de 550 W c/u), 1 inversor ON GRID de 25 kW, sistema de monturas, cableado y conectores, tubería acorde, y protecciones eléctricas de sobre corriente y sobretensión	GLB	3	\$ 50,000,000	\$ 150,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 150,000,000
7.0	ESTRUCTURAS METÁLICAS				
7.01	Suministro, transporte e instalación de estructura metálica para el área efectiva según diseño estructural	UND	5	\$ 10,000,000	\$ 50,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 50,000,000
8.0	OBRA CIVIL				

8.01	Impermeabilización de puntos de anclaje y cubiertas intervenidas	GLB	1	\$ 4,107,499	\$ 4,107,499
8.03	Suministro, transporte e instalación de techo o cubierta protectora para zona de inversores y tableros de protecciones eléctricas	GLB	1	\$ 1,528,348	\$ 1,528,348
8.04	Resane de muros y pisos intervenidos	GLB	1	\$ 927,863	\$ 927,863
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 6,563,710
9	INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN RETIE				
9.01	Inspección de obra y certificación RETIE del sistema de generación fotovoltaico ON GRID SFV 70-80 kW.	UND	1	\$ 4,366,003	\$ 4,366,003
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 4,366,003
10	INSCRIPCIONES AGPE				
10.01	Inscripción como Autogenerador Colectivo ante el OR y comercializador incumbente para venta de excedentes de energía generados	UND	1	\$ 2,409,217	\$ 2,409,217
10.02	Inscripción del proyecto ante la UPME para obtener beneficios tributarios	UND	1	\$ 3,372,904	\$ 3,372,904
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 5,782,120
11	DISEÑOS				
11.01	Documentos finales de diseño eléctrico con el dimensionamiento del sistema de generación solar fotovoltaico ON GRID. Involucra: Validación de niveles de irradiación solar / Análisis de ubicación / Dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico / Ingeniería a detalle / Cronograma de obra / Presupuesto de obra.	GLB	1	\$ 13,101,709	\$ 13,101,709
11.02	Documentación de cierre y liquidación del proyecto.	GLB	1	\$ 5,206,041	\$ 5,206,041
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 18,307,750
COSTO DIRECTO					\$ 365,884,551
ADMINISTRACIÓN (INCLUYE IMPUESTOS Y CONTRIBUCIONES)				32.50%	\$ 118,912,479
IMPREVISTOS				1%	\$ 3,658,846
UTILIDAD				4.0%	\$ 14,635,382
SUBTOTAL DEL PROYECTO					\$ 503,091,257
IVA S/U				19%	\$ 2,780,723
VALOR TOTAL DEL PROYECTO					\$ 505,871,980

De acuerdo con la investigación realizada por la Universidad del Rosario (RENOVABLES, M. E. E), se ha concluido que el gasto operativo (OPEX) asociado al

mantenimiento de sistemas fotovoltaicos de pequeño tamaño, menores a 100 kWp, representa el 1% anual del valor de la inversión (CAPEX). Esta proporción se ha establecido como óptima para preservar la eficiencia y funcionalidad de los sistemas fotovoltaicos a lo largo del tiempo. Es relevante señalar que este 1% anual se ajusta de manera anual en función de la tasa de inflación en Colombia.

En la **Tabla 2** se muestra el CAPEX y el OPEX obtenidos al excluir e incluir los impuestos y contribuciones.

Tabla 2.

CAPEX y OPEX del proyecto con y sin impuestos.

INFORMACION DEL PROYECTO	
CAPEX1	\$ 505,871,980
OPEX 1	5058719.8
CAPEX 2	\$ 386,959,501
OPEX 2	3869595.01
TASA DE OPORTUNIDAD	6%
VIDA UTIL DEL ACTIVO	20

La determinación precisa de los costos estimados de producción relacionados con la ejecución del proyecto demanda la evaluación del costo promedio total de construcción y operación de una central eléctrica, en este escenario, una fuente de Generación Fotovoltaica. Este procedimiento implica la división de los costos totales involucrados en el desarrollo y funcionamiento de la instalación entre la cantidad de energía total que se espera generar a lo largo de su vida útil. En este contexto, se establece un período de referencia de 20 años para calcular de manera efectiva el costo promedio por unidad de energía generada, permitiendo así una evaluación más precisa de la viabilidad económica y financiera del proyecto a lo largo de su ciclo de vida.

Para los cálculos se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (1)$$

$$LCOE = \frac{Inv + AOM}{E_T} \quad (2)$$

Donde:

K= Factor empleado para calcular el costo anual equivalente del proyecto.

r= Tasa de oportunidad.

n= Vida útil del activo.

LCOE= Coste nivelado de la energía.

Inv=Inversión inicial (CAPEX).

AOM= Costos de Administración Operación y Mantenimiento del proyecto (OPEX).

ET= Energía generada durante 1 año.

La **Tabla 3** presenta valores claves relacionados con el desarrollo económico del sistema de generación fotovoltaica que se planea implementar en la zona de Llano de Palmas asumiendo que este sea otorgado por medio de licitación pública.

Tabla 3.

Costos estimados de producción del proyecto FV con impuestos.

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN		
CAPEX	505871979.8	\$
FACTOR	0.0872	
COSTO ANUAL EQUIVALENTE	44104224.4	\$
OPEX	5058719.8	\$
ENERGIA GENERADA	100190.7	kWh/año
LCOE	490.7	\$/kWh
LCOE	0.118	USD/kWh

La **Tabla 4** presenta valores claves relacionados con el desarrollo económico del sistema de generación fotovoltaica que se planea implementar en la zona de Llano de Palmas asumiendo que este sea construido directamente por la comunidad de la zona de influencia.

Tabla 4.

Costos estimados de producción del proyecto FV sin impuestos.

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN		
CAPEX	386959500.8	\$
FACTOR	0.0872	
COSTO ANUAL EQUIVALENTE	33736892.6	\$
OPEX	3869595.0	\$
ENERGIA GENERADA	100190.7	kWh/año
LCOE	375.3	\$/kWh
LCOE	0.091	USD/kWh