

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA E IMPACTO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA**

**CARLOS DAVID LEÓN RODRÍGUEZ
PAULA ANGÉLICA TORRES PABÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2019

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA E IMPACTO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA**

**CARLOS DAVID LEÓN RODRÍGUEZ
PAULA ANGÉLICA TORRES PABÓN**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director

**MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL
Magister en Ingeniería Eléctrica**

Codirector

**GABRIEL ORDOÑEZ PLATA
Doctor en Ingeniería Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios, ya que me brindo fortaleza y sabiduría en los momentos más difíciles de mi carrera, a mis padres, Noelva y Florentino, quienes me apoyaron incondicionalmente y fueron mi inspiración para salir adelante, no solo con mi proyecto de grado, si no, con mi proyecto de vida.

Carlos David León Rodríguez

Dedico el esfuerzo y el éxito de esta etapa que culmina, con la realización de este proyecto, a Dios como principal artífice de todas las bendiciones en mi vida, a mi madre Lilibian y a mi hermana Valeria, quienes me apoyaron y animaron a seguir adelante, a mis tíos, Jaime, Néstor y César, quienes fueron como unos padres para mí, ayudándome en absolutamente todo lo que necesité, a mi abuelito Adolfo y a mi abuelita Leo, quienes con su amor y colaboración, fueron los principales promotores de mi carrera universitaria.

Paula Angélica Torres Pabón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente a Dios por su inmenso amor, manifestado en su ayuda constante en todos los campos de nuestra vida, siendo su guía e iluminación indispensables para culminar exitosamente nuestra carrera universitaria, así, como para realizar el presente trabajo investigativo. Mil gracias Padre.

Agradecemos a nuestras familias quienes nos han apoyado desde siempre, gracias por ser nuestros primeros maestros y formarnos en el amor y la disciplina, llevándonos a ser las personas que hoy somos, a ellos, nuestra más sincera gratitud.

Gracias a nuestro director y profesor, Manuel Ortiz, por brindarnos sus conocimientos y ayuda en la realización de este proyecto, así como su amistad y consejo.

Gracias a nuestro codirector y profesor, Gabriel Ordoñez, por su comprensión y escucha, por ayudarnos y orientarnos en momentos de dificultad.

Finalmente, agradecemos a la Fundación Colegio UIS por permitirnos realizar nuestro trabajo de grado en sus instalaciones, recibiéndonos de manera amena, y ofreciendo amablemente su colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
JUSTIFICACIÓN.....	22
 1. OBJETIVOS.....	 23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
 2. MARCO REFERENCIAL	 25
2.1 MARCO TEÓRICO	25
2.1.1 Energías Renovables.....	25
2.1.2 Energía Solar.....	26
2.1.3 Sistema fotovoltaico.....	28
2.1.3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR).....	29
2.1.4 Huella de Carbono.....	31
2.2 MARCO LEGAL.....	34
3.2.1 Incentivos gubernamentales para la incorporación de PROURE y Energías renovables no convencionales.....	36
 4. METODOLOGÍA A IMPLEMENTAR Y DESARROLLO DEL TRABAJO.....	 40
4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR.....	42
4.1.1 Caracterización del consumo energético de la institución.....	45
4.1.2 Descripción del sistema fotovoltaico.....	47
4.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	50
4.2.1 Aspectos Técnicos.....	50
4.2.2 Aspectos Meteorológicos.....	70
4.2.3 Aspectos Económicos.....	87

4.3 ANÁLISIS FINANCIERO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SFV	93
4.3.1 Proyección de Ingresos.	93
4.3.2 Costos Operacionales.....	97
4.3.3 Margen de Utilidad.....	98
4.3.7 Periodo de recuperación de la inversión.	102
4.3.8 Tasa Interna de Retorno (TIR).	103
4.3.9 Relación Beneficio-Costo.....	104
4.3.10 Análisis financiero incluyendo el ahorro por impuesto.....	106
4.3.11 Valor presente neto (VPN) con el ahorro por el pago del impuesto.....	108
4.3.12 Periodo de recuperación de la inversión con el ahorro por el pago del impuesto.....	109
4.3.13 Tasa Interna de Retorno (TIR) con el ahorro por el pago del impuesto....	110
4.3.14 Relación Beneficio-Costo con el ahorro por el pago del impuesto.....	110
4.4 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SFV.....	111
4.4.1 Identificación de condiciones desfavorables.	112
4.4.2 Evaluación de la potencia entregada de acuerdo al recurso solar.	117
4.4.3 Evaluación de la energía entregada de acuerdo al recurso solar.	119
4.5 HUELLA DE CARBONO REDUCIDA POR EL SFV.....	123
4.6 SOCIALIZACIÓN EN LA INSTITUCIÓN	126
5. CONCLUSIONES	129
6. RECOMENDACIONES.....	132
BIBLIOGRAFÍA.....	134
ANEXOS	137

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Capacidad global de energía renovable, 2007-2017	26
Figura 2. Capacidad instalada de energía solar a nivel mundial 2010-2018	27
Figura 3. Resumen de las funciones de los componentes de un sistema fotovoltaico	28
Figura 4. Satélite de comunicaciones Telstar: Referente de energía solar espacial.	29
Figura 5. Esquema básico de un SFCR.....	30
Figura 6. Plano con la distribución de los paneles solares en la terraza del edificio de preescolar.....	47
Figura 7. Señales de tensión para cada fase durante una semana.....	55
Figura 8. Señal de tensión para la fase B durante una semana.	56
Figura 9. Señales de corriente para cada fase durante una semana.	57
Figura 10. Señales de potencia para cada fase durante una semana.....	58
Figura 11. Comportamiento sobresaliente de la potencia generada por el SFV el sábado 14 de septiembre.	59
Figura 12. Energía generada acumulada, para cada fase, durante una semana. .	60
Figura 13. Energía generada por el SFV en la fase A durante una semana.	61
Figura 14. Energía generada por el SFV en la fase B durante una semana.	61
Figura 15. Energía generada por el SFV en la fase C durante una semana.	62
Figura 16. Consumo de potencia eléctrica vista para el edificio de preescolar y ascensores	64
Figura 17. Consumo de energía eléctrica vista para el edificio de preescolar y ascensores.	65
Figura 18. Consumo de potencia eléctrica vista para las demás cargas del colegio.	67

Figura 19. Consumo de energía eléctrica vista para las demás cargas del colegio.	68
Figura 20. Radiación solar kW promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.	71
Figura 21. Nubosidad promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.	72
Figura 22. Temperatura promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.	73
Figura 23. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de septiembre.	74
Figura 24. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de enero.	75
Figura 25. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio y final del mes de febrero.	76
Figura 26. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de marzo.	77
Figura 27. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de abril.	78
Figura 28. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de mayo.	79
Figura 29. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de junio.	80
Figura 30. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de julio.	81
Figura 31. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de agosto.	82
Figura 32. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio y final del mes de octubre.	83
Figura 33. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de noviembre.	84
Figura 34. Radiación solar kWh/ m ² para el inicio, mitad y final del mes de diciembre.	85
Figura 35. Comparación porcentual entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para el año 2018.	91
Figura 36. Comparación porcentual entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para el año 2019.	92

Figura 37. Comparación de energía entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para 2016-2019.	93
Figura 38. Regla de decisión del VPN o VAN.	101
Figura 39. Ficha técnica de los paneles solares del SFV.	113
Figura 40. Ficha técnica del inversor del SFV.	115
Figura 41. Ficha técnica del analizador de red en el tablero principal de baja tensión.	116
Figura 42. Potencia solar Incidente para el día 14 de septiembre.	118
Figura 43. Potencia generada por el SFV para el día 14 de septiembre.	118
Figura 44. Curva de Eficiencia del Inversor.	121
Figura 45. Curva Genérica de Eficiencia de un transformador.	121
Figura 46. Histograma de frecuencia para la potencia generada por el SFV el sábado 14 de Septiembre.	122

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información técnica de las neveras exhibidoras.	51
Tabla 2. Información técnica de los aires acondicionados.	52
Tabla 3. Energía entregada por la red registrada del medidor bidireccional 13-22 sep 6 am y 6 pm.	69
Tabla 4. Energía entregada por la red registrada hora a hora del medidor bidireccional 26-28 sep 6 am y 6 pm.	69
Tabla 5. Estimativo de la energía anual a partir de la generación mensual del SFV.	87
Tabla 6. Subtotal de la inversión realizada por la institución para la instalación del sistema fotovoltaico.	88
Tabla 7. Consumo de agosto donde no opero el SFV vs. Consumo de septiembre donde opero el SFV.	90
Tabla 8. Porcentaje equivalente de la generación del SFV respecto al consumo total de la institución en el año 2018.	91
Tabla 9. Porcentaje equivalente de la generación del SFV respecto al consumo total de la institución en el año 2019.	92
Tabla 10. Tarifa ESSA para usuarios no residenciales con tarifa oficial entre 2013 y 2018.	94
Tabla 11. Incremento anual promedio del kWh según la tarifa oficial para usuarios no residenciales entre 2013 y 2018.	95
Tabla 12. Proyección de generación e ingresos para los 20 años de vida útil del SFV.	96
Tabla 13. Costos operacionales anuales del SFV en la institución.	97
Tabla 14. Flujos de efectivo proyectados a 20 años.	99
Tabla 15. Cálculo del valor presente neto.	100

Tabla 16. Forma para identificar el periodo de recuperación de la inversión PRI con y sin VPN.....	102
Tabla 17. PRI sin VPN.....	103
Tabla 18. PRI con VPN.....	103
Tabla 19. Comprobación de la tasa interna de retorno.	104
Tabla 20. Resultados de la evaluación económica.	105
Tabla 21. Resultados de la evaluación económica sin considerar imprevistos por daños inesperados	106
Tabla 22. Cálculo del valor presente neto con el ahorro por el pago del impuesto.	108
Tabla 23. Forma para identificar el periodo de recuperación de la inversión PRI con y sin VPN contemplando el ahorro por el pago del impuesto.	109
Tabla 24. PRI sin VPN y con el ahorro por el pago del impuesto.	109
Tabla 25. PRI con VPN y con el ahorro por el pago del impuesto.	109
Tabla 26. Comprobación de la tasa interna de retorno por no pago del impuesto.	110
Tabla 27. Resultados de la evaluación económica con el ahorro por el pago del impuesto.....	111
Tabla 28. Eficiencia de los equipos del SFV por intervalos de potencia.....	122
Tabla 29. Eficiencia total del SFV por intervalos de potencia.	122
Tabla 30. Kilogramos de CO ₂ evitados por kilowatt hora generado por el sistema fotovoltaico por mes.....	124
Tabla 31. Especies de árboles que tienen la mayor fijación de kgCO ₂	125

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resumen de las leyes y decretos en Colombia que regulan las energías renovables no convencionales.....	34
Cuadro 2. Resumen de los incentivos de la ley 1715 de 2014.....	38
Cuadro 3. Factores socioeconómicos que caracterizan el consumo de electricidad en la institución.....	46
Cuadro 4. Uso de la energía en la institución.....	46

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Nuevo edificio de preescolar en la institución.	42
Fotografía 2. Nuevas canchas deportivas en la institución.....	43
Fotografía 3. Instalaciones de la institución educativa.	43
Fotografía 4. Estación meteorológica FLORIDABLANCA, situada en la institución.	44
Fotografía 5. Principales componentes del sistema fotovoltaico conectado a la red de la institución.	45
Fotografía 6. Arreglo de los 32 paneles solares del sistema fotovoltaico en la institución.....	48
Fotografía 7. Inversor trifásico ON GRID 10/12.5 kW ABB.	49
Fotografía 8. Conexión del sistema fotovoltaico a la red de la institución.....	49
Fotografía 9. Muestra de los aparatos conectados 24/7 en la institución.	52
Fotografía 10. Conexión del analizador de redes DRANETZ HDPQ Visa aguas abajo del inversor.	54
Fotografía 11. Conexión del analizador de red DRANETZ HDPQ visa al TGBT. ..	62
Fotografía 12. Sombreado en los paneles a causa de un domo contiguo.	114
Fotografía 13. Malas condiciones de aseo sobre la superficie de los paneles (restos de jabón y heces de aves).	115
Fotografía 14. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-A.	127
Fotografía 15. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-B.	127
Fotografía 16. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-C.	127
Fotografía 17. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-D.	128

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Factura del sistema fotovoltaico	137
Anexo B. Factura de energía de la institución para el mes de agosto.....	137
Anexo C. Factura de energía de la institución para el mes de septiembre.....	138
Anexo D. Factura de mantenimiento anual	138
Anexo E. Cartel para la socialización de los beneficios del SFV.....	139

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA E IMPACTO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA *

AUTORES: CARLOS DAVID LEÓN RODRÍGUEZ,
PAULA ANGÉLICA TORRES PABÓN**

PALABRAS CLAVE: SISTEMA FOTOVOLTAICO, ANÁLISIS FINANCIERO, EFICIENCIA ENERGÉTICA

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de investigación consiste en la realización de un análisis sobre los beneficios que otorga un sistema fotovoltaico instalado en una institución educativa, motivado por la misma, al no poder determinar de manera concluyente el aporte energético del sistema, y de manera inherente, su contribución económica. Al desconocer la cantidad de energía entregada por el SFV, debido a limitantes en la facturación, que no permitían evidenciar un patrón de consumo antes y después de su incorporación, junto con el daño de la tarjeta de comunicaciones del inversor, fue necesario conectar el analizador de redes DRANETZ HDPQ visa aguas abajo del inversor durante una semana, adicionalmente, para contemplar el factor climatológico que condiciona determinadamente la generación del sistema, se recurrió al análisis estadístico de históricos meteorológicos para el municipio; una vez recopilada esta información se realizó un estimativo de la generación mensual, y subsiguientemente, un valor aproximado anual. A partir del valor anual calculado, y la tasa incremental deducida para el costo del kWh, se proyectaron los flujos de efectivo, a un periodo de veinte años; posteriormente se hizo uso de técnicas de evaluación financiera como el periodo de recuperación de la inversión PRI, el valor presente neto VPN, la tasa interna de retorno TIR y la relación beneficio-costos, indicando que la inversión se recupera, más no se generan ganancias significativas, grosso modo. Además, se calculó el porcentaje de eficiencia a partir del aprovechamiento del recurso solar, como también se elaboraron las recomendaciones pertinentes frente a las condiciones desfavorables identificadas, que afectan el funcionamiento del sistema. A su vez, se determinó que su aporte en la reducción de la huella de carbono es alto, concluyendo finalmente que el mayor beneficio proporcionado es medioambiental, razón suficiente para socializar lo encontrado con los estudiantes de undécimo, promoviendo así la implementación de energías limpias.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Magister en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata, Doctor en Ingeniería Industrial.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF EFFICIENCY AND ECONOMIC IMPACT OF THE PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM INTEGRATED TO THE DISTRIBUTION NETWORK OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION*

AUTHORS: CARLOS DAVID LEÓN RODRÍGUEZ,
PAULA ANGÉLICA TORRES PABÓN**

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC SYSTEM, FINANCIAL ANALYSIS, ENERGY EFFICIENCY

DESCRIPTION:

The present research work consists in carrying out an analysis on the benefits that a photovoltaic system installed in an educational institution provides, motivated by it, as it cannot conclusively determine the energy contribution of the system, and inherently, your financial contribution. When ignoring the amount of energy delivered by the SFV, due to limitations in billing, which does not allow to demonstrate a consumption pattern before and after its incorporation, along with the damage of the inverter's communications card, it was necessary to connect the networks analyzer DRANETZ HDPQ visa downstream of the inverter for a week, additionally, to contemplate the climatic factor that determines the generation of the system, the statistical analysis of the meteorological historic of the municipality was sought; Once this information was collected, an estimate of the monthly generation was made, and subsequently, a specific annual value. From the annual variable value, and the incremental rate deducted for the cost of kWh, cash flows were projected, a period of twenty years; Subsequently, financial evaluation techniques were used such as the period of recovery of the PRI investment, the current net NPV value, the internal rate of return TIR and the cost-benefit ratio, indicating that the investment is recovered, but no significant gains are generated, in general terms.

In addition, it was calculated the percentage of efficiency from the use of the solar resource, as well as the recommendations related to the unfavorable conditions identified, which affect the operation of the system. In turn, it was determined that its contribution on the reduction of the carbon footprint is high, finally concluding that the greatest benefit provided is environmental, reason enough to socialize what it was found with the eleventh students, thus promoting the implementation of clean energy.

* Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Magister en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata, Doctor en Ingeniería Industrial.

INTRODUCCIÓN

Indiscutiblemente a la par de los beneficios proporcionados por el crecimiento vertiginoso de la economía, se han desencadenado, de manera antagónica, retos en el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, puesto que la mala técnica y el uso inadecuado de los mismos, deteriora su condición, y la de los sistemas que de estos dependen.

Y es que el calentamiento global y sus consecuencias no son ajenas a ningún ser vivo, de tal forma que, al impactarse negativamente el medio ambiente, se ven afectadas las condiciones de vida y la salud a nivel mundial, y a su vez, se degrada el capital natural afectando la economía, irónicamente, ya que esta constituye la premisa en que se fundamenta el uso inadecuado y desmesurado de los recursos naturales.

En gran medida, esta problemática guarda relación con las formas convencionales de suplir las crecientes necesidades energéticas, puesto que los fenómenos naturales que se padecen en la actualidad, como las sequías por tiempos fluctuantes, obligan al uso de centrales térmicas que se basan en combustibles fósiles, que además de ser recursos limitados, emiten una cantidad considerable de CO₂ y otros agentes contaminantes; por otra parte, las centrales de energía hidráulica también perjudican al medio ambiente en la medida en que modifican los ecosistemas del lugar donde se sitúan; debido a esta situación se hace necesaria la promoción de las energías renovables no convencionales, inagotables en el tiempo y amigables con el medio ambiente.

Los sistemas de energía solar fotovoltaica han sido una solución atractiva, en cuanto a la incorporación de energías renovables no convencionales, y es preciso

reconocer que se trata de un mercado con un crecimiento al alza, que “obedece en gran medida a su competitividad, sumada a la creciente demanda de electricidad en los países en desarrollo y la creciente conciencia del potencial de la tecnología para mitigar la contaminación, reducir las emisiones de dióxido de carbono y proporcionar acceso a la energía”¹

Tanto así que los países considerados como potencias mundiales encabezan el ranking de la energía solar del mundo, esto en base a su capacidad de generación; para vislumbrar esto en cifras, los cinco países que lideran esta tecnología al año 2019 son: China con 130.4 GW, seguida de Estados Unidos con 85.3 GW, Japón con 63.3 GW, India con 57.4 GW y Alemania con 48.4 GW.²

En Colombia el más reciente informe de la UPME, indica que “en la actualidad, hay 645 proyectos de generación vigentes en el país, de los cuales 403 son de tipo solar, 150 hidráulicos, 52 térmicos, 27 eólicos y 13 de biomasa. El Valle del Cauca ostenta el liderato en materia de desarrollo de proyectos solares, con 49 hasta el momento, seguido de Tolima (28), Cundinamarca (28), Antioquia (27), Bogotá (27), Atlántico (23), Cesar (23) y Huila (20).”³

No obstante, el éxito de la incorporación de las energías limpias requiere de una gestión informativa, así como de la constante participación y el apoyo de todos los usuarios de la energía eléctrica, especialmente las generaciones más jóvenes, pues en estas etapas tempranas es donde se desarrolla el pensamiento crítico y se adquiere la responsabilidad por cuidar el planeta.

¹ EDITORIAL. La energía solar: Indiscutible líder de la generación en Colombia y en el mundo. En: MUNDO ELÉCTRICO. Vol. 33, No. 120 (jun – jul, 2019); p.4.

² Ibid. p.

³ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Informe del Registro de Proyectos de Generación de Electricidad. Ministerio de Minas y Energía. 2019.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La institución educativa en cuestión, ubicada en el municipio de Floridablanca, Santander, inauguró un sistema fotovoltaico a finales de enero de 2017, sin embargo, tras adecuaciones en la zona en la que se instalaron los paneles como la construcción de un domo, entre otras actividades, el sistema fotovoltaico ha sido sometido a varias desconexiones, por lo tanto, no ha podido operar de forma continua, y en consecuencia, no se ha podido evidenciar de manera concluyente el aporte energético que brinda; y de manera inherente no se ha podido tasar la contribución económica que ha tenido la institución. Puesto que esta última es un factor de suma importancia en la realización de cualquier tipo de proyecto, se ha colocado en tela de juicio los beneficios a nivel económico que proporciona.

Adicionalmente, muchos de los miembros de la institución desconocen la existencia del sistema fotovoltaico en la misma, dada la poca divulgación del proyecto, en parte por la incertidumbre de su aporte monetario, así como el desconocimiento de sus beneficios ambientales en la reducción de la huella de carbono.

De por sí, la incorporación de los sistemas fotovoltaicos a los sistemas convencionales ha generado cierta incertidumbre sobre la veracidad en los beneficios que estos proporcionan, lo cual representa un inconveniente generalizado, propio en la adaptación de nuevas tecnologías, que consecuentemente desalienta su acogimiento.

JUSTIFICACIÓN

Por los escenarios expuestos en el planteamiento del problema, la motivación de este proyecto radica en estudiar las ventajas de este sistema fotovoltaico en particular, con enfoque a nivel económico, y desde luego, con relación al desempeño de los equipos que intervienen determinadamente en su generación, recalcando así mismo, la importancia del seguimiento de los equipos para evaluar la eficiencia energética del sistema, que se traducen en costos. Además, para tal fin se escogió una institución educativa, no solo por contar con el sistema de generación fotovoltaico, sino por el compromiso social de incentivar la implementación de energías limpias en la comunidad académica.

Así mismo, la institución educativa espera conocer los beneficios que les proporciona el sistema fotovoltaico con el propósito de expandir su capacidad de generación, razón adicional que motiva la realización de esta investigación.

En general, se aspira a que el estudio elaborado sirva como referente, para cualquier institución educativa interesada en incorporar un sistema fotovoltaico integrado a la red con fines económicos y educativos, y generalmente, a cualquier particular que pretenda instalar un sistema fotovoltaico integrado a la red. Del mismo modo, se espera reducir la brecha de conocimiento que haya podido suscitar la relativa novedad de esta tecnología, pudiendo impulsar su implementación a nivel regional, motivando especialmente a que las instituciones educativas sean pioneras.

1. OBJETIVOS

Mediante la realización del trabajo de grado: Análisis de la eficiencia e impacto económico del sistema de generación fotovoltaico integrado a la red de distribución de una institución educativa se pretende alcanzar los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Comprobar el impacto que tiene el sistema de generación fotovoltaica a partir del concepto de un sistema “grid tied” en la red de distribución de una institución educativa, mediante la relación costo beneficio tomando como punto de inflexión la eficiencia del mismo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información y realizar el posterior análisis del funcionamiento y eficiencia del sistema fotovoltaico en condiciones de operación normales y climatológicamente difíciles, acoplándose en el sistema de medición meteorológica que posee una institución educativa.
- Realizar el seguimiento del desempeño del sistema fotovoltaico de una institución educativa, identificando las diferentes condiciones que puedan afectar el buen desempeño de la unidad generadora, para posteriormente sugerir, de manera general, las mejoras correspondientes.

- Dar a conocer a la comunidad académica y respectivos funcionarios de la institución educativa en cuestión, la importancia del programa de uso racional de la energía (URE) mediante la socialización de los beneficios obtenidos a lo largo de la investigación por parte del uso del sistema fotovoltaico.

2. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presentan los conceptos teóricos y legales, de mayor relevancia, que fundamentan el presente trabajo investigativo.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Energías Renovables. Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado. Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas. ⁴

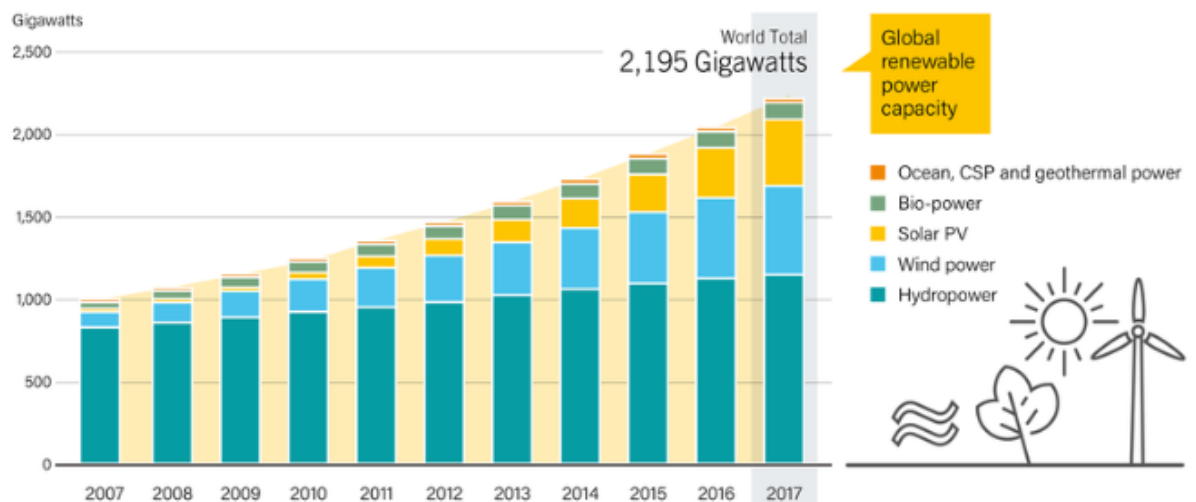
La capacidad de generación de energía renovable experimentó su mayor incremento anual en 2017, con un estimado de 178 GW instalados en todo el mundo, aumentando la capacidad total en casi un 9% con respecto a 2016. La energía solar fotovoltaica lideró el camino, representando casi el 55% de la capacidad de energía renovable recién instalada. Más La capacidad solar fotovoltaica se agregó en 2017 a las adiciones netas de combustibles fósiles y energía nuclear combinados.

La energía eólica y la energía hidroeléctrica representaron la mayoría de las adiciones de capacidad renovable restantes, contribuyendo con más del 29% y casi

⁴ SCHLLANBERG RODRÍGUEZ, Julieta C. *et al.* Energías renovables y eficiencia energética. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008. p.46 (Energías renovables) ISBN 978-84-69093-86-3

el 11%, respectivamente. La capacidad total de energía renovable se duplicó en la década 2007-2017, y la capacidad de las energías renovables no hidroeléctricas aumentó más de seis veces. En general, la energía renovable representó aproximadamente el 70% de las adiciones netas a la capacidad de energía global en 2017, en comparación con el 63% en 2016. Al final del año, la capacidad de energía renovable global totalizó alrededor de 2,195 GW, suficiente para suministrar un 26.5% estimado de la energía global; con energía hidroeléctrica que proporciona alrededor del 16,4%.⁵

Figura 1. Capacidad global de energía renovable, 2007-2017



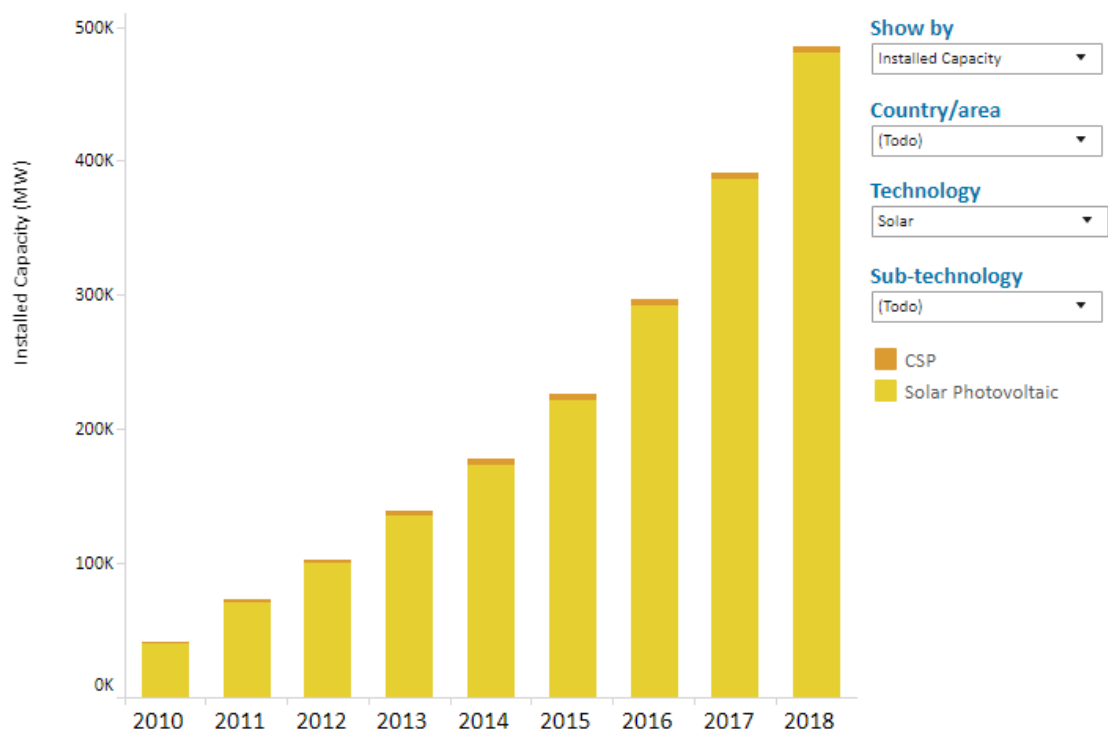
Fuente: REN 21. Panorama mundial. [En línea]. Reporte global de energías renovables 2018. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/#sub_4.

2.1.2 Energía Solar. La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es aproximadamente de $5,4 \times 10^{24}$ J, una cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume. La energía solar llega

⁵ REN 21. Panorama mundial. [En línea]. Reporte global de energías renovables 2018. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/#sub_4.

a la superficie de la Tierra por dos vías diferentes: incidiendo en los objetos iluminados por el Sol, denominada radiación directa, o por reflexión de la radiación solar absorbida por el aire y el polvo atmosférico, llamada radiación difusa. La primera es aprovechable de forma directa, mientras que las celdas fotovoltaicas aprovechan ambos tipos de radiación. A pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos: la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada lugar.⁶

Figura 2. Capacidad instalada de energía solar a nivel mundial 2010-2018



Fuente: IRENA. Energía Solar. [En línea]. International Renewable Energy Agency. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: <https://www.irena.org/solar>

⁶ UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. CAPACITACIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LAS COMUNIDADES DE CARMEN DEL EMERO Y YOLOSAN. Bolivia: Wildlife Conservation Society (WCS). 2015. p. 8

2.1.3 Sistema fotovoltaico. Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes o equipos desarrollados e integrados entre sí, para realizar las siguientes funciones:

Figura 3. Resumen de las funciones de los componentes de un sistema fotovoltaico

Funciones	Componentes
Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica	Panel fotovoltaico
Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada	Baterías
Controlar y regular la carga o voltaje de las baterías	Regulador de carga
Proveer adecuadamente la energía generada y almacenada	Inversor (CD/CA)
Utilizar eficientemente la energía generada y almacenada	Cargas CD/ CA

Fuente: UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. CAPACITACIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LAS COMUNIDADES DE CARMEN DEL EMERO Y YOLOSAN [En línea]. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: <http://energiayambienteandina.net/pdf/WCS%20-%20CAPACITACI%C3%92N%20E%20INSTALACI%C3%92N%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>

2.1.3.1 Breve historia. El inicio de los sistemas fotovoltaicos se remonta al siglo XIX, cuando en 1873 el científico británico Willoughby Smith observó que el selenio era sensible a la luz y que su capacidad de conducción de electricidad aumentaba en proporción directa con la exposición a la luz. Ya en 1880, Charles Fritts desarrolló la primera celda eléctrica que producía electricidad sin consumir ninguna sustancia ni producir calor. En 1954 la empresa Bell Telephone Systems desarrolló una celda basada en silicio que alcanzaba una eficiencia del 6%.

En 1960, los investigadores de la NASA, instalaron en el primer satélite artificial de los Estados Unidos un sistema fotovoltaico constituido por 108 celdas, como una fuente de energía ligera y confiable. Actualmente los módulos brindan electricidad a más de un millón de hogares en todo el mundo y han diversificado sus aplicaciones hacia la comunicación, refrigeración para los servicios médicos, riego de cultivos, purificación de agua, vigilancia, entre otros. (SEI, 2008). Los especialistas predicen

que la tecnología fotovoltaica será la forma de energía comercial de más rápido crecimiento hasta el 2030.⁷

Figura 4. Satélite de comunicaciones Telstar: Referente de energía solar espacial.



Fuente: NASA. The Start of the Space Communications Industry. [En línea]. 60 Moments in NASA History. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: <https://www.nasa.gov/specials/timeline/>

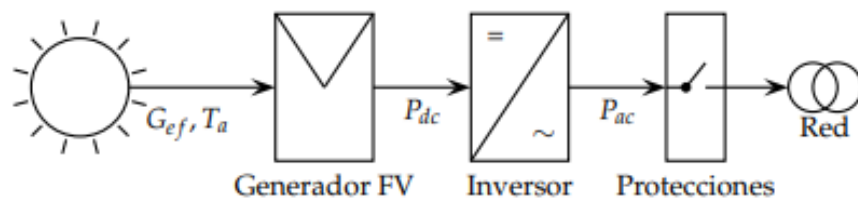
2.1.3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR). Los principales componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red son: el arreglo fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad; y un elemento acondicionador de la potencia producida (un inversor cd. / ca.), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta. Un arreglo fotovoltaico está constituido por un determinado número de módulos o unidades fotovoltaicas individuales. El número de unidades depende de la potencia nominal requerida en el arreglo y de la potencia pico de los módulos seleccionados.

El voltaje de salida del arreglo, –que corresponde al voltaje de operación del inversor– se obtiene mediante la conexión serie de un número determinado de módulos; y la potencia, a través de la conexión paralelo de dichas series. La

⁷ Ibid., p. 9

potencia nominal de los módulos normalmente está entre 50 y 200 W, aunque hoy en día algunos fabricantes ofrecen módulos arriba de 200 W. El acondicionamiento de la potencia eléctrica generada por el arreglo fotovoltaico (cd.) –indispensable para la conexión de éste a la red eléctrica convencional– se realiza mediante un inversor (cd. /ca.) que convierte la corriente directa producida por el generador fotovoltaico a corriente alterna, en fase y a la frecuencia de la red para una conexión segura y confiable del sistema a ésta. La eficiencia de los inversores es generalmente mayor a 90% cuando éstos operan arriba del 10% de su potencia nominal.⁸

Figura 5. Esquema básico de un SFCR.



Fuente: PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, Oscar. Energía solar fotovoltaica. [En línea]. Sistemas fotovoltaicos de conexión a red. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: <https://github.com/oscarperpinan/esf>

Como cualquier otra instalación eléctrica, estas instalaciones se habilitan con los medios apropiados para realizar, adecuadamente y en forma segura, la conexión y la desconexión eléctrica del sistema fotovoltaico de la red; y para proporcionar la adecuada protección al equipo y a las personas contra condiciones de operación no deseadas. Para tales efectos, se siguen las normas y recomendaciones de carácter general; y las establecidas en particular para este tipo de aplicaciones, como es la norma IEEE Std 1547 (IEEE, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems).

⁸ GONZALES, Raúl, *et al.* Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

2.1.4 Huella de Carbono. Según La Plataforma de Financiamiento para América Latina, la huella de carbono es un indicador que busca cuantificar la cantidad de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (directas e indirectas), medidas en emisiones de CO2 equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades humanas. Si específicamente, se aplica este indicador al sector de la producción de alimentos, por ejemplo, esta herramienta considera todas las emisiones que generan las actividades involucradas en el ciclo de vida del producto desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo, configurándose en un indicador de desempeño ambiental.⁹

2.1.5 Técnicas de evaluación de proyectos de inversión. A continuación, se definen algunas de las técnicas de evaluación financiera que se aplicarán al sistema fotovoltaico de la institución educativa.

2.1.5.1. Valor actual neto VAN o Valor presente neto VPN. El valor actual neto (VAN) se define como el valor que resulta de la diferencia entre el valor presente de los futuros ingresos netos esperados (son descontados a una tasa “k” que representa el costo de oportunidad del capital) y el desembolso inicial de la inversión (FFo). La expresión del valor actual neto es la siguiente:

$$VAN = FF_0 + \frac{FF_1}{(1+k)} + \frac{FF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FF_n + VT}{(1+k)^n}$$

En el último flujo de fondos aparece un término “VT” que en la terminología financiera se lo conoce como “valor terminal”. El valor terminal puede verse como el flujo de fondos que se obtiene si el negocio es liquidado, o el valor de la continuidad

⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE. Huella de Carbono. [En línea]. Bogotá D.C. 2019. (Recuperado en 12 septiembre 2019) Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/465->

si el proyecto sigue en marcha, en cuyo caso suele ser utilizada la fórmula de la perpetuidad para estimarlo. Para calcular el VAN, los flujos de efectivo que genera el proyecto (FF_j) son descontados previamente con la tasa de interés que representa el costo de oportunidad del capital (k) y luego se resta el desembolso inicial de la inversión. Simbólicamente, también podemos expresar la ecuación del VAN como: ¹⁰

$$VAN = -FF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FF_j}{(1+k)^j}$$

2.1.5.2 Tasa interna de retorno. La tasa interna de retorno (TIR) se define como aquella tasa que descuenta el valor de los futuros ingresos netos esperados igualándolos con el desembolso inicial de la inversión (matemáticamente, esta definición es equivalente a decir que la TIR es aquella tasa que iguala el VAN a cero).

$$FF_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FF_j}{(1+TIR)^j} \text{ o también: } -FF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FF_j}{(1+TIR)^j} = 0$$

En las expresiones anteriores se observa como la TIR es la tasa de interés que satisface la ecuación que iguala el VAN a cero o que iguala el valor presente del flujo de efectivo futuro al desembolso inicial de la inversión (...) La TIR es una

¹⁰ LÓPEZ DUMRAUF, Guillermo. Cálculo Financiero Aplicado, un enfoque profesional. Buenos Aires: Editorial La Ley, 2006. p. 308. (El valor actual neto) ISBN 987-03-0882-1

medida de rentabilidad periódica de la inversión. A diferencia del VAN, no mide esta en términos absolutos, sino que lo hace en términos relativos, indicando en principio, cual es el porcentaje de rentabilidad que obtenemos por cada peso invertido en el proyecto. El calificativo de “interna” viene dado porque es la tasa “implícita” del proyecto, y constituye la incógnita a resolver, ya que debe calcularse a partir de un procedimiento de prueba por ensayo y error como describiremos casi inmediatamente.¹¹

2.1.5.3 Relación Costo – Beneficio. La relación Beneficio-Coste (B/C) compara de forma directa los beneficios y los costes. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costes también descontados.¹²

Existen diversas variaciones de la razón B/C; sin embargo, el enfoque fundamental es el mismo: todos los cálculos de costos y beneficios deben convertirse a una unidad monetaria de equivalencia común (VP, VA o VF) con la tasa de descuento (tasa de interés). La razón convencional B/C se calcula de la siguiente manera¹³:

$$B/C = VP \text{ de los beneficios} / VP \text{ de los costos}$$

¹¹Ibid. p. 315

¹² LEYTON UCAÑÁN, Roger. Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C). [En línea]. (Recuperado en 21 de septiembre 2019). Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>

¹³ BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony; Ingeniería económica. Editorial McGraw Hill, Méjico, 6ta Edición, 2006.

2.2 MARCO LEGAL

En el presente cuadro se resumen las principales leyes y decretos en Colombia que gobiernan lo concerniente a las energías renovables no convencionales, la energía solar fotovoltaica, y los programas URE (PROURE).

Cuadro 1. Resumen de las leyes y decretos en Colombia que regulan las energías renovables no convencionales.

MARCO LEGAL DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y EFICIENCIA	
LEGISLACIÓN	PROPÓSITO
Ley 697 de 2001	Declarar el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. ¹⁴
Decreto 3683 de 2003	Reglamentar el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo

¹⁴ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001 (5, octubre, 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2001 no. 44.573 art. 1

	sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables. ¹⁵
Ley 1715 de 2014	Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda. ¹⁶
Decreto 1543 de 2017	Reglamentar el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGE. ¹⁷
Decreto 570 de 2018	Establecer los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación de largo plazo para los proyectos de generación de energía eléctrica y que sea complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista. ¹⁸

¹⁵ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 3683 de 2003 (19, diciembre, 2003). Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2003 no. 45409 art. 1

¹⁶ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715 de 2014 (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2014 no. 49.150 art. 1

¹⁷ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 1543 de 2017 (16, septiembre, 2017). Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGE, adicionando una Sección 5 al Capítulo 3 del Título III de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. no. 50.358 16 art. 1

¹⁸ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 570 de 2018 (23, marzo, 2018). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de

3.2.1 Incentivos gubernamentales para la incorporación de PROURE y Energías renovables no convencionales. Se recopilaron los artículos de las leyes y decretos, anteriormente mencionados en el cuadro 1, en los que se indica la forma en la que se promueve la implementación de Programas para el Uso Racional y Eficiente de la Energía (**PROURE**), así como los estímulos que brinda el gobierno nacional a quienes lideren proyectos que aprovechen las fuentes de energía no convencionales.

3.2.1.1 Incentivos de la Ley 697 de 2001. Esbozados en dos artículos:

Artículo 7. Estímulos y sanciones.

3. Reconocimiento Público: El Gobierno Nacional creará distinciones para personas naturales o jurídicas, que se destaquen en el ámbito nacional en aplicación del URE; las cuales se otorgarán anualmente. El Ministerio de Minas y Energía dará amplio despliegue a los galardonados en los medios de comunicación más importantes del país.

Artículo 10. El Gobierno Nacional a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.

generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2018 no. 50.544 art. 2.2.3.8.7.3

3.2.1.2 Incentivos del Decreto 3683 de 2003. Esbozados en un artículo:

Artículo 15. Creación de la Condecoración al Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales. En desarrollo del numeral 3 del artículo 7º de la Ley 697 de 2001, créase la Orden al Mérito URE para distinguir y estimular a quienes se destaquen por el uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales. El otorgamiento de esta condecoración, se hará mediante Decreto ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Minas y Energía.

Esta condecoración se otorgará en las siguientes categorías:

a) Categoría de Industria y Comercio: Modalidad que se concederá a las personas jurídicas que se destaquen en el ámbito nacional en la aplicación del URE;

b) Categoría de Investigación: Modalidad que se concederá a las personas naturales y jurídicas que se dediquen a la investigación sobre uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales de energía;

c) Categoría de Enseñanza Especializada: Modalidad que se concederá a las instituciones de educación formal desde la educación primaria, secundaria, pregrado, posgrado, a nivel de especialización o maestría en las que se incluyan asignaturas dedicadas a la enseñanza y divulgación del uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales de energía.

3.2.1.3 Incentivos de la Ley 1715 de 2014. La ley 1715 de 2014 es la legislación imperante hasta el momento respecto al manejo de las fuentes no convencionales de energía, por tal motivo conviene hacer hincapié en los incentivos que establece para la promoción de las mismas, como parte de los beneficios implícitos, de carácter económico y social, que también se contemplan en esta investigación. Para ampliar los términos y condiciones, los requisitos, los alcances y las limitaciones de

esta ley, la Unidad de Planeación Minero Energética, ha realizado un folleto digital que puede consultarse con mayor detalle en el siguiente link: http://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

A continuación, se resumen los artículos de la Ley 1715, de modo que facilite su consulta:

Cuadro 2. Resumen de los incentivos de la ley 1715 de 2014.

RESUMEN DE LOS INCENTIVOS DE LA LEY 1715 DE 2014	
ARTÍCULO	SÍNTESIS
8	La posibilidad a autogeneradores para entregar excedentes a la red y su reconocimiento como créditos de energía (medición bidireccional) para el caso de proyectos de pequeña escala que generen con FNCER, así como el reconocimiento de beneficios proporcionados por la generación distribuida y lineamientos para su remuneración. ¹⁹
10	La creación de un Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (el FENOGE), destinado a financiar programas y proyectos en dichas áreas a partir de recursos aportados por la Nación, entidades públicas o privadas, y organismos de carácter multilateral e internacional. ²⁰
11 - 14	La disposición de cuatro incentivos fiscales explícitos: (a) posibilidad de deducir de la renta gravable hasta el 50% de la inversión en proyectos con FNCER, hasta por 5 años (Art. 11), (b) exclusión del IVA (Art. 12), (c) exención arancelaria (Art. 13), y (d) depreciación acelerada (Art. 14); • Art 15 a 23: apoyos generales

¹⁹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía. 2015. p. 96

²⁰ Ibid. p. 96

	para la biomasa, la energía eólica, la geotermia, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía de los mares y más detallados para la energía solar ²¹
--	---

²¹ Ibid. p. 96

4. METODOLOGÍA A IMPLEMENTAR Y DESARROLLO DEL TRABAJO

La metodología a implementar consta de cuatro fases, cada una con actividades en las cuales puede evidenciarse el componente técnico propio del ejercicio de la profesión y el factor misional, enfocado a la responsabilidad social y ambiental en una institución educativa; En síntesis, el plan de trabajo que se pretende realizar se describe así:

FASE 1: Recopilar información y realizar el posterior análisis del funcionamiento y eficiencia del sistema fotovoltaico en condiciones de operación normales y climatológicamente difíciles, acoplándose en el sistema de medición meteorológica que posee una institución educativa.

ACTIVIDADES

- Obtener y clasificar la información, en aspectos técnicos y económicos, de los componentes del sistema fotovoltaico, tales como, fichas técnicas, manuales de operación, esquemas; y facturas de energía (ESSA), documentos con la cotización y el costo de la instalación, respectivamente.
- Revisar en el archivo técnico de la institución las especificaciones de los equipos eléctricos que se encuentran encendidos constantemente (Neveras, aires acondicionados, etc.)
- Adquirir los datos del inversor y del medidor bidireccional, simultáneamente a la toma de datos meteorológicos del municipio.

FASE 2: Cuantificación del aporte y la eficiencia del sistema fotovoltaico a partir del análisis de la información obtenida.

ACTIVIDADES

- Examinar la facturación energética para poder determinar el aporte económico que tuvo la incorporación del sistema fotovoltaico al sistema eléctrico de la institución, comparando el consumo energético previo a su instalación y posterior a la misma.
- Estudiar el costo de la instalación, y en sí mismo, del sistema fotovoltaico, para poder determinar la relación costo – beneficio y proporcionar a la institución un aproximado de la amortización de la inversión realizada.
- Comparar los datos proporcionados por el inversor con los estipulados en su ficha técnica, y así determinar si el equipo cumple con sus especificaciones.
- Realizar el perfil de carga, de la institución educativa.
- Comparar el consumo de la institución educativa medido desde el punto de frontera comercial y del inversor de la planta solar.

FASE 3: Realizar el seguimiento del desempeño del sistema fotovoltaico de una institución educativa, identificando las diferentes condiciones que puedan afectar el buen desempeño de la unidad generadora, para posteriormente sugerir, de manera general, las mejoras correspondientes.

ACTIVIDADES

- Inspeccionar de manera visual el escenario en el que se encuentra el SFV, pudiendo identificar:
 - ✓ Las condiciones de aseo.
 - ✓ Objetos a su alrededor que generen sombreado sobre los paneles e interrumpen en la captación de los rayos solares.
 - ✓ Las malas realizaciones de mantenimiento en la instalación eléctrica.

- Elaborar las sugerencias correspondientes para la corrección de las condiciones negativas identificadas.

FASE 4: Dar a conocer a la comunidad académica y respectivos funcionarios de la institución educativa en cuestión, la importancia del programa de uso racional de la energía (URE) mediante la socialización de los beneficios obtenidos a lo largo de la investigación por parte del uso del sistema fotovoltaico.

- Organizar espacios de socialización (exposiciones) que faculten la introducción de temas de energías renovables, el uso eficiente de la energía a partir de su implementación y su relación con el medio ambiente en la comunidad académica.

4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

La institución educativa en cuestión se encuentra ubicada en el municipio de Floridablanca, del departamento de Santander, conformada por instalaciones amplias, propias de una institución que ha prestado su servicio a la comunidad desde la década de los 70's. Dada su trayectoria en el sector educativo las adecuaciones se hacen necesarias para acoger a los actuales 965 estudiantes, y 108 funcionarios de la misma; por tal motivo, en marzo de 2016 se da inicio a la construcción del edificio de preescolar y a la mejora de las canchas de futbol en diciembre de ese mismo año, obras que culminan en febrero y junio de 2017 respectivamente.

Fotografía 1. Nuevo edificio de preescolar en la institución.

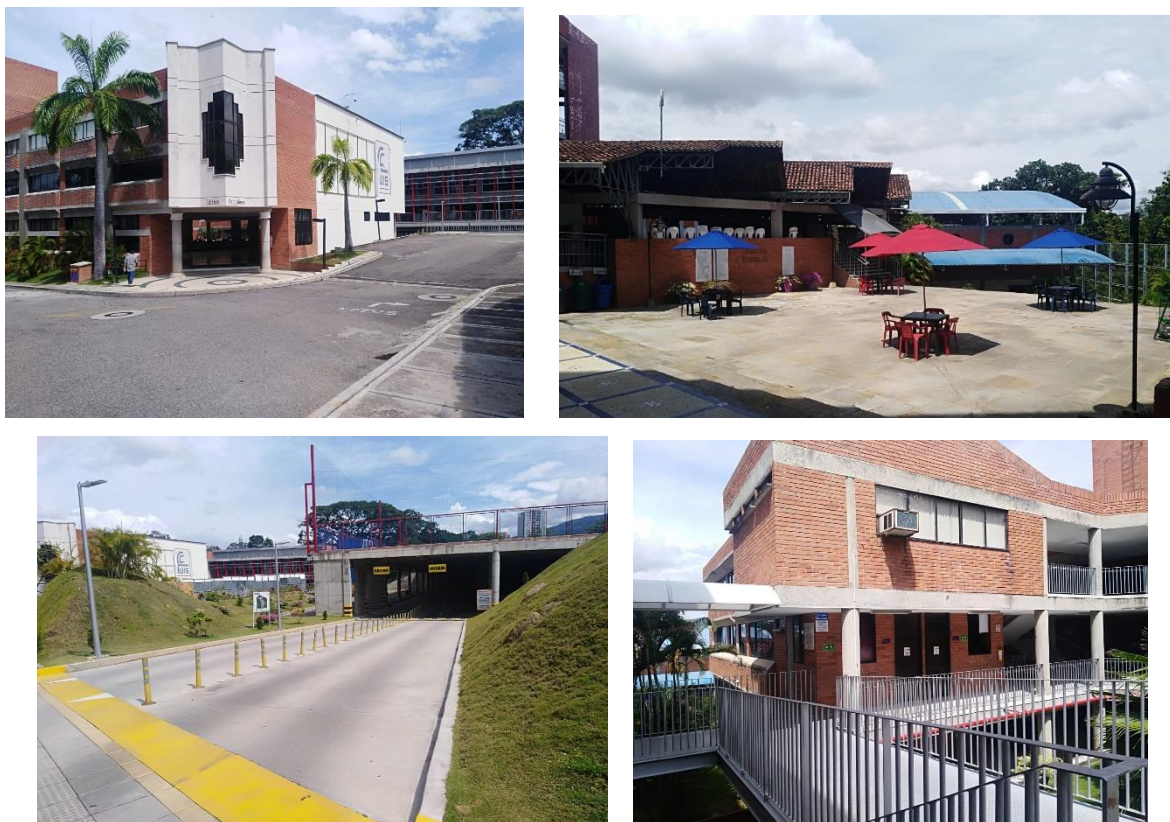


Fotografía 2. Nuevas canchas deportivas en la institución.



De modo que, a la fecha, la institución cuenta con el edificio principal para los estudiantes de bachillerato, rectoría y administrativos, el edificio de primaria, el nuevo edificio de preescolar, cafetería, el restaurante escolar, coliseo cubierto, canchas de futbol y parqueaderos. Adicionalmente, en noviembre de 2014 el IDEAM instaló la estación meteorológica FLORIDABLANCA- AUT [2319500043] dentro de la institución.

Fotografía 3. Instalaciones de la institución educativa.



Fotografía 4. Estación meteorológica FLORIDABLANCA, situada en la institución.



Con la inauguración del edificio de preescolar, se incorpora el sistema fotovoltaico a finales de enero de 2017, el cual se encuentra en la terraza de esta edificación;

conformado por 32 celdas solares de 320 W y un inversor ON GRID de 10-12 kW, groso modo, con el que se pretendía disminuir el valor de la factura de energía.

Fotografía 5. Principales componentes del sistema fotovoltaico conectado a la red de la institución.



Sin embargo, la construcción de un domo inmediatamente continuo a los paneles solares, intervenía en la operación normal del sistema fotovoltaico, motivo que implico su desconexión temporal; esto sumado a otros acontecimientos que han mantenido al SFV fuera de servicio, han imposibilitado una cuantificación del aporte monetario y por ende, han desmotivado a la institución respecto a los beneficios económicos que puede proporcionar, nublando consecuentemente los otros beneficios implícitos de este tipo de tecnología.

4.1.1 Caracterización del consumo energético de la institución. El consumo energético de la institución se encuentra caracterizado determinantemente por el factor socio-económico y las condiciones del claustro educativo, dado que el patrón de consumo depende del número y el rol de los usuarios, de sus hábitos y la cantidad de horas de uso de la energía eléctrica, así como de las adecuaciones físicas de la institución que ameritan un suministro continuo, por ejemplo, cuartos fríos, el centro de monitoreo, entre otros.

4.1.1.1 Factor Socio-Económico. Los tópicos anteriormente mencionados se sintetizan en las siguientes tablas:

Cuadro 3. Factores socioeconómicos que caracterizan el consumo de electricidad en la institución.

FACTOR SOCIO-ECONÓMICO	
Número de Usuarios	965 estudiantes/semana
	108 personal/semana
Tipo de usuario	No residencial
Tarifa	Oficial

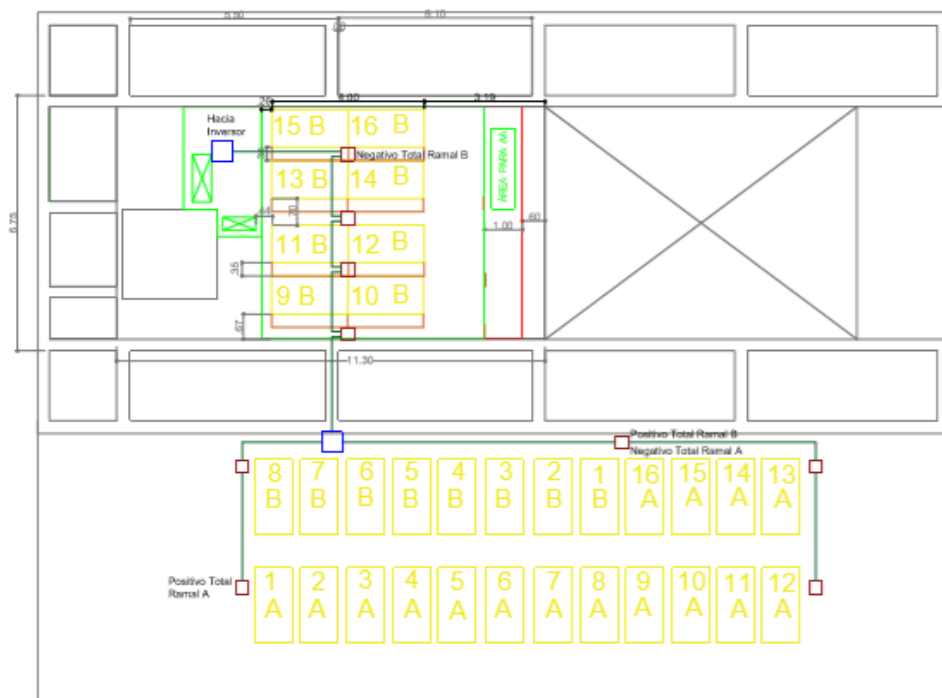
Cuadro 4. Uso de la energía en la institución.

USO DE LA ENERGÍA		
Horas de permanencia en la institución	117 horas promedio/semana Alumnos: lunes a viernes 6:45 am – 3:25 pm Restaurante: lunes a viernes 7:00 am – 4:00 pm Vigilancia: lunes – lunes 6:00 am – 6:00 am	
Número de vacaciones al año	11 semanas/ año Vacaciones mitad de año: 15 junio – 7 julio Semana de receso: 7-11 de octubre Vacaciones fin año: 15 noviembre – 31 de enero	
Principales Aparatos Eléctricos (24/7)	Neveras Exhíbidoras	5
	Cuarto frío	1

	Sistema Vigilancia	1
	Aires acondicionados	5

4.1.2 Descripción del sistema fotovoltaico. El sistema fotovoltaico se encuentra ubicado en los alrededores de Floridablanca Vía Ruitoque Bajo, Santander justo en las instalaciones de una institución educativa, más exactamente en la cubierta del edificio de preescolar, el cual está conformado por 32 módulos o paneles solares modelo AS-6P que en conjunto proveen una capacidad de generación de 10 kW en su condición más favorable de irradiancia solar.

Figura 6. Plano con la distribución de los paneles solares en la terraza del edificio de preescolar.



Fuente: archivos de la institución.

Fotografía 6. Arreglo de los 32 paneles solares del sistema fotovoltaico en la institución.



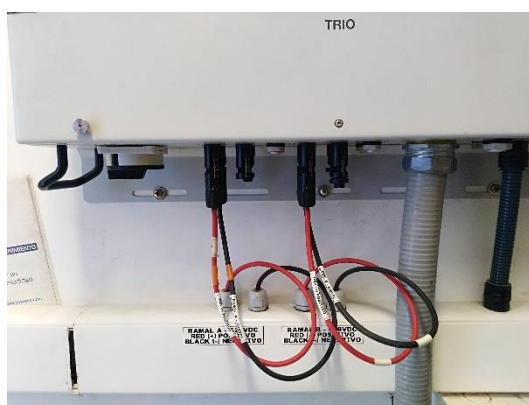
Necesariamente se cuenta con la participación de un inversor CD/CA trifásico ON GRID marca ABB ya que la generación por parte de los paneles es en DC, garantizando así, junto con un transformador de aislamiento de relación 440/220, la inyección de energía a la red eléctrica convencional del colegio. El inversor dentro de sus funciones posee la capacidad de medir en tiempo real los parámetros de tensión, corriente y potencia permitiendo mostrar de forma secuencial estos valores en una pequeña pantalla, además de esto puede almacenar los datos para su posterior extracción a través de su tarjeta de comunicaciones lo cual brinda de forma sencilla la posibilidad de monitorizar el SFV; sin embargo, cabe aclarar que esta función no se encuentra actualmente disponible debido a un daño en esta tarjeta.

Fotografía 7. Inversor trifásico ON GRID 10/12.5 kW ABB.



Conexión del sistema fotovoltaico a la red: El SFV está estructurado en dos unidades de 16 paneles c/u conectados en paralelo proporcionando una tensión de salida de 592 V y corriente de 17 A que se interconectan por medio de un conductor de cobre trenzado y recocido de 6 mm de diámetro y conectores tipo MC4 los cuales al completar la configuración, son dirigidos hacia el cuarto técnico del último piso del edificio de preescolar donde se encuentra el inversor, allí se conectan los dos ramales en DC y por consiguiente se derivan los conductores en configuración trifásica con calibre 6 AWG en cobre que ingresaran al transformador de aislamiento y salen las respectivas tres fases y neutro con conductor calibre 4 AWG hacia un contactor de marca ABB con referencia AF 38-30-00-13 el cual realizará la función de desconexión del SFV por orden del inversor, luego de someterse el SFV al control básico de desconexión temporizado finalmente al sistema de barras del edificio de preescolar.

Fotografía 8. Conexión del sistema fotovoltaico a la red de la institución.



4.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Dentro de las actividades estipuladas en la fase 1 de la metodología a implementar, se propuso clasificar la información recolectada en aspectos técnicos, meteorológicos y económicos como sigue.

4.2.1 Aspectos Técnicos. Para la realización del análisis de la eficiencia del sistema fotovoltaico en la institución, mediante el cual se pretende corroborar el rendimiento conjunto de todos sus componentes al valorar la cantidad de energía solar que convierte en energía eléctrica, y realizar las recomendaciones pertinentes tras la identificación de condiciones desfavorables, se solicitó al colegio la siguiente información:

- El dossier, tanto de los equipos del sistema fotovoltaico, como de aquellos equipos que funcionan constantemente (24/7) en la institución.
- Permiso para ingresar a la terraza donde se encuentra el arreglo de paneles solares.

4.2.1.1 Dossier de los equipos del SFV de la institución. Dado que la institución no cuenta con un inventario actualizado de sus equipos, durante las visitas se recopilaron los datos concernientes a las marcas y referencias de los dispositivos del sistema fotovoltaico, para posteriormente, realizar las fichas técnicas de sus componentes con base en la información de los catálogos consultados. Además, como parte del análisis de eficiencia, se realizará un diagnóstico del estado del equipo, el pronóstico de las consecuencias que podrían tener lugar de no resolver el inconveniente prescrito, y desde luego, las recomendaciones pertinentes, como posibles soluciones al diagnóstico.

4.2.1.2 Información de los equipos que funcionan 24/7 en la institución. La institución tampoco cuenta con el respectivo dossier para estos equipos, de modo que, tras la inspección visual realizada durante las visitas, se pudieron contabilizar en funcionamiento: 5 neveras exhibidoras, un cuarto frío, 5 aires acondicionados y el sistema de vigilancia. Vale la pena aclarar que del cuarto frío y del sistema de vigilancia no se conoce un consumo exacto; y que la institución cuenta con mayor número de neveras y de aires acondicionados, solo que las neveras no contabilizadas, no están en servicio constante, al igual que los aires acondicionados, no todos funcionan los fines de semana.

Tabla 1. Información técnica de las neveras exhibidoras.

Modelo del equipo	cantidad	Consumo de energía c/u [kWh/24h]	Consumo [A]
INPV-6	2	4.65	3.9
INPV-46 B	2	14.55	10
INPV-7F	1	5.3	4.6

Fotografía 9. Muestra de los aparatos conectados 24/7 en la institución.



Tabla 2. Información técnica de los aires acondicionados.

Ubicación	cantidad	BTU	Consumo de energía [kWh/24h]	Consumo [A]
Rack sistemas bachillerato	1	18000	10.14	8
Monitoreo	1	24000	13.78	11.3
UPS	1	24000	13.78	10.5
Rack preescolar	2	9000	4.68	5

Obteniendo un consumo aproximado de 90.76 kWh durante cada día festivo por parte de los equipos listados anteriormente, de modo que, el consumo puede ser mayor si se contemplara la energía consumida por los dispositivos de monitoreo.

4.2.1.3 Recopilación de parámetros eléctricos haciendo uso del analizador de red DRANETZ HDPQ Visa.

Sistema fotovoltaico: Debido al daño en la tarjeta de comunicación del inversor PVI-10.0/12.5-TL-OUTD, no se pudieron obtener los parámetros eléctricos, de corriente, tensión, y de potencia generada por el SFV, lo que resulta en una dificultad en la cuantificación de energía; puesto que esta última es un dato primordial para poder realizar el análisis económico y el análisis de eficiencia que competen a este proyecto de investigación, e incluso es primordial para calcular la huella de carbono, se hizo necesario conectar el analizador de redes DRANETZ HDPQ Visa aguas abajo del inversor durante la tercera semana del mes de septiembre en el cuarto técnico del último piso del edificio de preescolar, para llevar a cabo la medición de los parámetros, aclarando que su instalación se llevó a cabo el viernes 13 de septiembre a las 5 pm y su desconexión fue el día sábado 21 de septiembre a las 5 pm.

Conexión del DRANETZ HDPQ Visa: A la hora de instalar el equipo se tuvo en cuenta para su previa configuración parámetros concernientes al rango de corriente suministrada por el SFV, el nivel de tensión y el arreglo del conexionado en estrella para la red trifásica.

Una vez definido estos parámetros, se accedió al tablero del contactor encargado de la interconexión a la red del colegio con el fin de interceptar los bornes del mismo por medio de las pinzas receptoras de la señal de tensión en cada una de las fases, neutro y tierra, en cuanto a la medida de corriente se ubicaron las bobinas de Rogowski rodeando los conductores que ingresaban al contactor registrando de igual forma en la fase A, B, C y neutro. Por último, se verificó que el equipo suministrara información coherente de acuerdo a los fasores de tensión y corriente registrados además de que la secuencia en estas señales fuera la correcta.

Fotografía 10. Conexión del analizador de redes DRANETZ HDPQ Visa aguas abajo del inversor.

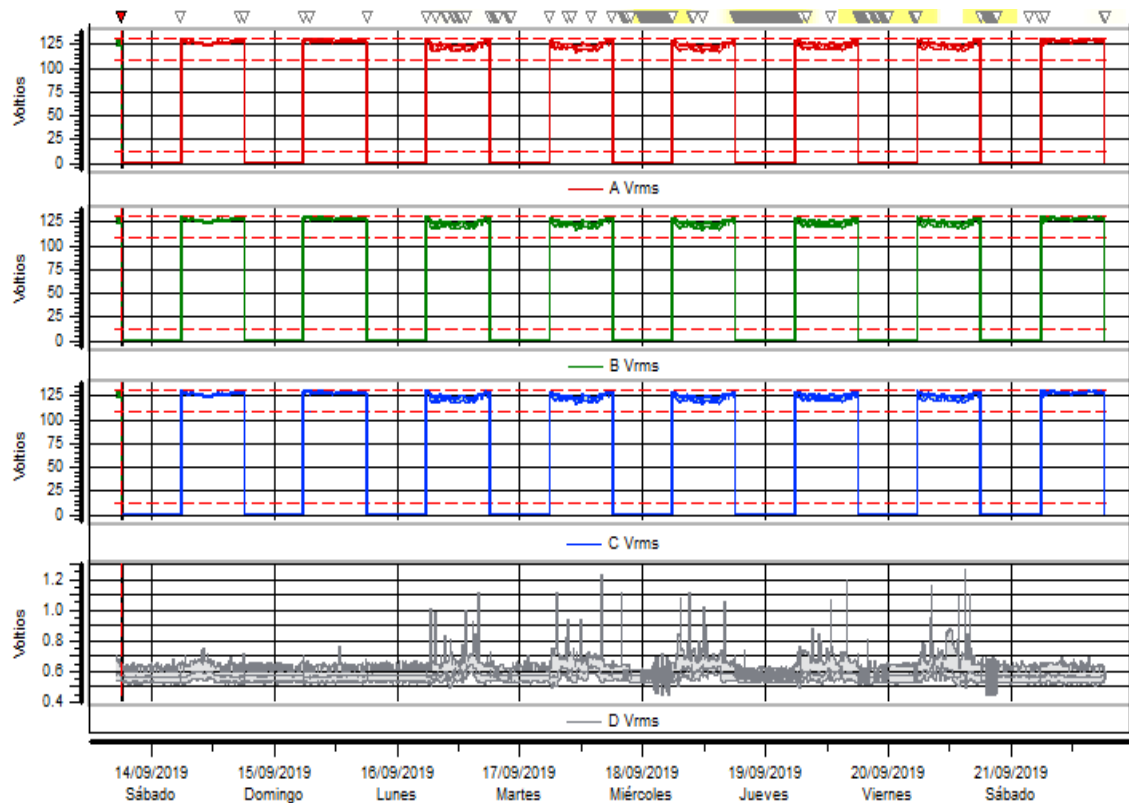




Para realizar el correspondiente análisis de los resultados arrojados por el analizador de red se utilizó el software Dran View 7.0, en su versión de demostración, el cual facilitó el procesamiento de los datos, permitiendo visualizar por medio de gráficos el comportamiento del sistema.

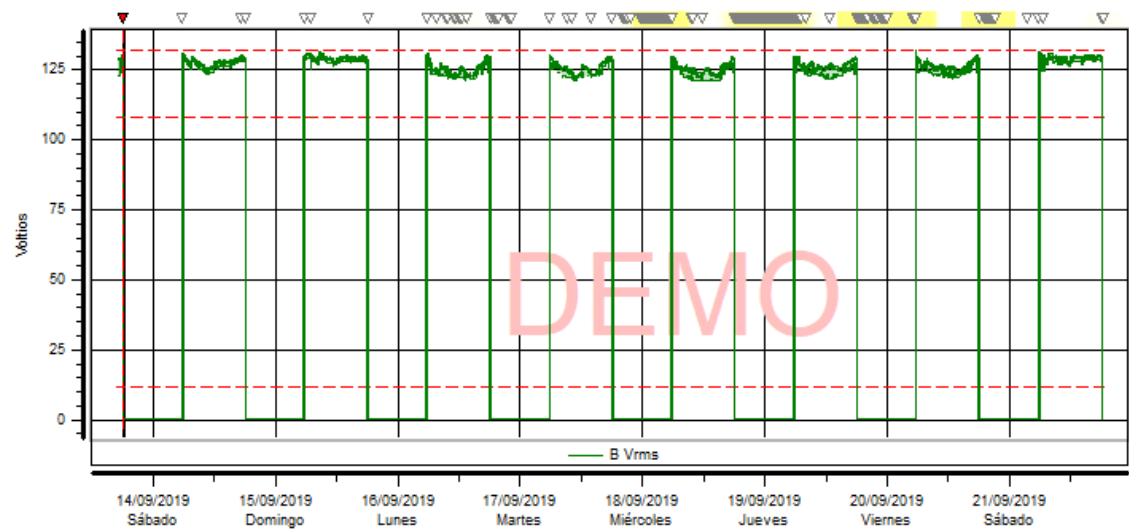
Gráficas de tensión por semana: Aprovechando la herramienta gráfica del software, se pudieron observar los diagramas de tensión para las fases A, B y C junto con el neutro, durante el lapso de una semana (figura 7.), pudiendo reconocer en el comportamiento de la señal de tensión, la hora de entrada en operación del SFV a las 5:50 am, que coincide con la hora promedio a la que sale el sol, y su salida de operación, con la caída de tensión a las 18:10 pm aproximadamente. Además de esto, no se advierten comportamientos relevantes, más que unas leves variaciones de tensión, con un rango entre 123 V y 135 V como se ve en detalle para la fase B en la figura 8.

Figura 7. Señales de tensión para cada fase durante una semana.



Fuente: software Dran View 7.0

Figura 8. Señal de tensión para la fase B durante una semana.

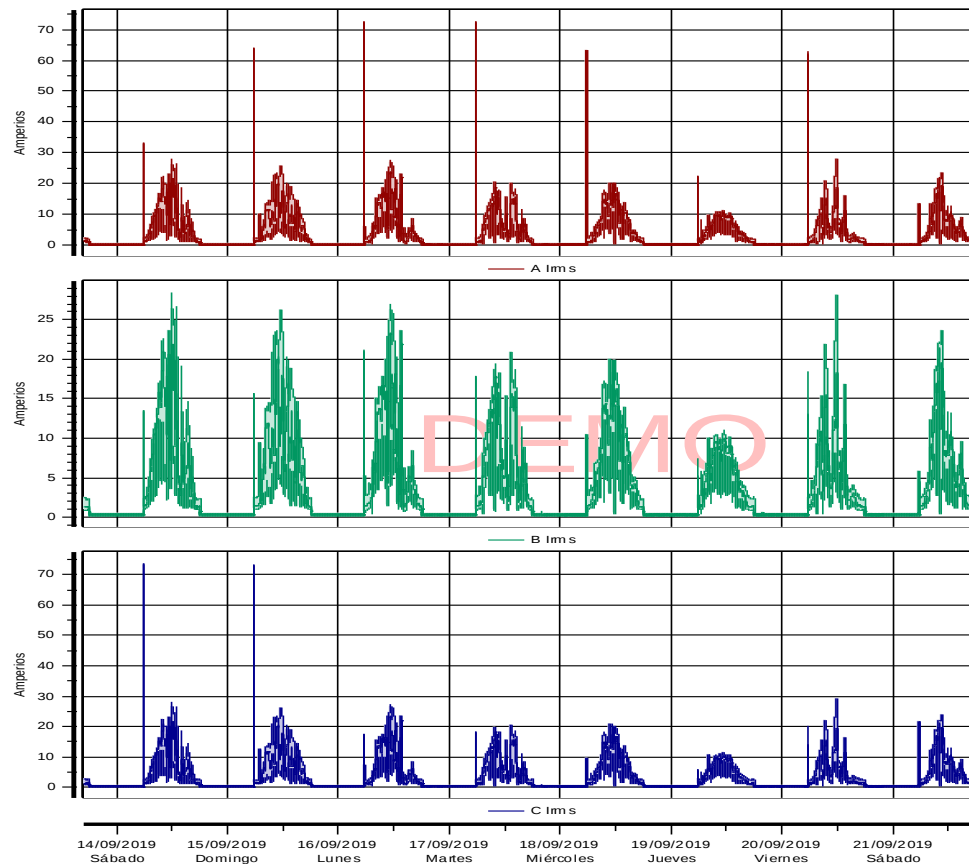


Fuente: software Dran View 7.0

En general se evidencia un comportamiento satisfactorio, sin sobretensiones significativamente alarmantes.

Gráficas de corrientes por semana:

Figura 9. Señales de corriente para cada fase durante una semana.

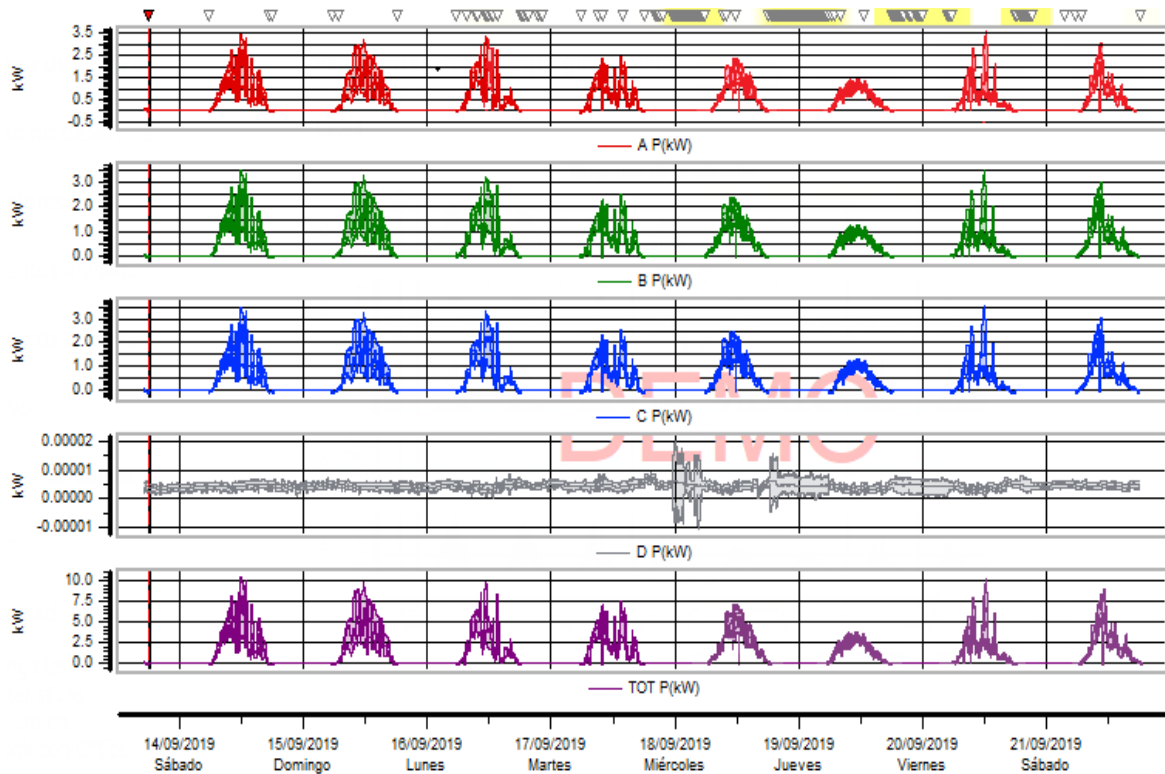


Fuente: software Dran View 7.0

En estas gráficas se pueden observar las respectivas señales de corriente de la fase A, B y C en valores Irms, lográndose ver que para los días sábado, domingo y lunes se obtuvo buena insolación sobre los paneles a lo largo del día, alcanzando picos de corriente de hasta 28 Amperios a las 12:00 pm; por otra parte, como era de esperarse, en el periodo de tiempo comprendido entre las 18:10 pm hasta las 5:50 am no hubo inyección de corriente por la desconexión del SFV.

Gráficas de potencia por semana:

Figura 10. Señales de potencia para cada fase durante una semana.

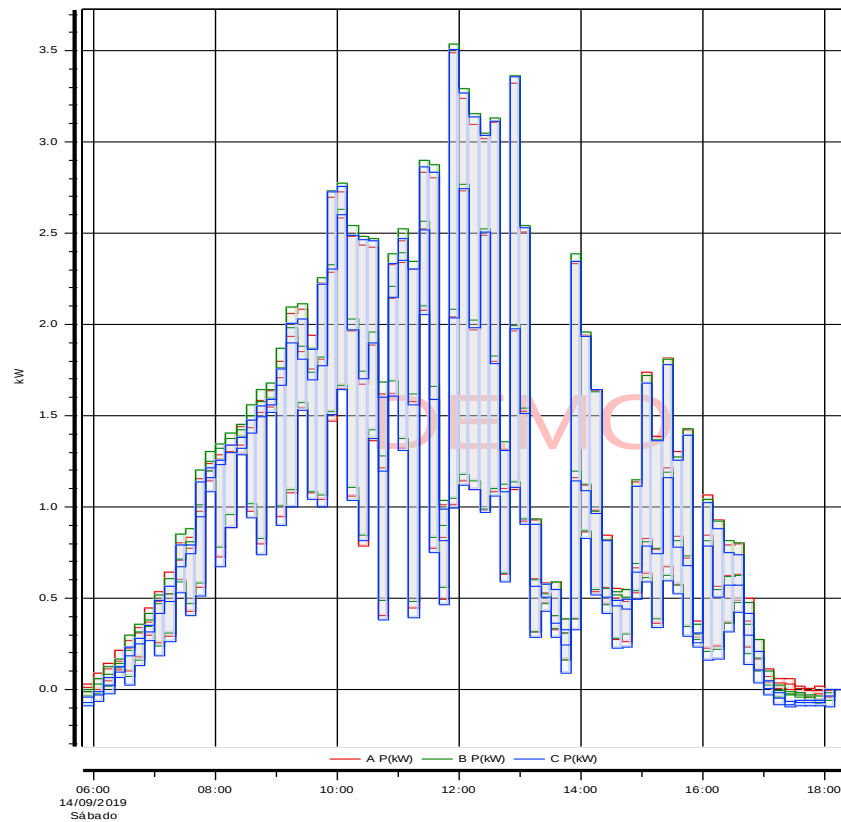


Fuente: software Dran View 7.0

En esta figura se puede visualizar la magnitud de potencia eléctrica entregada por el SFV en cada fase, A, B y C, junto con el neutro en el canal D, y una cuarta gráfica que muestra la suma de las tres fases como respuesta total del sistema, en el canal TOT.

Respecto a la gráfica de potencia total se puede notar que para el día jueves la potencia generada no fue representativa, en comparación a otros días, de lo cual se intuye que, para esta fecha, hubo mayor presencia de nubosidad o en su defecto un aumento en la temperatura.

Figura 11. Comportamiento sobresaliente de la potencia generada por el SFV el sábado 14 de septiembre.

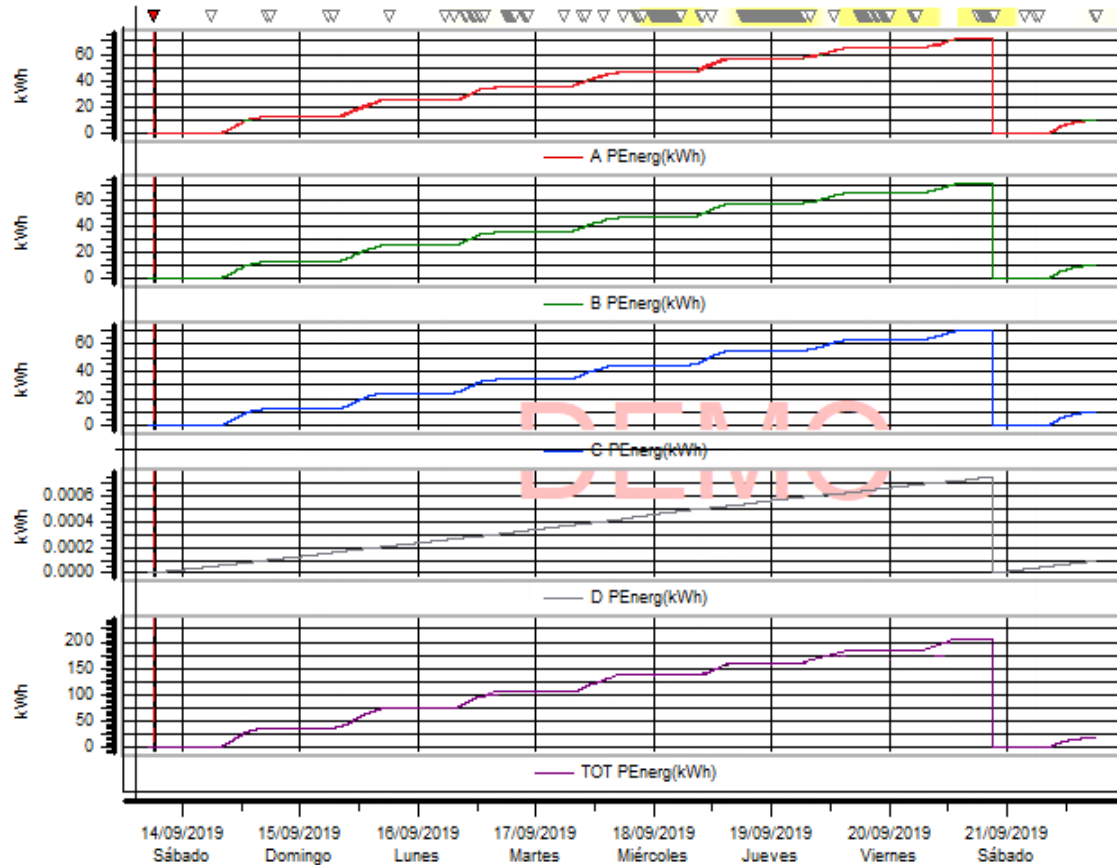


Fuente: software Dran View 7.0

En esta gráfica se muestra con más detalle el comportamiento de la potencia para cada fase generada durante uno de los días con mejores condiciones climáticas, pudiéndose vislumbrar el incremento de la potencia entre la franja de las 6:00 am a las 9:30 am sin presentar ningún valle, producto de una irradiancia con crecimiento constante y un cielo despejado, sin embargo, después de este horario la potencia empieza a decrecer, debido a posibles sombreados por objetos aledaños, o nubosidades debido al comportamiento intermitente de potencia, por otra parte se puede observar el decremento de la potencia después de las 12:00 pm como normalmente se esperaría, no obstante, el pronunciado valle visto en la franja de tiempo entre la 1:20 pm y las 3:45 pm es indicio de una clara precipitación con bastantes nubes debido al largo tiempo transcurrido del evento.

Gráficas de energía por semana:

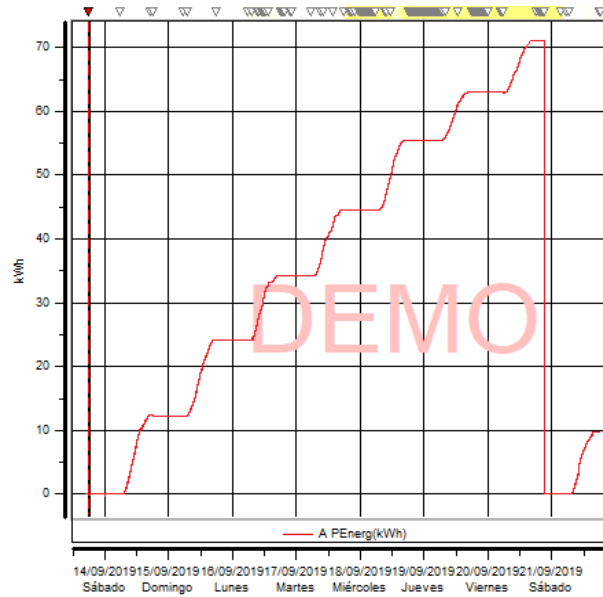
Figura 12. Energía generada acumulada, para cada fase, durante una semana.



Fuente: software Dran View 7.0

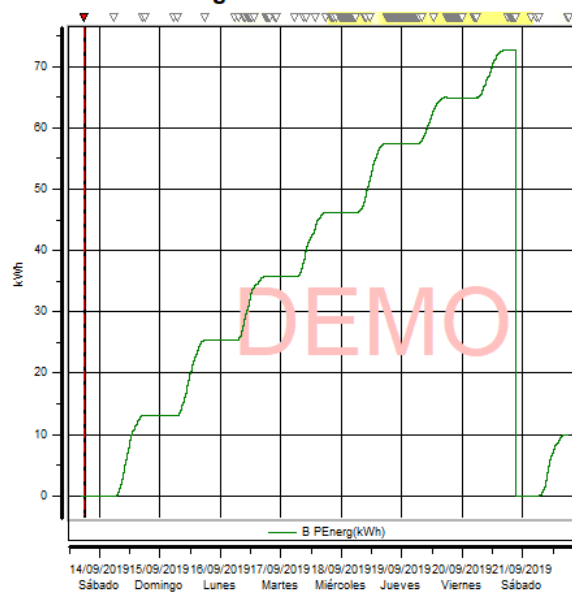
En la figura 12 se muestran las gráficas de energía entregada a la red del colegio para la fase A, B y C y neutro, así como la inyección total de energía por toda la semana en el canal TOT, llegándose a obtener 215,55 KWh de energía total inyectada, que puede corroborarse sumando los valores de energía que presentó cada fase al terminar el monitoreo. Al detallar la fase A, se aprecia que la inyección de energía llegó a 72,1 KWh al finalizar la semana, además de esto se puede vislumbrar que la energía entregada por el SFV durante el sábado y domingo es de aproximadamente 75 kWh.

Figura 13. Energía generada por el SFV en la fase A durante una semana.



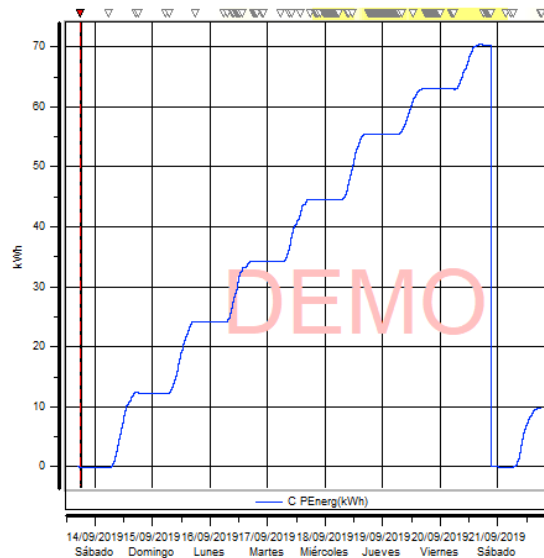
Fuente: software Dran View 7.0

Figura 14. Energía generada por el SFV en la fase B durante una semana.



Fuente: software Dran View 7.0

Figura 15. Energía generada por el SFV en la fase C durante una semana.



Fuente: software Dran View 7.0

Valores de inyección de energía por fase:

- Fase A: 72,1 kWh/ semana
- Fase B: 72,89 kWh/ semana
- Fase C: 70,56 kWh/ semana

Tablero general de baja tensión:

Fotografía 11. Conexión del analizador de red DRANETZ HDPQ visa al TGBT.





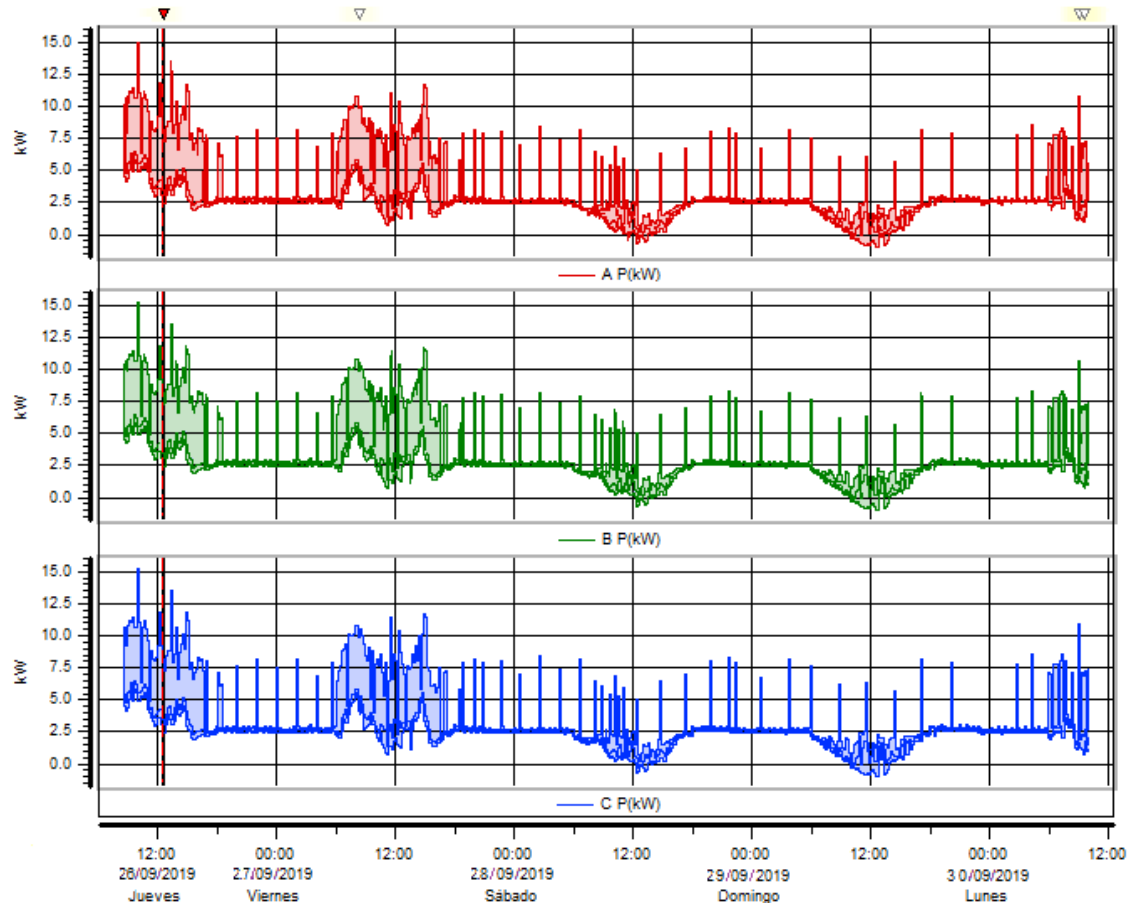
Para visualizar de forma más clara el comportamiento del consumo energético en la institución educativa, y verificar el aporte en potencia y energía eléctrica del sistema fotovoltaico, se identificaron desde el TGBT, las cargas que serían las primeras, por su cercanía, en ser alimentadas con la energía suministrada por el SFV, y qué cargas no se suministrarían directamente con la energía producto de este recurso solar, encontrándose que el edificio de preescolar con sus respectivos ascensores, aprovechan la mayoría de la energía provista por los paneles.

Luego de esto, se registró para cada fase la potencia eléctrica presente, haciendo uso del analizador DRANETZ HDPQ visa, tanto en el barraje derivado hacia las cargas de preescolar y los ascensores del edificio, como el barraje derivado para las demás cargas de la institución, pudiéndose observar la inyección de potencia del SFV durante los días analizados como se muestra a continuación.

Estas medidas fueron tomadas en el barraje del tablero general de baja tensión, desde el jueves 26 de septiembre hasta el lunes 30 del mismo mes.

Gráficas de potencia eléctrica y energía consumida para la fase A, B y C por parte de las cargas asociadas al edificio de preescolar:

Figura 16. Consumo de potencia eléctrica vista para el edificio de preescolar y ascensores

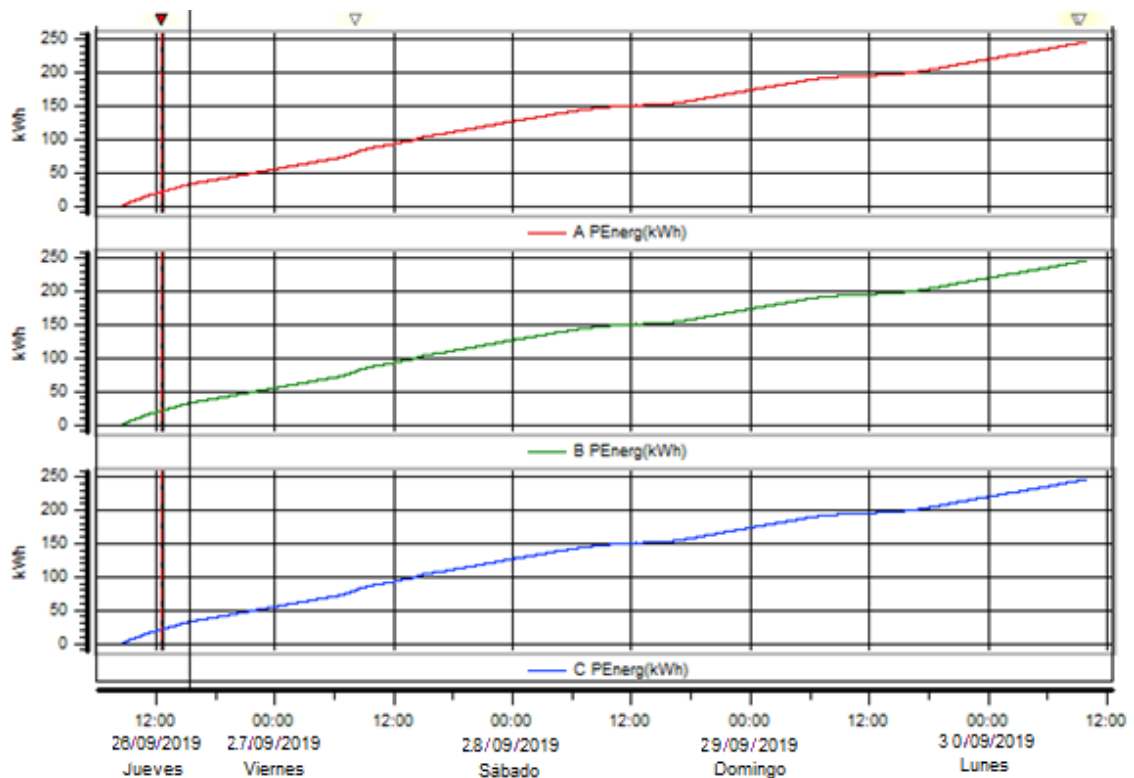


Fuente: software Dran View 7.0

En estas gráficas de potencia se puede observar con claridad el aporte del SFV en la franja comprendida entre las 6:00 am y las 18:00 pm, lográndose ver con más detalle el pronunciado valle a medio día, sobre todo para los días sábado y domingo, el cual se presenta debido a la operación del SFV, esto se confirma en la gráfica de potencia demandada para estos días en el edificio de preescolar, cuando es contrarrestada con una forma acampanada, típica de la generación por paneles, pero en este caso invertida. Además, se observa que incluso el SFV suministra potencia a las demás cargas de la institución.

Es necesario aclarar que en las gráficas de consumo visto para el edificio de preescolares se observaron pulsos de 5 kW por fase concerniente a una carga trifásica de 15 kW de potencia, producto del funcionamiento de los dos ascensores presentes en el edificio, ya que al ser una carga motriz implica un alto consumo de corriente en su arranque.

Figura 17. Consumo de energía eléctrica vista para el edificio de preescolar y ascensores.



Fuente: software Dran View 7.0

Se hace evidente que el SFV alcanza en su mayoría a cubrir la demanda del edificio de preescolar en los días de fin de semana para el respectivo horario de funcionamiento del SFV en su máxima generación comprendida entre las 11 am y 1 pm aproximadamente, esto debido a que en la franja horaria donde participa el

SFV, la pendiente en la curva es casi nula significando una ausencia de consumo por parte de la red de la electrificadora.

Consumo del edificio de preescolar: Puesto que el propósito inicial de la institución era suplir la demanda del edificio de preescolar, es indispensable conocer primeramente la energía generada por el SFV, para posteriormente determinar qué porcentaje representa de la energía demandada por el edificio. Este cálculo se realizará para un día entre semana, tomando el día viernes como muestra, de modo que ese día el SFV genera 30.79 kWh aproximadamente según la información entregada por el software, y corroborada por la gráfica 12.

Posteriormente se procedió a calcular el consumo de energía del edificio sin considerar el aporte energético del SFV para este día, haciendo uso del valor medido en el TGBT que puede observarse en la gráfica 17, el cual fue de 35 kWh por fase, de modo que, la totalidad del consumo de este edificio es de 135.79 kWh para el día en cuestión.

Consumo total preescolar	135.79 kWh	→	100%
Energía SFV	30.79 kWh	→	X

$$X = 29.32 \%$$

Finalmente, el aporte porcentual del SFV al edificio de preescolar para el día viernes es de 29.32%.

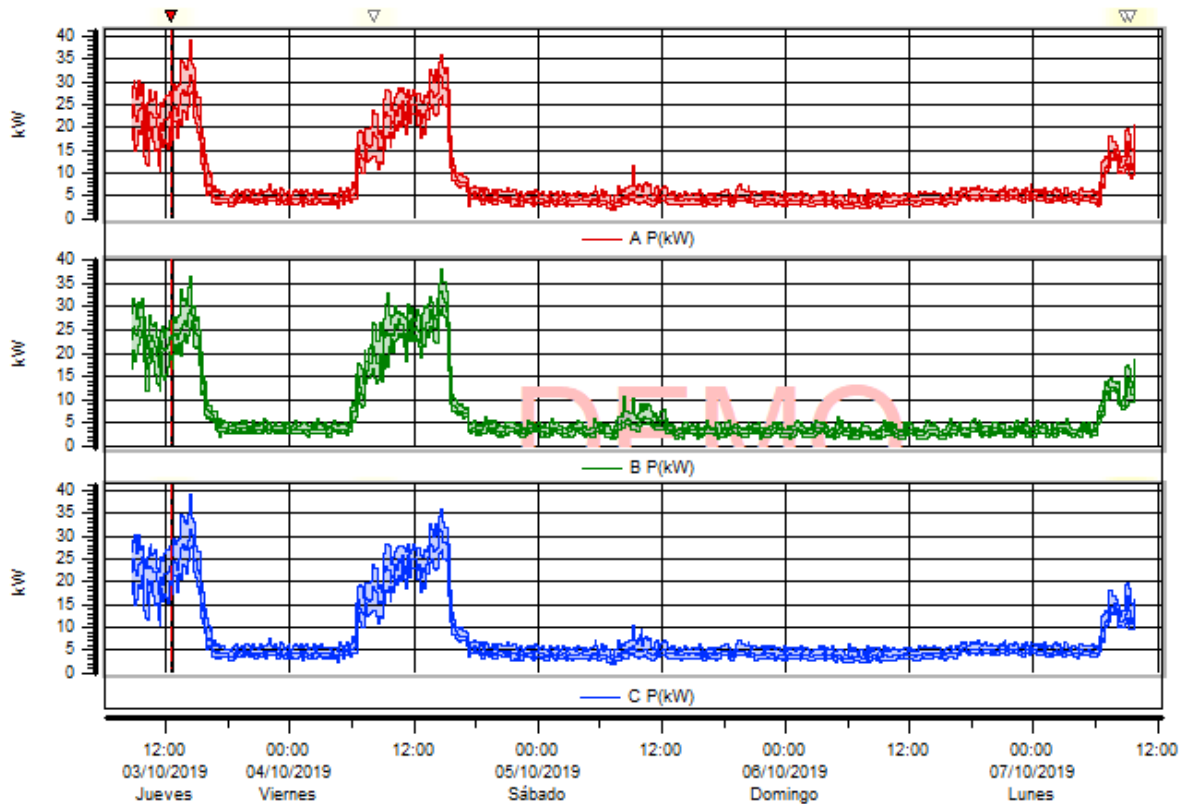
Cantidad de paneles para cubrir la demanda del edificio de preescolar: Se tiene que para el horario comprendido entre las 11:00 am y 1:00 pm para el día viernes, el edificio de preescolar demanda una potencia de 7.5 kW por fase lo que corresponde a una potencia trifásica de 22.5 kW, potencia que faltaría cubrir por los paneles para garantizar una alimentación total exclusiva del SFV, entonces:

Cantidad de paneles: $22,500 \text{ kW} / 320 \text{ W} = 70.31 \approx 71$

Lo que equivaldría a la incorporación de 71 paneles aproximadamente, adicionales a los ya existentes, llegado el caso de que se requiera cubrir esta carga con energía provista del recurso solar.

Gráficas de potencia eléctrica y consumo de energía para la fase A, B y C por parte de las demás cargas asociadas al colegio:

Figura 18. Consumo de potencia eléctrica vista para las demás cargas del colegio.

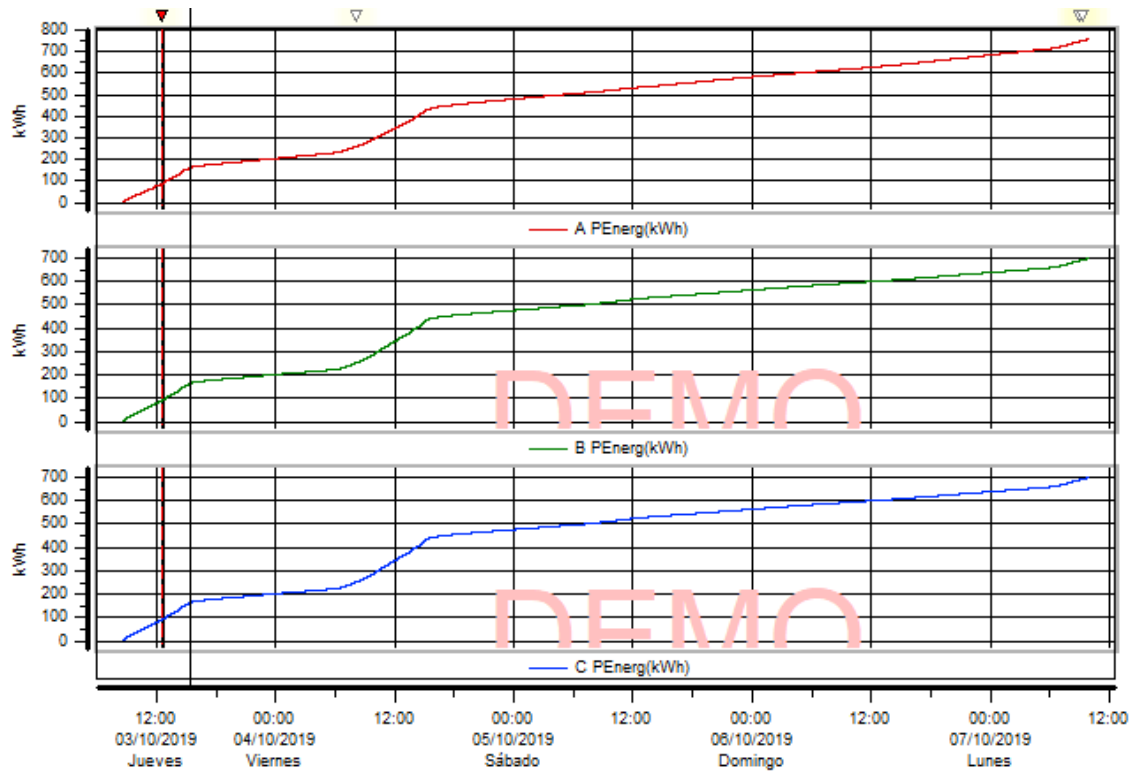


Fuente: software Dran View 7.0

Estas medidas fueron tomadas en el barraje del tablero general de baja tensión desde el jueves 3 de octubre hasta el lunes 7 del mismo mes.

Las gráficas muestran la notable diferencia en el consumo energético de un día entre semana a un día festivo, por otra parte, se puede visualizar que el mayor consumo de potencia eléctrica se encuentra en los días entre semana cerca de las 2 de la tarde.

Figura 19. Consumo de energía eléctrica vista para las demás cargas del colegio.



Fuente: software Dran View 7.0

El escenario de consumo, mostrado durante los días analizados, comprueba que en ningún momento existe inyección de energía a la red de la electrificadora, incluso en los días de ausencia de actividades no se presenta dicha situación debido a que la pendiente de la curva del consumo energético siempre es positiva. Esto puede corroborarse con la energía registrada por el medidor bidireccional, la cual fue registrada por los encargados de la vigilancia.

4.2.1.4 Datos de energía tomados del medidor bidireccional. Una forma de confirmar los valores obtenidos por el analizador de red, y corroborar que el sistema fotovoltaico no está inyectando energía a la red de la electrificadora, consiste en registrar los valores de energía que muestra el medidor bidireccional para la franja de tiempo comprendida entre las 6:00 am y las 6:00 pm, y durante los fines de semana para cada hora de ese mismo horario, ya que los días festivos son los días donde se presenta un menor consumo en la institución, dando la posibilidad de que el SFV inyecte a la red, lo cual se desmiente al evidenciar que cada hora el medidor bidireccional registra energía por parte de la red. Nota: El medidor tiene un factor de reducción de 120, por lo que hay que multiplicar por este valor para obtener la medida real.

Tabla 3. Energía entregada por la red registrada del medidor bidireccional 13-22 sep 6 am y 6 pm.

Fecha	6:00 a. m.	6:00 p. m.	Potencia activa total
Viernes 13 Sep	3498.6 kWh	3505.93 kWh	879.6 kWh
Sábado 14 Sep	3507.85 kWh	3509.91 kWh	247.2 kWh
Domingo 15 Sep	3511.69 kWh	3513.17 kWh	177.6 kWh
Lunes 16 Sep	3515.05 kWh	3524.04 kWh	1078.8 kWh
Martes 17 Sep	3525.96 kWh	3533.95 kWh	958.8 kWh
Miércoles 18 Sep	3543.44 kWh	3545.49 kWh	246 kWh
Jueves 19 Sep	3553.47 kWh	3557.3 kWh	459.6 kWh
Viernes 20 Sep	3564.55 kWh	3566.22 kWh	200.4 kWh
Sábado 21 Sep	3567.84 kWh	3567.84 kWh	0.0
Domingo 22 Sep	3569.53 kWh	3571.2 kWh	200.4 kWh

Tabla 4. Energía entregada por la red registrada hora a hora del medidor bidireccional 26-28 sep 6 am y 6 pm.

Hora	Viernes 26 Sep	Sábado 27 Sep	Domingo 28 Sep
6:00 a. m.	3610.12 kWh	3619.91 kWh	3623.85 kWh
7:00 a. m.	3610.48 kWh	3620.05 kWh	3623.94 kWh
8:00 a. m.	3611.11 kWh	3620.22 kWh	3624.05 kWh
9:00 a. m.	3612.65 kWh	3620.38 kWh	3624.16 kWh
10:00 a. m.	-	3620.65 kWh	3624.17 kWh
11:00 a. m.	3613.55 kWh	3620.88 kWh	3624.4 kWh
12:00 p. m.	-	3621.06 kWh	3624.51 kWh

1:00 p. m.	-	3621.29 kWh	3624.63 kWh
2:00 p. m.	-	3621.38 kWh	3624.74 kWh
3:00 p. m.	-	3621.53 kWh	3624.86 kWh
4:00 p. m.	3617.47 kWh	3621.7 kWh	3624.98 kWh
5:00 p. m.	3617.75 kWh	3621.87 kWh	3625.12 kWh
6:00 p. m.	3617.99 kWh	3622.03 kWh	3625.33 kWh

Por otra parte, se ratifica que el sistema fotovoltaico no inyecta a la red con el cálculo de energía consumida por los equipos que operan constantemente, que se realizó en la sección 4.2.1.2.

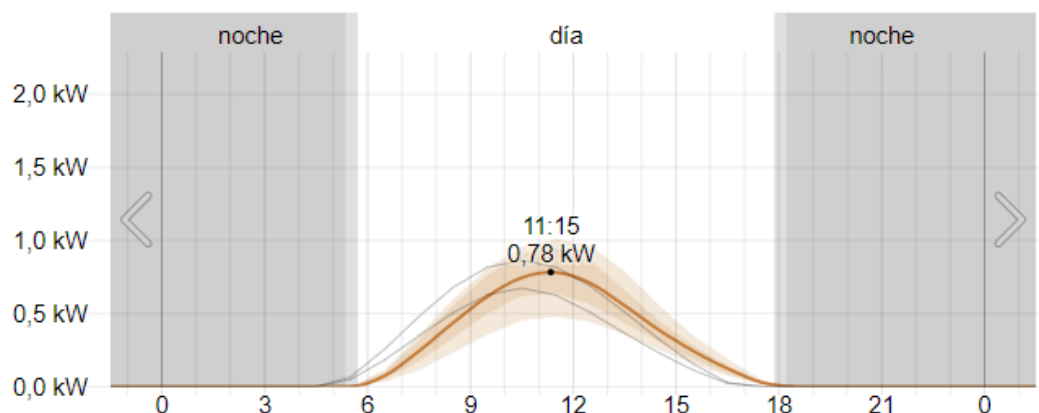
4.2.2 Aspectos Meteorológicos. La inestabilidad en las condiciones meteorológicas afecta determinadamente la generación de energía fotovoltaica, puesto que una captación deficiente del recurso solar, implica un bajo rendimiento en el sistema, e inherentemente, una menor cantidad de potencia entregada. De modo que, conocer la incidencia de los rayos solares, la nubosidad y la temperatura de la semana en la que se efectuó la medición de los parámetros eléctricos, permitirá justificar el comportamiento obtenido.

Aprovechando la existencia de una estación meteorológica en el colegio, se solicitó al IDEAM los parámetros de irradiancia solar, nubosidad y temperatura registrados entre el día sábado 14 de septiembre al viernes 20 de septiembre del presente año. Debido a la falta de una respuesta positiva por parte de esta entidad, se recurrió a la aplicación en línea Weather Spark, la cual “ilustra el clima típico en Floridablanca, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016”²² De modo que los parámetros contemplados se promediaron para obtener el siguiente comportamiento semanal:

²² Weather Spark. Fuente de los datos. [En línea]. Disponible en <https://es.weatherspark.com/d/24393/9/14/Tiempo-promedio-el-14-de-septiembre-en-Floridablanca-Colombia#Sections-Clouds>

4.2.2.1 Energía Solar registrada en la semana del 14 al 20 de septiembre. La energía solar de onda corta incidente es aquella que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta. La energía solar de onda corta incidente máximo por metro cuadrado es 0,78 kilovatios alrededor de la(s) 11:15.²³

Figura 20. Radiación solar kW promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/9/Tiempo-promedio-en-septiembre-en-Floridablanca-Colombia>

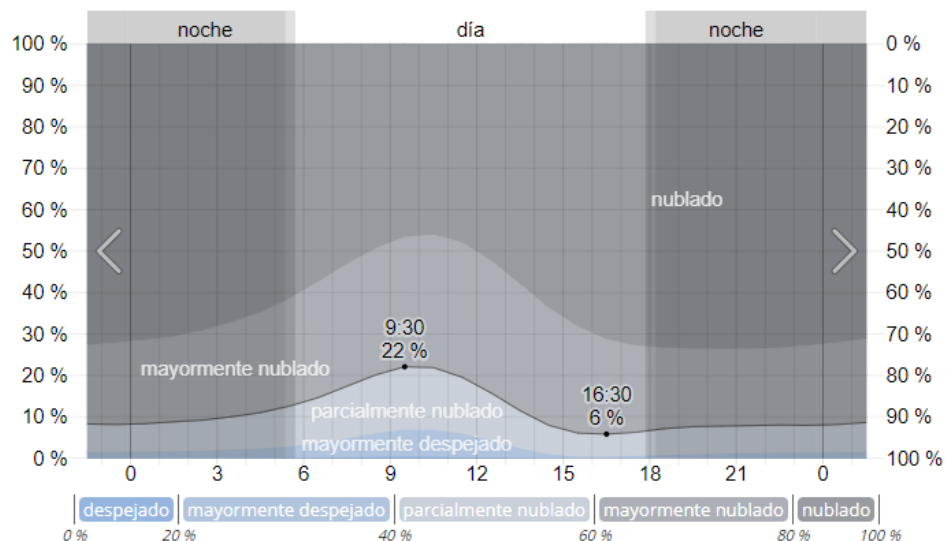
4.2.2.2 Nubosidad registrada en la semana del 14 al 20 de septiembre. La hora más nublada del día es alrededor de las 16:30, cuando la probabilidad de cielo nublado o mayormente nublado es 94 %. La hora más despejada del día es

²³ Ibid., Energía solar de onda corta.

alrededor de las 9:30, cuando la probabilidad de cielo despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado es 22 %.²⁴

La aplicación propone dos escalas porcentuales, o dos perspectivas para la interpretación de los datos en la gráfica; la escala derecha indica el porcentaje de probabilidad de cielo nublado o mayormente nublado, la escala izquierda en cambio, indica la probabilidad de cielo despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado. Los porcentajes mostrados corresponden con la escala izquierda.

Figura 21. Nubosidad promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/9/Tiempo-promedio-en-septiembre-en-Floridablanca-Colombia>

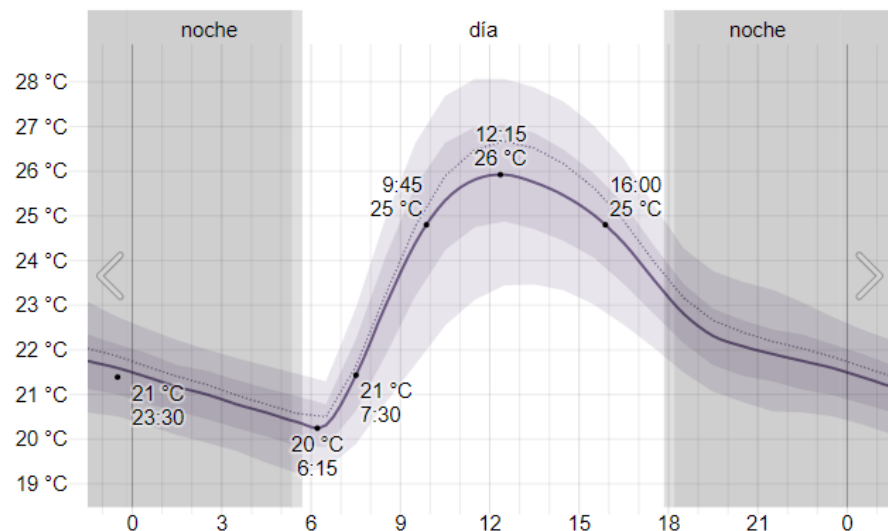
4.2.2.3 Temperatura registrada en la semana del 14 al 20 de septiembre. La temperatura en Floridablanca generalmente varía de 20 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 19 °C o sube a más de 28 °C.

²⁴ Ibid. Nubes

El periodo más frío del día es de la(s) 23:30 a la(s) 7:30, y la hora más fría es a la(s) 6:15, cuando la temperatura es inferior a 21 °C tres de cada cuatro días e inferior a 21 °C nueve de diez días.

El periodo más caluroso del día es de la(s) 10:00 a la(s) 16:00, y la hora más calurosa es a las 12:30, cuando la temperatura es superior a 25 °C tres de cada cuatro días y superior a 23 °C nueve de cada diez días.²⁵

Figura 22. Temperatura promedio para la semana del 14 al 20 del mes de septiembre en Floridablanca, Santander.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/9/Tiempo-promedio-en-septiembre-en-Floridablanca-Colombia>

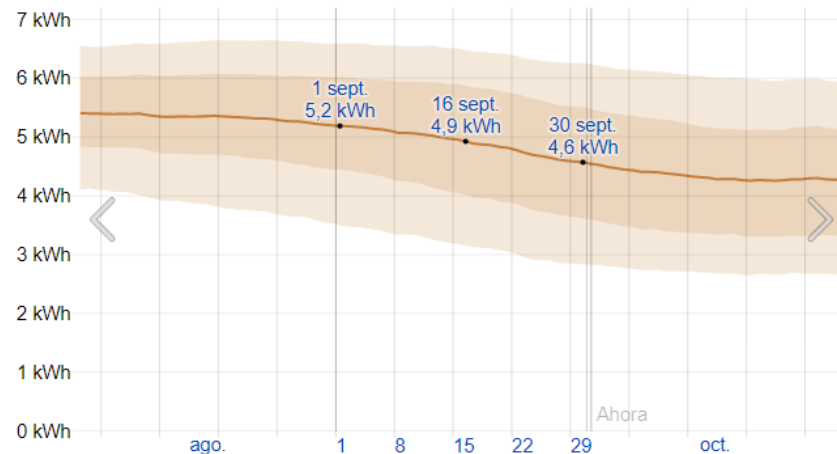
4.2.2.4 Estimación de la generación del mes de septiembre. Así mismo, conocer las características climatológicas del municipio de Floridablanca, Santander, conforme a los periodos estacionales propios de un país tropical sobre la línea del Ecuador, o, dicho de otra manera, según el “calendario climatológico” de Colombia,

²⁵ Ibid. Temperatura.

permitirá realizar un estimativo de los kW mensuales que generará el sistema fotovoltaico, y consecuentemente, una apreciación anual.

Este estimativo se podrá determinar, tomando como base la radiación promedio incidente, que se calcula con los datos propuestos por la aplicación Weather Spark (ver figura 23.) para la semana en que se tomó el registro de generación del sistema fotovoltaico, comprendida del 14 al 20 del mes de septiembre, relacionándolo con la energía generada por el sistema fotovoltaico durante este tiempo. La aplicación Weather Spark suministra el valor de la energía solar promedio registrada a lo largo del día (12 horas), para el inicio, la mitad y el final del mes, de modo que, al realizar un promedio entre estos días, se obtiene un valor aproximado de la energía proveniente del sol para cada día de septiembre.

Figura 23. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de septiembre.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/9/Tiempo-promedio-en-septiembre-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Promediando 5.2 kWh/m², 4.9 kWh/m², y 4.6 kWh/m², se obtiene 4.9 kWh/m² de energía solar de onda corta que inciden sobre los 62.09 m² que posee el arreglo de

paneles en la terraza (ver figura 40 en la sección 4.4.1), luego, podría decirse que durante las 12 horas de brillo solar diarias, incidieron 304.241 kWh ($4.9 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2$), y por ende, 2129.687 kWh/semana. A su vez, se sabe que el sistema fotovoltaico en la institución genera 215.55 kWh/semana, según la información suministrada por el analizador de redes DRANEZT HDPQ Visa, tal como se detalló en el numeral 4.2.1.3 de la sección de aspectos técnicos, pudiéndose determinar la siguiente relación:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{☀} & \text{Radiación Solar Semanal} \rightarrow \text{Energía Generada por el SFV semanal} & \text{☐} \\
 2129.687 \text{ kWh} & \rightarrow & 215.55 \text{ kWh (5)}
 \end{array}$$

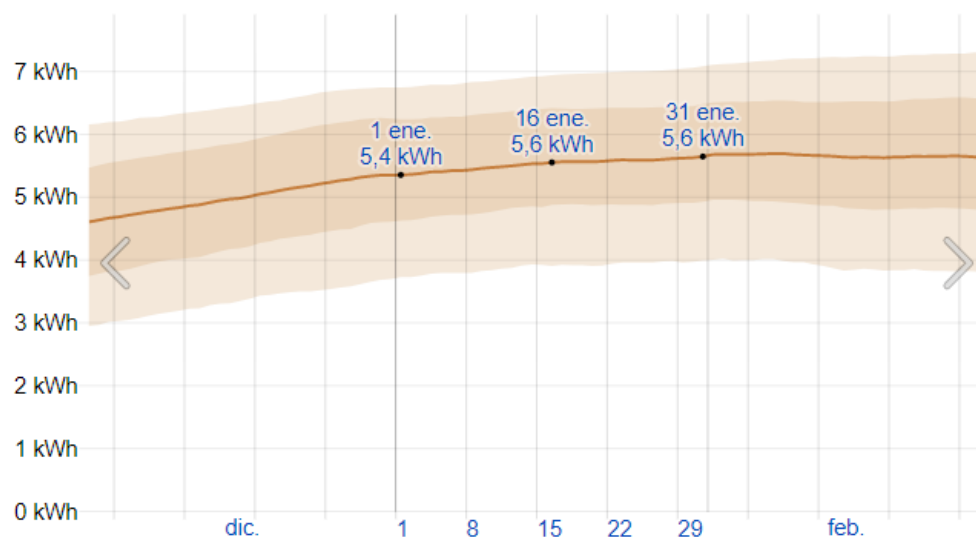
Esta correlación enuncia que para los 2129.687 kWh, provenientes de la energía del sol, y que inciden sobre el área que ocupa el arreglo de paneles, el sistema fotovoltaico entrega 215.55 kWh, esto para la semana del mes de septiembre.

Para tener una apreciación de la generación mensual se multiplicará la potencia entregada por el SFV durante una semana por un factor de 4, que corresponde con las 4 semanas que, aproximadamente, tiene un mes, encontrando que la **Generación mensual del SFV en septiembre fue de 862.20 kWh.**

Al conocer la radiación promedio incidente y la energía entregada por el SFV durante el mes de septiembre, se podrá realizar una relación de proporcionalidad para el resto del año, ya que la aplicación Weather Spark suministra un valor estimado de la energía solar de onda corta incidente para cada mes, así que, valiéndose de esta información se realizará una regla de tres simple, grosso modo, para obtener una proyección de generación anual.

4.2.2.5 Estimación de la generación del mes de enero.

Figura 24. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de enero.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-enero-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Siguiendo el proceso que se realizó para el mes de septiembre se tiene:

Radiación diaria promedio para enero: $5.5 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 343.565 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para enero: $343.565 \text{ kWh} \times 7 = 2404.95 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

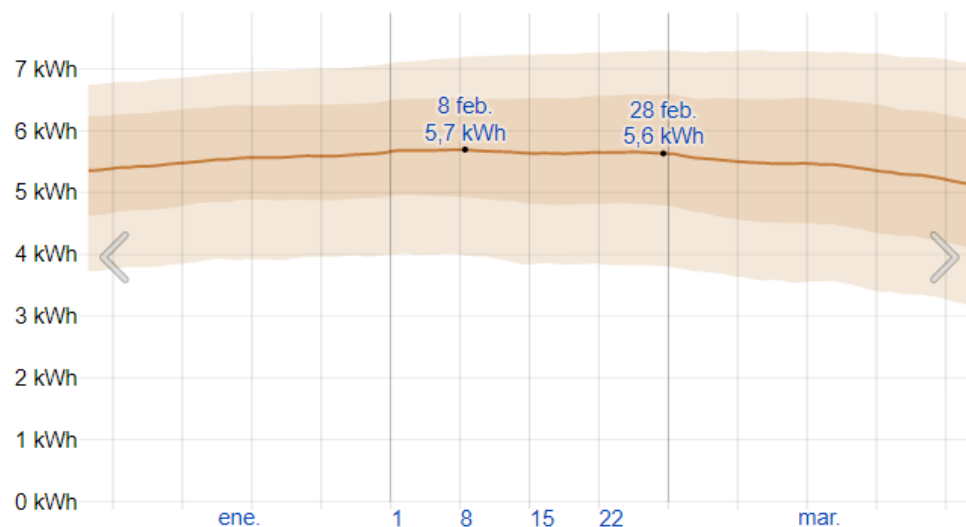
Ener. 2404.95 kWh → X kWh

$X = 243.41 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en enero: 973.64 kWh.

4.2.2.6 Estimación de la generación del mes de febrero.

Figura 25. Radiación solar kWh/ m² para el inicio y final del mes de febrero.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-febrero-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para febrero: $(5.7 \text{ kWh/m}^2) \times 62.09 \text{ m}^2 = 350.809 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para febrero: $350.809 \text{ kWh} \times 7 = 2455.66 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

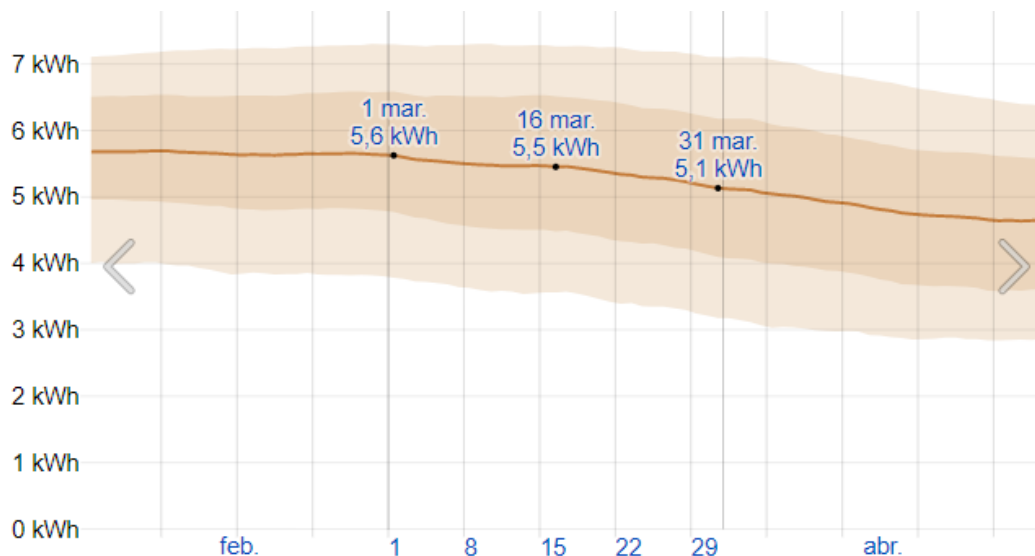
Febr. 2455.66 kWh → X kWh

$X = 248.54 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en febrero: 994.17 kWh.

4.2.2.7 Estimación de la generación del mes de marzo.

Figura 26. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de marzo.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-marzo-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para marzo: $5.4 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 335.286 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para marzo: $335.286 \text{ kWh} \times 7 = 2347.00 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

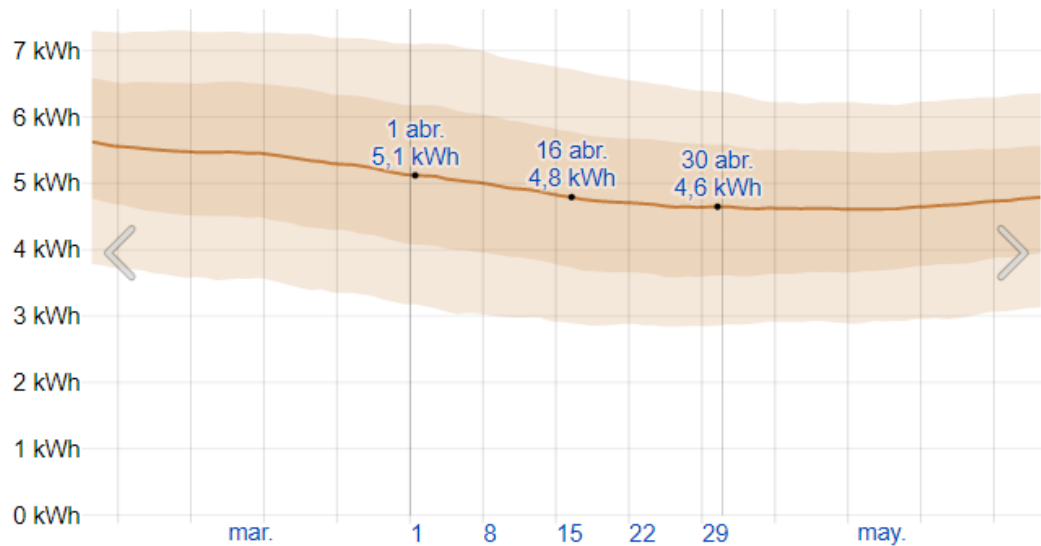
Marz. 2347.00 kWh → X kWh

$$X = 237.54 \text{ kWh}$$

Generación mensual del SFV en marzo: 950.18 kWh.

4.2.2.8 Estimación de la generación del mes de abril.

Figura 27. Radiación solar kWh/m² para el inicio, mitad y final del mes de abril.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-abril-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para abril: $4.8 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 300.102 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para abril: $300.102 \text{ kWh} \times 7 = 2100.710 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

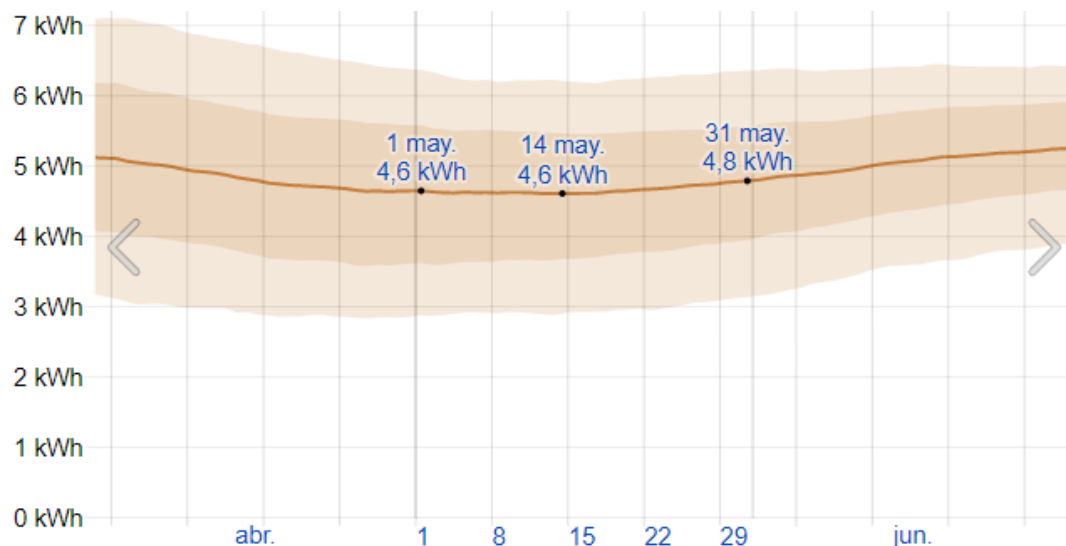
Abrl. 2100.710 kWh → X kWh

$X = 212.62 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en abril: 850.47 kWh.

4.2.2.9 Estimación de la generación del mes de mayo.

Figura 28. Radiación solar kWh/m² para el inicio, mitad y final del mes de mayo.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-mayo-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para mayo: $4.7 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 289.753 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para mayo: $289.753 \text{ kWh} \times 7 = 2028.27 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

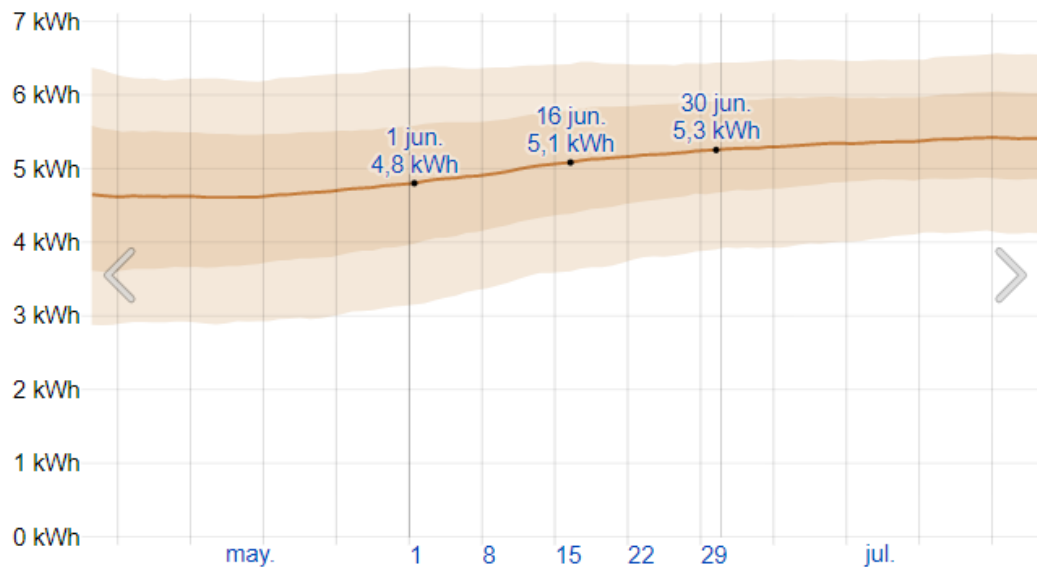
Mayo 2028.27 kWh → X kWh

$$X = 205.29 \text{ kWh}$$

Generación mensual del SFV en mayo: 821.14 kWh.

4.2.2.10 Estimación de la generación del mes de junio.

Figura 29. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de junio.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-junio-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para: junio $5.1 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 314.589 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para junio: $314.589 \text{ kWh} \times 7 = 2202.13 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

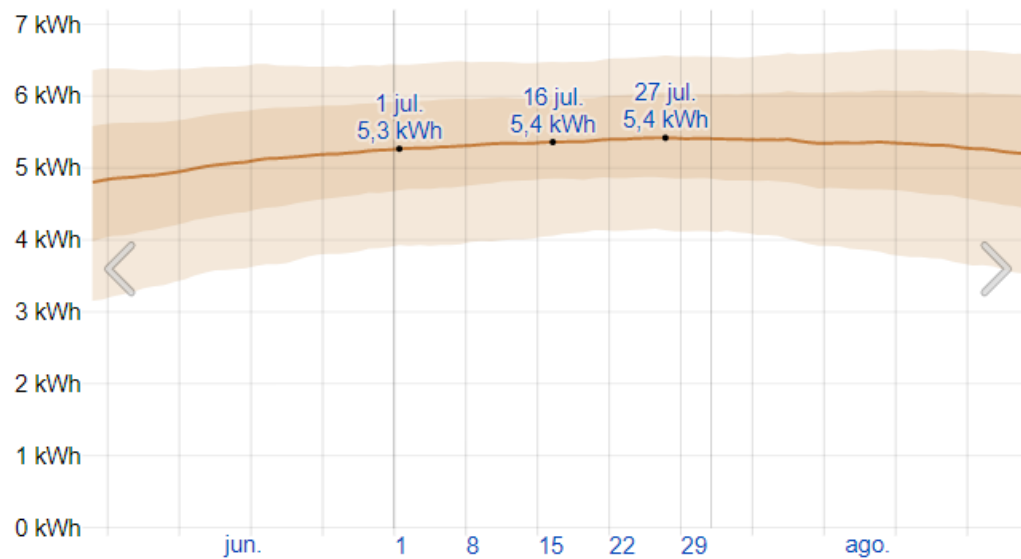
Jun. 2202.13 kWh → X kWh

$X = 222.88 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en Junio: 891.53 kWh.

4.2.2.11 Estimación de la generación del mes de julio.

Figura 30. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de julio.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-julio-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para julio: $5.4 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 333.216 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para julio: $333.216 \text{ kWh} \times 7 = 2332.51 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

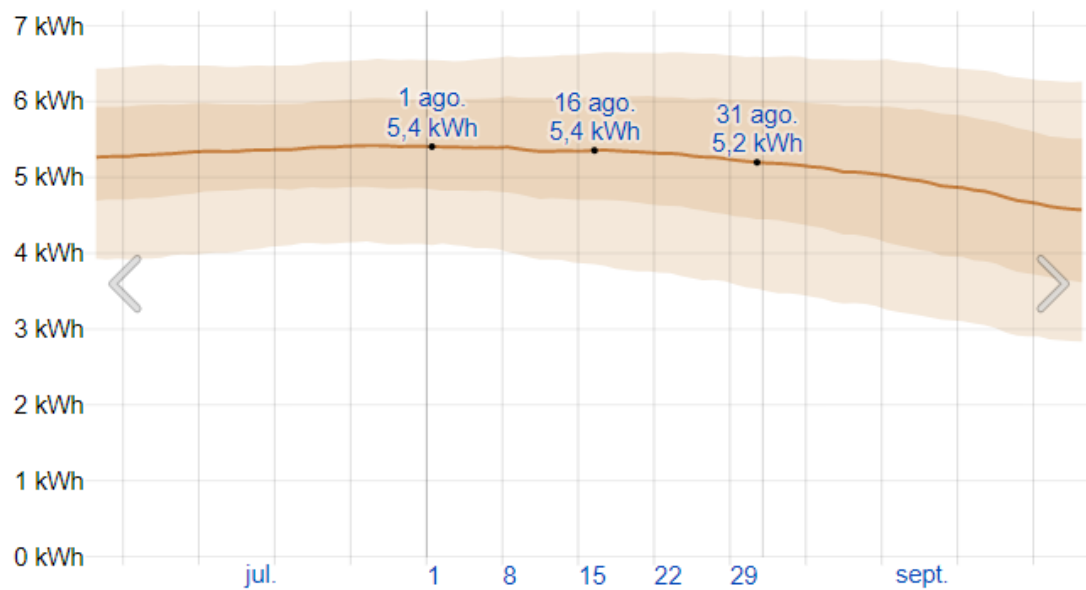
Jul. 2332.51 kWh → X kWh

$X = 236.08 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en julio: 944.31 kWh.

4.2.2.12 Estimación de la generación del mes de agosto.

Figura 31. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de agosto.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-agosto-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para agosto: $5.3 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 331.147 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para agosto: $331.147 \text{ kWh} \times 7 = 2318.03 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

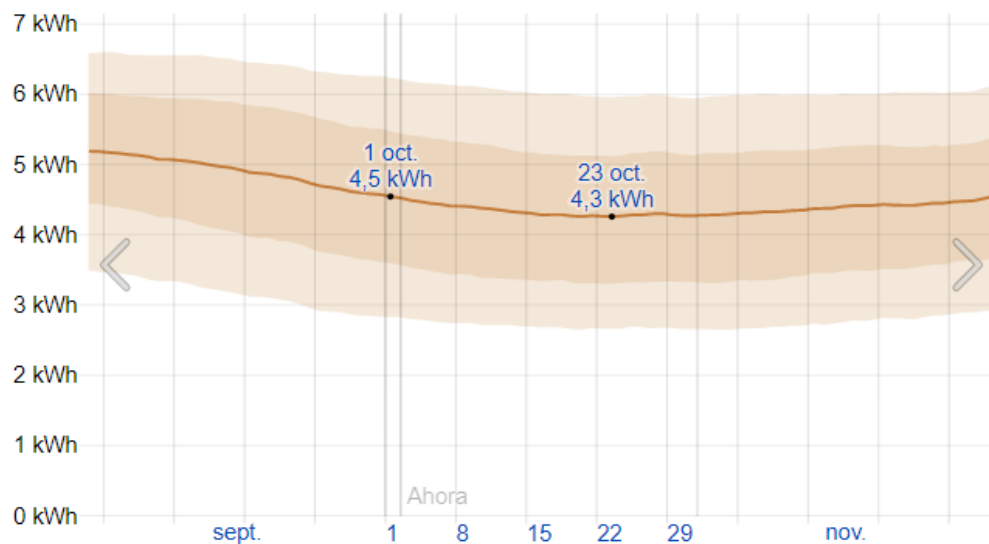
Agos. 2318.03 kWh → X kWh

$X = 234.61 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en agosto: 938.45 kWh.

4.2.2.13 Estimación de la generación del mes de octubre.

Figura 32. Radiación solar kWh/ m² para el inicio y final del mes de octubre.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-octubre-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para octubre: $4.4 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 273.196 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para octubre: $273.196 \text{ kWh} \times 7 = 1912.37 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

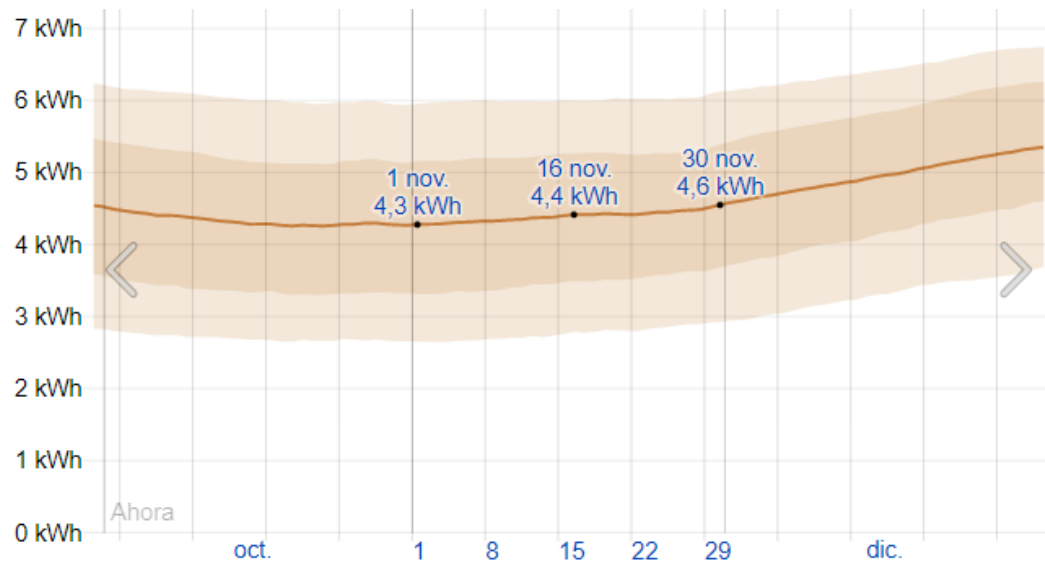
Oct. 1912.37 kWh → X kWh

$X = 193.56 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en octubre: 774.22 kWh.

4.2.2.14 Estimación de la generación del mes de noviembre.

Figura 33. Radiación solar kWh/ m² para el inicio, mitad y final del mes de noviembre.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-noviembre-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para noviembre: $4.43 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 275.266 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para noviembre: $275.266 \text{ kWh} \times 7 = 1926.86 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

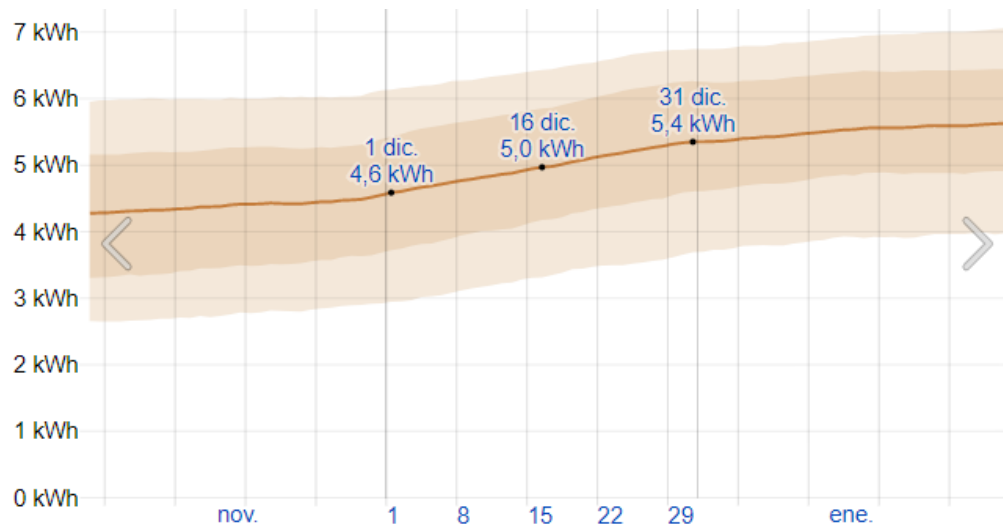
Nov. 1926.86 kWh → X kWh

$X = 195.02 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en noviembre: 780.09 kWh.

4.2.2.15 Estimación de la generación del mes de diciembre.

Figura 34. Radiación solar kWh/m² para el inicio, mitad y final del mes de diciembre.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-diciembre-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Radiación diaria promedio para diciembre: $5 \text{ kWh/m}^2 \times 62.09 \text{ m}^2 = 310.450 \text{ kWh}$

Radiación semanal promedio para diciembre: $310.450 \text{ kWh} \times 7 = 2173.15 \text{ kWh}$



Radiación Solar Semanal → Energía Generada por el SFV semanal



Sept. 2129.687 kWh → 215.55 kWh

Dic. 2173.15 kWh → X kWh

$X = 219.95 \text{ kWh}$

Generación mensual del SFV en diciembre: 879.80 kWh.

Mediante los cálculos efectuados, se obtuvo la cantidad de energía que entrega el sistema fotovoltaico durante cada mes del año, consiguiendo un estimativo de la generación anual que contempla el factor climático, encontrando que el sistema fotovoltaico entrega 10660.19 kWh/año. Esta información se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 5. Estimativo de la energía anual a partir de la generación mensual del SFV.

Mes	Inicio kWh/m ²	Mitad kWh/m ²	Final kWh/m ²	Promedio kWh/m ²	Energía solar sobre SFV kWh	Energía solar semanal kWh	Generación semanal SFV kWh	Generación mensual SFV kWh
ene	5.4	5.6	5.6	5.53	343.565	2404.95	243.41	973.64
feb		5.7	5.6	5.65	350.809	2455.66	248.54	994.17
mar	5.6	5.5	5.1	5.40	335.286	2347.00	237.54	950.18
abr	5.1	4.8	4.6	4.83	300.102	2100.71	212.62	850.47
may	4.6	4.6	4.8	4.67	289.753	2028.27	205.29	821.14
jun	4.8	5.1	5.3	5.07	314.589	2202.13	222.88	891.53
jul	5.3	5.4	5.4	5.37	333.216	2332.51	236.08	944.31
ago	5.4	5.4	5.2	5.33	331.147	2318.03	234.61	938.45
sep	5.2	4.9	4.6	4.90	304.241	2129.69	215.55	862.20
oct		4.5	4.3	4.40	273.196	1912.37	193.56	774.22
nov	4.3	4.4	4.6	4.43	275.266	1926.86	195.02	780.09
dic	4.6	5	5.4	5.00	310.450	2173.15	219.95	879.80

4.2.2.16 Estimación de la generación anual. Ya que, para el cálculo anterior los meses se consideraron de 28 días, dada la irregularidad en la duración de los mismos, se tendría el valor de los kWh entregados para un año de 336 días, por tal motivo, se quiso encontrar un valor más preciso que considerara los 365 días del año, así que, haciendo uso de la proporcionalidad entre la radiación solar, la energía generada por el SFV y el tiempo, se efectuó la siguiente regla de tres:



Radiación Solar Anual → Energía Generada por el SFV Anual



336 días → 10660.19 kWh

365 días → X kWh

X = 11580.26 kWh

De modo que **la energía entregada por el SFV durante los 365 días del año es de 11580.26 kWh.**

4.2.3 Aspectos Económicos. Para la realización del análisis financiero, mediante el cual se pretende examinar la cuantificación del aporte económico proporcionado por el SFV, la proyección de generación durante su vida útil, un estimativo del tiempo de retorno, y en general, la evaluación económica de la inversión, se solicitó al colegio la siguiente información:

- El costo total de la inversión del sistema fotovoltaico, así como los recibos de energía eléctrica para el tiempo comprendido entre los años 2015- 2019.

4.2.1.1 Costo del Proyecto. A continuación, se listan los precios unitarios de la inversión.

Tabla 6. Subtotal de la inversión realizada por la institución para la instalación del sistema fotovoltaico.

Equipo/servicio	Cantidad	Precio unitario [\$]	Precio total [\$]
Modulo fotovoltaico policristalino 320 W	32	780,060	24,961,920
Inversor trifásico 10 kW ON GRID ABB	1	13,946,640	13,946,640
Cableado Inter-conexionado de paneles LSHG 90/ conductos DC	1	4,680,000	4,680,000
Accesorios de interconexión DC/ conductores MC4	1	1,489,200	1,489,200
Sistema metalmecánico de soporte	1	8,280,000	8,280,000
Sistema de protección DC (fusible y porta fusible, supresor de picos TVSS, cajas tipo intemperie)	1	2,880,000	2,880,000
Sistema de gestión, control y monitoreo equipo inversor alta frecuencia	1	4,056,000	4,056,000
Montaje de sistema metalmecánico	1	2,520,000	2,520,000
Montaje mano de obra general de interconexión y montaje eléctrico	1	7,200,000	7,200,000
Subtotal	-	-	70,013,750

Adicionalmente, al subtotal de \$ 70,013,750, se consideraron \$ 5,601,101 de administración, para imprevistos \$ 1,400,275, como utilidad \$ 4,200,825 y

finalmente el IVA de 19% que corresponde a \$ 796,157. De modo que, **el costo total del proyecto fue de \$ 82,014,118.**

4.2.1.2 Análisis de los recibos de energía. Se solicitó a la institución los recibos de energía para el tiempo comprendido entre el año 2016 y el año 2019, con el propósito de observar la variación de consumo registrada en la factura de energía al incorporarse el SFV a la red eléctrica de la institución; vale la pena recordar que el SFV se pone en marcha a finales de febrero del año 2017.

El área contable suministró los recibos requeridos en formato digital, posteriormente, al tratar de determinar el patrón de demanda del colegio en kWh, - energía suministrada por la ESSA – y su afectación al implementar el SFV, se encontraron los siguientes inconvenientes:

- El nuevo edificio de preescolar se inauguró simultáneamente con la entrada en operación del SFV, y a su vez, las construcciones en las canchas deportivas continuaban para la fecha, de modo que la nueva carga demandada no permitió vislumbrar el aporte energético y económico del SFV por medio de los recibos, puesto que no había registro histórico con la nueva demanda de energía.
- Las construcciones en la institución iniciaron el 28 de marzo de 2016 y finalizaron el 17 de junio de 2017, de modo que el año 2016 no es un referente fiable para vislumbrar el patrón de consumo antes de la instalación del SFV, lo que dificulta realizar el comparativo que se pretendía, además, el consumo posterior incluye el nuevo edificio de preescolar y las canchas deportivas.

Frente a esta problemática se hace indispensable examinar periodos en los que no se hayan ejecutado proyectos que incidan en el consumo de energía de la institución. Por lo tanto, aprovechando que para el tiempo de recolección de datos de este trabajo de grado no se realizaba ningún tipo de obra, la institución

desconectó el sistema fotovoltaico durante todo el mes de agosto de 2019, específicamente desde el 6 de agosto al 5 de septiembre, tiempo que corresponde con el periodo facturado por la electrificadora; esto se hizo con la intención de ver la variación de consumo al compararse con la factura del mes de septiembre, en el cual operó constantemente el SFV.

Tabla 7. Consumo de agosto donde no opero el SFV vs. Consumo de septiembre donde opero el SFV.

Mes	Consumo [kWh]	Costo total [\$]
Agosto (Ago 6 – Sep 5)	28,080	16,178,434
Septiembre (Sep 6 – Oct 4)	27,480	15,724,684
Diferencia	600	453,750

De la diferencia efectuada se puede deducir que durante el mes de septiembre el sistema fotovoltaico generó 600 kWh aproximadamente; puesto que el consumo entre meses varia debido a factores socioeconómicos, y de los particulares hábitos de consumo que se dan por temporadas - que para la institución se listaron en el cuadro 3 y el cuadro 4 del numeral 4.1.1.1 – en septiembre pudo haberse incrementado la demanda energética del colegio, y en consecuencia la diferencia de la tabla 7 podría ocultar parte de la energía generada por el sistema fotovoltaico, por este motivo, es importante resaltar que para realizar un estudio veraz sobre los aportes energéticos y económicos proporcionados por el sistema fotovoltaico, se requiere conocer el valor más exacto posible de la generación entregada, y los recibos de energía no lo facilitarán.

Por lo tanto, para los análisis subsecuentes se utilizará la energía generada por el SFV estimada a lo largo del numeral 4.2.2 de aspectos meteorológicos, que a su vez se deriva de los datos proporcionados por el analizador de redes DRANEZT HDPQ Visa.

Con el objetivo de ilustrar el porcentaje que representa el suministro del SFV respecto al consumo total de la institución, se comparará con la energía registrada en los recibos de la electrificadora, para el año 2018 y el año 2019, por ser épocas en las que no se realizaron proyectos que incidieran en el consumo del colegio, y a su vez un panorama general desde el año 2016 a 2019.

Tabla 8. Porcentaje equivalente de la generación del SFV respecto al consumo total de la institución en el año 2018.

Mes	CONSUMO ESSA kWh/mes	Generación SFV kWh/mes	Generación SFV %
ene	13,600	1043.191	7%
feb	16,640	1065.186	6%
mar	21,240	1018.054	5%
abr	25,200	911.221	3%
may	24,360	879.800	3%
jun	17,640	955.211	5%
jul	25,440	1011.770	4%
ago	27,000	1005.486	4%
sep	27,480	923.79	3%
oct	27,480	829.526	3%
nov	19,560	835.810	4%
dic	23,440	942.640	4%
Promedio	22,423	951.807	4.3%

Figura 35. Comparación porcentual entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para el año 2018.

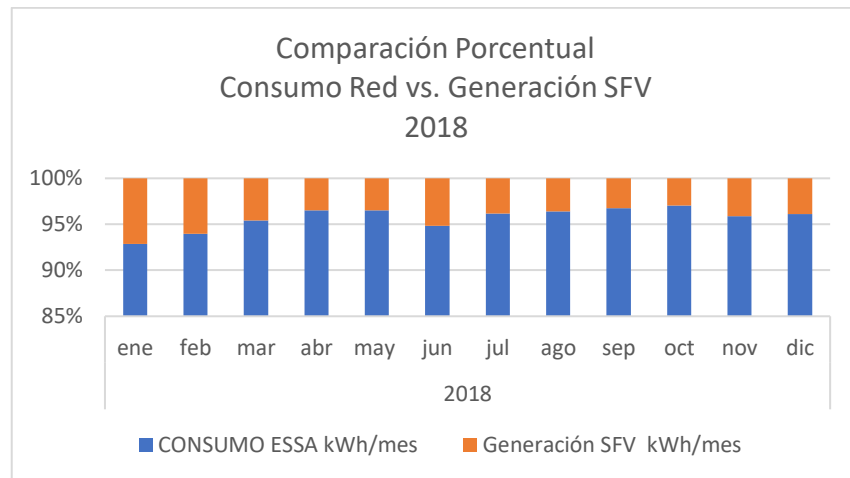


Tabla 9. Porcentaje equivalente de la generación del SFV respecto al consumo total de la institución en el año 2019.

Mes	CONSUMO ESSA kWh/mes	Generación SFV kWh/mes	Generación SFV %
ene	6,440	1043.191	14%
feb	25,200	1065.186	4%
mar	27,120	1018.054	4%
abr	22,920	911.221	4%
may	27,480	879.8	3%
jun	18,720	955.211	5%
jul	28,200	1011.770	3%
ago	28,080	1005.486	3%
sep	27,480	923.79	3%
Promedio	23,516	979.301	5%

Figura 36. Comparación porcentual entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para el año 2019.

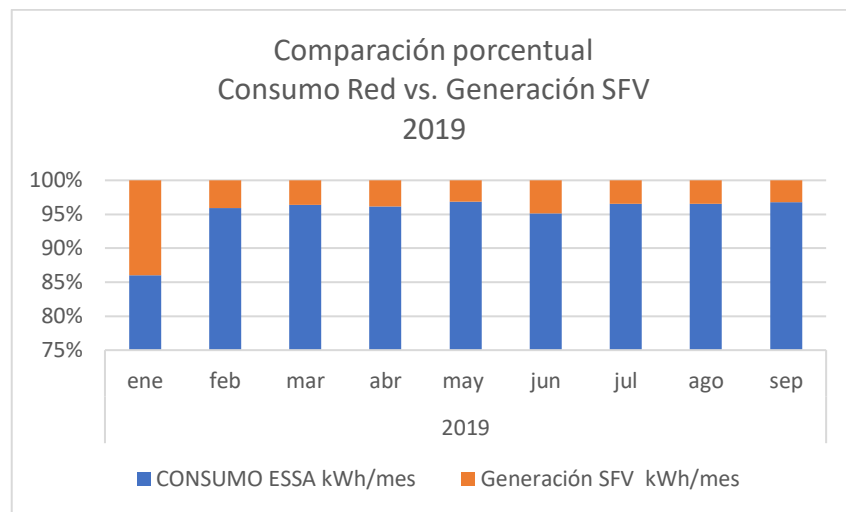
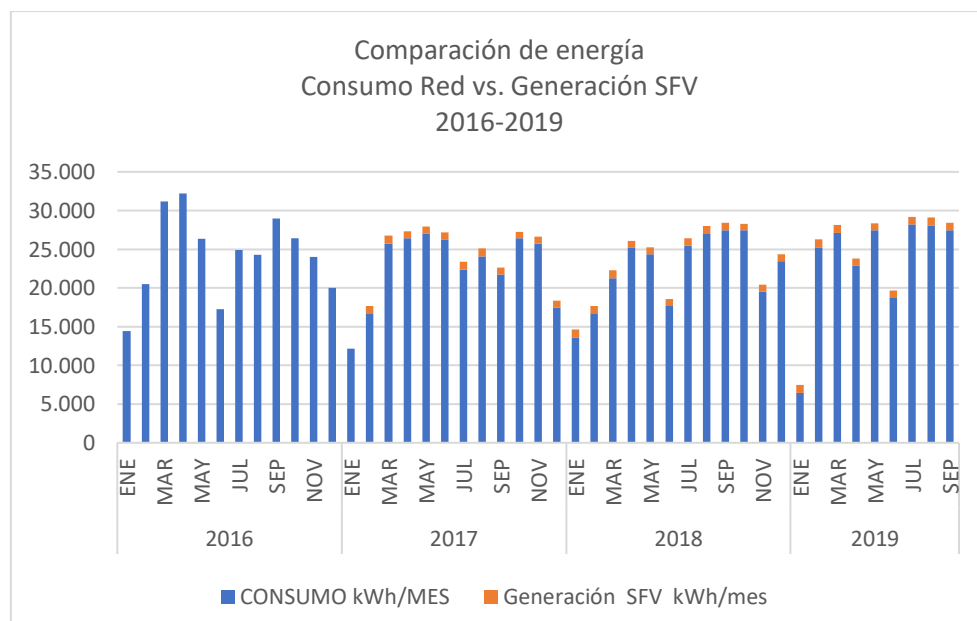


Figura 37. Comparación de energía entre la generación del SFV y el consumo registrado en la factura para 2016-2019.



4.3 ANÁLISIS FINANCIERO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SFV

4.3.1 Proyección de Ingresos. El estimativo previsto de generación anual del SFV es un dato indispensable para la realización del análisis financiero, ya que permitirá

proyectar la cantidad de energía entregada para un periodo de vida útil de 20 años. De los cálculos efectuados en el numeral 4.2.2.16 se conoce que el sistema fotovoltaico genera **11580.26 kWh/año**.

Con el potencial de la producción anual aproximada se procede a calcular el retorno de inversión para este proyecto, por lo que se hace necesario analizar el comportamiento del costo unitario de la energía establecida por la electrificadora de Santander ESSA, pues es primordial para valorar económicamente la energía generada, y así, vislumbrar la utilidad neta del sistema fotovoltaico, vista como un ahorro para la institución.

4.3.1.1 Evaluación del comportamiento del costo del kWh establecido por la ESSA. Se listaron los precios del kWh entre los años 2013 y 2018 que correspondían con la tarifa oficial para un usuario no residencial, y que, por ende, la institución debió cancelar a la electrificadora de Santander por su consumo.

Tabla 10. Tarifa ESSA para usuarios no residenciales con tarifa oficial entre 2013 y 2018.

TARIFA ESSA						
Mes/Año	2013 [\$/kWh]	2014 [\$/kWh]	2015 [\$/kWh]	2016 [\$/kWh]	2017 [\$/kWh]	2018 [\$/kWh]
ene	369.5311	372.4678	392.6673	456.5925	471.0825	490.1577
feb	374.5561	372.1845	401.8049	463.4414	473.1711	485.3111
mar	371.3963	384.5551	400.7565	470.393	495.0367	506.7326
abr	377.2922	377.9498	419.2979	477.4489	483.7706	502.8556
may	386.1369	385.5088	399.232	484.6106	476.1757	486.9055
jun	371.3587	393.219	416.6282	491.8798	468.7258	505.0806
jul	366.9060	401.0834	409.2434	499.258	488.3413	513.0683
ago	387.0289	409.105	413.9627	483.5813	492.594	513.1416
sep	380.2627	417.2871	417.5024	474.3571	481.8669	516.1653
oct	372.7438	425.6329	436.6472	468.6412	486.6637	519.9035
nov	372.8346	434.1455	443.1969	477.9875	492.1874	524.0376
dic	363.2655	409.7466	449.8448	489.4406	492.6621	493.2661
PROMEDIO	374.4427	398.5738	416.7320	478.1360	483.5232	504.7188

Debido a la falta de un patrón en la fijación de la tarifa mensual, es decir, no siempre se presenta un comportamiento al alza entre periodos facturados, se decidió realizar la comparación anualmente, para lo cual se calculó el promedio del costo del kWh por año. A partir de estos valores, se determinó la diferencia de precios entre años y su representación porcentual.

Tabla 11. Incremento anual promedio del kWh según la tarifa oficial para usuarios no residenciales entre 2013 y 2018.

Periodo	Incremento anual Promedio (\$/kWh)	Incremento anual Promedio (%)	IPC Anual DANE
2013-2014	24.131	6.44%	3.66%
2014-2015	18.158	4.56%	6.77%
2015-2016	61.404	14.73%	5.75%
2016-2017	5.387	1.13%	4.09%
2017-2018	21.196	4.38%	3.18%
Promedio	26.055	6.25%	4.69%

Según la tabla 11, el costo unitario de la energía (kWh) se incrementa aproximadamente en un 6.25% respecto al valor promedio del año anterior; adicionalmente, al consultar el valor del IPC (índice de precios al consumidor) en los registros históricos del DANE se evidencia que, para el periodo de tiempo en cuestión, el incremento en la tarifa de energía eléctrica es superior al IPC, y por ende, mayor a la inflación por año, lo cual es un resultado lógico, ya que el precio del kWh se calcula a partir del IPC y otros factores, y por lo tanto, lo cual indicaría a su vez que el ahorro energético año a año es creciente.

4.3.1.2 Proyección de la generación y los ingresos del SFV a 20 años. Para contemplar el desgaste natural de los paneles solares y su relación determinante con el rendimiento de la energía inyectada al sistema eléctrico de la institución, se asumió una reducción de 0.5% en la generación cada año.

Tabla 12. Proyección de generación e ingresos para los 20 años de vida útil del SFV.

PROYECCIÓN GENERACIÓN (KW)					
AÑO	GENERACIÓN PÉRDIDA DE RENDIMIENTO	COSTO KW ESSA	VALOR AHORRO X GENERACIÓN	VALOR AHORRO X ALUMBRADO PÚBLICO (10%)	TOTAL AHORRO SISTEMA FOTOVOLTAICO
1	11,580.26	535	6,193,241.17	619,324	6,812,565.28
2	11,522.36	568	6,547,358.63	654,736	7,202,094.50
3	11,464.46	604	6,921,549.06	692,155	7,613,703.97
4	11,406.56	641	7,316,938.34	731,694	8,048,632.17
5	11,348.65	682	7,734,714.68	773,471	8,508,186.15
6	11,290.75	724	8,176,132.03	817,613	8,993,745.23
7	11,232.85	769	8,642,513.60	864,251	9,506,764.97
8	11,174.95	817	9,135,255.71	913,526	10,048,781.28
9	11,117.05	869	9,655,831.66	965,583	10,621,414.83
10	11,059.15	923	10,205,795.97	1,020,580	11,226,375.57
11	11,001.25	981	10,786,788.75	1,078,679	11,865,467.62
12	10,943.35	1,042	11,400,540.30	1,140,054	12,540,594.33
13	10,885.44	1,107	12,048,876.06	1,204,888	13,253,763.66
14	10,827.54	1,176	12,733,721.64	1,273,372	14,007,093.80
15	10,769.64	1,250	13,457,108.29	1,345,711	14,802,819.12
16	10,711.74	1,328	14,221,178.54	1,422,118	15,643,296.40
17	10,653.84	1,411	15,028,192.21	1,502,819	16,531,011.43
18	10,595.94	1,499	15,880,532.67	1,588,053	17,468,585.93
19	10,538.04	1,592	16,780,713.45	1,678,071	18,458,784.79
20	10,480.14	1,692	17,731,385.25	1,773,139	19,504,523.78
Total	220,604		220,598,368.02	22,059,837	242,658,204.82

El año de partida para la proyección comenzará en septiembre de 2019, razón por la cual se tomará la tarifa de este mes (534.81 kWh) como el valor promedio para el primer año de la proyección, de modo que el precio de los siguientes años aumentará en 6.25%, porcentaje que corresponde al promedio del incremento anual de la tarifa de ESSA en los últimos 5 años. De esta forma, se podrá cuantificar el aporte del SFV monetariamente.

Teniendo en cuenta que, dentro del valor total a cancelar por el servicio de energía se cobra un impuesto adicional, del 10% de la base gravable para el alumbrado público (columna 5), y que al implementar el sistema fotovoltaico es un costo que tampoco se tendrá que pagar, los ingresos durante los 20 años de vida útil del SFV, vistos como ahorros, fueron de \$ 242,658,204 millones de pesos colombianos.

4.3.2 Costos Operacionales. Se consideraron como costos operacionales:

- **Mantenimiento del SFV:** se realiza tres veces en el año; consta de limpieza del arreglo de paneles, chequeo de sistema de fijación, revisión de conectores DC/MC, cajas de empalmes y combiner-Box, chequeos de fusibles DC, e inspección de parámetros, ajuste de borneras y el chequeo del funcionamiento del equipo inversor. El cual tiene un costo anual de \$ 869,652. Véase anexo D.
- **Imprevistos 1:** contempla el valor que se debe reservar para la compra de un nuevo inversor dentro de 10 años, ya que este es el tiempo de vida útil promedio asumido para este equipo, y puesto que los paneles solares tienen el doble de duración, se hace necesario adquirir uno nuevo para aprovechar el tiempo del arreglo. Según las averiguaciones hechas, a la fecha un inversor con las mismas características tiene un precio de \$ 9,290,000, de modo que, para realizar el estudio se asumirá un recaudo anual de \$929,000, resaltando que, el costo del inversor sea incluso mucho menor para el momento de su reemplazo.
- **Imprevistos 2:** dado que este proyecto, al igual que cualquier otro, no está exento de eventualidades adversas que puedan afectar su correcto funcionamiento, se asumió un costo de \$200,000 anuales destinados a este tipo de sucesos. No obstante, este gasto se considera a modo de recomendación.

Tabla 13. Costos operacionales anuales del SFV en la institución.

COSTOS OPERACIONALES

Mantenimiento	\$ 869,652
Imprevistos 1 (Reemplazo inversor)	\$1,000,000
Imprevistos 2 (daños inesperados)	\$200,000
COSTO TOTAL	\$ 2,069,652

Nota: Dentro de las indagaciones efectuadas a proveedores de equipos para proyectos fotovoltaicos, sobre el costo actual de un inversor con las mismas características que el que se encuentra en la institución, algunos mencionan que su vida útil es imperecedera, es decir, que no será necesario su reemplazo, en cambio otros opinan que ronda los 10 años, de ahí la suposición tomada para el imprevisto, resaltando entonces que, de no realizarse el reemplazo del inversor, el dinero asignado a los imprevistos, puede considerarse dentro de los ingresos.

4.3.3 Margen de Utilidad. En el ámbito de la Contabilidad, la utilidad, entendida como beneficio o ganancia, es la diferencia entre los ingresos obtenidos por un negocio y todos los gastos incurridos en la generación de dichos ingresos.²⁶

$$\text{Utilidad} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

²⁶ "Utilidad". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/utilidad/>

Valiéndose de esta ecuación, puede obtenerse la utilidad anual del SFV y ulteriormente, su proyección a 20 años. Los ingresos para este proyecto no corresponden a flujos de efectivo que se puedan registrar en caja o en bancos, sino, al ahorro económico, representado en la disminución de los costos o gastos de energía al implementar sistema fotovoltaico, sin disminuir el consumo o demanda de energía, estos valores se listan en la última columna de la tabla 12; en cuanto a los gastos, el costo operacional total corresponde a \$ 2,069,652 para el primer año (Tabla 13) para los años siguientes tendrá un incremento de 4.69%, porcentaje que corresponde al promedio de la inflación de los últimos 5 años.

Vale la pena resaltar, que una vez llegado al décimo año, debe reemplazarse el inversor según lo predicho, valor determinado como imprevistos 1, por esto, no tendrá que considerarse de ahí en adelante la compra de un nuevo inversor, porque la vida útil del SFV es de 20 años, razón por lo cual, se tiene en cuenta solo el imprevisto 2, disminuyendo así, el valor de gastos tal y como se observa con los valores resaltados en color verde; dando como resultado, un aumento de la utilidad.

Tabla 14. Flujos de efectivo proyectados a 20 años.

FLUJOS DE EFECTIVO PROYECTADOS			
AÑO	INGRESOS	GASTOS	UTILIDADES
1	6,812,565	2,166,719	4,645,847
2	7,202,094	2,268,338	4,933,757
3	7,613,704	2,374,723	5,238,981
4	8,048,632	2,486,097	5,562,535
5	8,508,186	2,602,695	5,905,491
6	8,993,745	2,724,762	6,268,984
7	9,506,765	2,852,553	6,654,212
8	10,048,781	2,986,338	7,062,444
9	10,621,415	3,126,397	7,495,018
10	11,226,376	3,273,025	7,953,351
11	11,865,468	2,426,530	9,438,938
12	12,540,594	2,540,334	10,000,260
13	13,253,764	2,659,476	10,594,288
14	14,007,094	2,784,205	11,222,889
15	14,802,819	2,914,784	11,888,035
16	15,643,296	3,051,488	12,591,809
17	16,531,011	3,194,603	13,336,409
18	17,468,586	3,344,429	14,124,156
19	18,458,785	3,501,283	14,957,502
20	19,504,524	3,665,493	15,839,030
Total	242,658,205	56,944,273	185,713,932

Con la finalidad de evaluar el proyecto, se emplearon herramientas tales como el cálculo del Valor Presente Neto, para ello se tomó como tasa mínima de rendimiento (TMR) el 6.25%, que corresponde al promedio porcentual del incremento anual de los últimos cinco años de la tarifa del kWh por año de la empresa de energía ESSA, debido a que el propósito del SFV en la institución es disminuir el costo de la factura de energía, esta tasa sirve como medida de rentabilidad sobre el capital invertido para el proyecto.

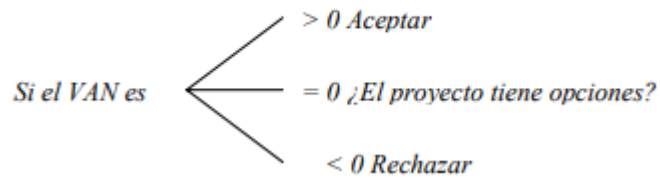
Tabla 15. Cálculo del valor presente neto.

CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO				
NÚMERO		ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR
AÑOS		EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE
1		4,645,847	0.941	4,371,742
2		4,933,757	0.886	4,371,308
TMR	3	5,238,981	0.834	4,369,310
6.25%	4	5,562,535	0.785	4,366,590
	5	5,905,491	0.739	4,364,158
	6	6,268,984	0.695	4,356,944
	7	6,654,212	0.654	4,351,855
	8	7,062,444	0.616	4,350,465
	9	7,495,018	0.580	4,347,110
	10	7,953,351	0.545	4,334,576
	11	9,438,938	0.513	4,842,175
	12	10,000,260	0.483	4,830,126
	13	10,594,288	0.455	4,820,401
	14	11,222,889	0.428	4,803,396
	15	11,888,035	0.403	4,790,878
	16	12,591,809	0.379	4,772,295
	17	13,336,409	0.357	4,761,098
	18	14,124,156	0.336	4,745,717
	19	14,957,502	0.316	4,726,570
	20	15,839,030	0.298	4,720,031
	Total	169,874,902		86,676,714

	FNE	INVERSIÓN	TOTAL
V.P.N =	86,676,714	82,014,118	4,662,596

Dando como resultado un valor presente neto de \$ 86,676,714 para los veinte años, que al restarle la inversión inicial da un valor positivo de \$ 4,662,596, lo que indica que el proyecto es viable económicamente, según la regla de decisión del valor presente neto, la cual es muy sencilla, establece que debemos aceptar el proyecto cuando el VPN es positivo y rechazarlo cuando es negativo.

Figura 38. Regla de decisión del VPN o VAN.



4.3.7 Periodo de recuperación de la inversión. El método del período de recuperación o payback, indica la cantidad de períodos que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de efectivo iguale a la inversión inicial.²⁷ Para este cálculo se hace uso de los flujos de efectivo sin llevarlos a su valor presente neto; cuando se consideran los flujos de efectivo a valor presente neto, el método recibe el nombre de periodo de recuperación descontado, o discounted payback, de esta forma se considera el valor tiempo del dinero.

Para facilitar la identificación del periodo de recuperación de la inversión, con los flujos de efectivo sin VPN y con VPN, se adicionaron dos columnas al cuadro 19 cálculo del valor presente neto, resaltando en color verde y azul los recuadros que indican el ultimo flujo de efectivo total computarizado para recuperar la inversión e inherentemente el año en el que ocurre.

Tabla 16. Forma para identificar el periodo de recuperación de la inversión PRI con y sin VPN.

²⁷ LÓPEZ. Op cit., p. 304

CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO				Forma para identificar año PRI		
NÚMERO	ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR	EEF sin VPN	EEF con VPN	
AÑOS	EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE	-82,014,118	-82,014,118	
TMR 6.25%	1	4,645,847	0.941	4,371,742	77,368,271	77,642,376
	2	4,933,757	0.886	4,371,308	72,434,515	73,271,068
	3	5,238,981	0.834	4,369,310	67,195,534	68,901,758
	4	5,562,535	0.785	4,366,590	61,632,999	64,535,168
	5	5,905,491	0.739	4,364,158	55,727,508	60,171,010
	6	6,268,984	0.695	4,356,944	49,458,524	55,814,066
	7	6,654,212	0.654	4,351,855	42,804,312	51,462,212
	8	7,062,444	0.616	4,350,465	35,741,869	47,111,747
	9	7,495,018	0.580	4,347,110	28,246,851	42,764,636
	10	7,953,351	0.545	4,334,576	20,293,500	38,430,060
	11	9,438,938	0.513	4,842,175	10,854,563	33,587,885
	12	10,000,260	0.483	4,830,126	854,303	28,757,760
	13	10,594,288	0.455	4,820,401	9,739,985	23,937,359
	14	11,222,889	0.428	4,803,396		19,133,962
	15	11,888,035	0.403	4,790,878		14,343,084
	16	12,591,809	0.379	4,772,295		9,570,789
	17	13,336,409	0.357	4,761,098		4,809,691
	18	14,124,156	0.336	4,745,717		63,974
	19	14,957,502	0.316	4,726,570		4,662,596
	20	15,839,030	0.298	4,720,031		
Total		169,874,902		86,676,714		

Tabla 17. PRI sin VPN.

PRI sin VPN		
AÑOS	MESES	DÍAS
12	0.97	29.03

Tabla 18. PRI con VPN.

PRI con VPN		
AÑOS	MESES	DÍAS
18	0.16	4.87

4.3.8 Tasa Interna de Retorno (TIR). Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se hizo uso de la función financiera de Excel TIR, con la que se obtuvo una tasa de

7.34%, que al ser mayor a la tasa mínima de rendimiento TMR, corrobora que es viable financieramente.

Tabla 19. Comprobación de la tasa interna de retorno.

Tasa Interna de Retorno				
NÚMERO DE	ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR	
AÑOS	EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE	T.I.R.
1	4,645,847	0.932	4,329,929	7.34%
2	4,933,757	0.868	4,282,501	
3	5,238,981	0.809	4,238,336	
4	5,562,535	0.753	4,188,589	
5	5,905,491	0.702	4,145,655	
6	6,268,984	0.654	4,099,915	
7	6,654,212	0.609	4,052,415	
8	7,062,444	0.567	4,004,405	
9	7,495,018	0.529	3,964,864	
10	7,953,351	0.492	3,913,048	
11	9,438,938	0.459	4,332,472	
12	10,000,260	0.427	4,270,111	
13	10,594,288	0.398	4,216,527	
14	11,222,889	0.371	4,163,692	
15	11,888,035	0.346	4,113,260	
16	12,591,809	0.322	4,054,562	
17	13,336,409	0.300	4,000,923	
18	14,124,156	0.279	3,940,640	
19	14,957,502	0.260	3,888,950	
20	15,839,030	0.243	3,848,884	
Total	169,874,902		82,049,679	
		Inversión	-82,014,118	
		V. P. N.	35,561	

4.3.9 Relación Beneficio-Costo. El índice de rentabilidad o relación beneficio-costado (B/C), también tiene en cuenta el valor tiempo del dinero. Se obtiene

efectuando el cociente entre el valor actual de los ingresos netos esperados, es decir, el VPN, y el desembolso inicial de la inversión.²⁸

$$B/C = \text{VPN Total} / \text{Inversión}$$

$$B/C = \$ 86,676,714 / \$ 82,014,118 = 1.06$$

Se encontró que el índice de rentabilidad es de 1.06, lo que significa que, por cada peso invertido, se obtendrá el retorno de ese peso, más 6 centavos de ganancia. Lo cual es positivo, puesto que el SFV no está operando a pérdidas, sin embargo, no es un aporte considerable, y esto se debe en gran medida al alto costo de inversión, un valor de mantenimiento alto, y la consideración de una tasa mínima de rendimiento superior al IPC del 6.25% propia del sector eléctrico departamental.

Por otra parte, sí se redujera el precio del mantenimiento en un tercio de su valor anual (\$289,884), es decir, que solo se realizara una ronda de limpieza, evaluación de parámetros eléctricos y refuerzo de tornillos una vez al año, el índice de rentabilidad mejoraría al 1.17.

Todos los métodos realizados para la evaluación de este proyecto arrojan un dictamen positivo, que pese a las particularidades en el costo de inversión y de mantenimiento de este SFV, se confirma que se tienen aportes monetarios, al representar el 40.6254% del consumo del edificio de preescolar, y el 5% de la institución, y de forma proporcional, el ahorro en el pago de la factura. Los resultados de los métodos o herramientas financieras se sintetizan a continuación:

Tabla 20. Resultados de la evaluación económica.

Resultados Evaluación Económica
--

²⁸ Ibid. p. 321

TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMR) [%]	6.25%
VALOR PRESENTE NETO (VPN) [\$]	4,662,596
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) [%]	7.34%
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS SIN VPN]	12.08
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS CON VPN]	18.01
BENEFICIO/COSTO	1.06

De no considerarse el imprevisto 2, debido a que se trató de una recomendación que debería incluirse en el proyecto, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 21. Resultados de la evaluación económica sin considerar imprevistos por daños inesperados

Resultados Evaluación Económica	
TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMR) [%]	6.25%
VALOR PRESENTE NETO (VPN) [\$]	7,951,415
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) [%]	7.73%
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS SIN VPN]	11.77
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS CON VPN]	17.37
BENEFICIO/COSTO	1.10

4.3.10 Análisis financiero incluyendo el ahorro por impuesto. Por otra parte, entendiendo la depreciación como “el mecanismo mediante el cual se reconoce contable y financieramente el desgaste y pérdida de valor que sufre un bien o un activo por el uso que se haga de él con el paso del tiempo”²⁹, es necesario aclarar, que, en evaluación de proyectos, la depreciación sólo se contempla para efectos tributarios, pero no representa una salida efectiva. Sin embargo, para nuestro caso, no se incluyó el valor de la depreciación, porque en los registros contables, estados financieros, no figura ningún ingreso proveniente del SFV, por ende, el valor de la depreciación en libros hace parte de los ingresos de la actividad propia de la

²⁹ MARÍN RUÍZ, Héctor. Depreciación y Amortización. Disponible en: <https://hector.marinruiz.com.mx/wp-content/uploads/YMCAMACA06061015.pdf>

institución. Esta es la razón por la cual no se incluye la depreciación en los ingresos del SFV.

El artículo 137 del estatuto tributario de Colombia regula la tasa anual máxima de depreciación, limitándola de acuerdo a la vida útil del activo.

$$\text{Depreciación lineal} = \text{Costo activo} / \text{Años de vida útil}$$

$$\text{Depreciación lineal SFV} = 82,014,118 / 20 = \$ 4,100,706$$

Para efectos fiscales la depreciación es una deducción permitida en impuestos, que reduce el valor de la base gravable, y por ende, disminuye el valor a cancelar sobre la renta; esto visto de otra manera, representa dinero que se deja de pagar en el impuesto, que llevado al caso en el que la institución tenga dentro de sus activos al sistema fotovoltaico, y lo deprecie de acuerdo a su vida útil, representa un ahorro atribuido al SFV, y por lo tanto, un ingreso, según lo que se ha establecido para el análisis financiero de este proyecto.³⁰

$$\begin{aligned} \text{Dinero ahorrado por depreciar el SFV en el impuesto de renta} &= \$ 4,100,706 * 33\% \\ &= \$ 1,353,233 \end{aligned}$$

Por tal motivo, se consideró pertinente aplicar las herramientas de evaluación de proyectos incluyendo el ahorro por el pago del impuesto dentro de los ingresos para este en particular, de este modo se adicionaron \$ 1,353,233 a las entradas de efectivo.

³⁰ Los ahorros vistos como ingresos, puesto que el SFV no genera entradas de dinero en caja o a través de bancos.

4.3.11 Valor presente neto (VPN) con el ahorro por el pago del impuesto.

Considerando el ahorro por el pago del impuesto como un ingreso, se tuvo como resultado un valor presente neto de \$ 103,012,516 para los veinte años, que al restarle la inversión inicial da un valor positivo de \$ 20,998,398, lo que indica que el proyecto es viable económicamente, según la regla de decisión del valor presente neto, tal como se vio en el caso de estudio anterior.

Tabla 22. Cálculo del valor presente neto con el ahorro por el pago del impuesto.

CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO				
NÚMERO	ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR	
AÑOS	EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE	
	1	6,096,146	0.941	5,736,474
	2	6,388,609	0.886	5,660,307
TMR	3	6,698,599	0.834	5,586,632
6.25%	4	7,027,142	0.785	5,516,307
	5	7,375,322	0.739	5,450,363
	6	7,744,283	0.695	5,382,277
	7	8,135,236	0.654	5,320,444
	8	8,549,461	0.616	5,266,468
	9	8,988,310	0.580	5,213,220
	10	9,453,212	0.545	5,152,000
	11	10,945,676	0.513	5,615,132
	12	11,514,197	0.483	5,561,357
	13	12,115,762	0.455	5,512,672
	14	12,752,253	0.428	5,457,964
	15	13,425,660	0.403	5,410,541
	16	14,138,082	0.379	5,358,333
	17	14,891,736	0.357	5,316,350
	18	15,688,962	0.336	5,271,491
	19	16,532,229	0.316	5,224,184
	20	17,424,146	0.298	5,192,396
	Total	198,460,877		103,012,516

	FNE	INVERSIÓN	TOTAL
V.P.N =	103,012,516	82,014,118	20,998,398

4.3.12 Periodo de recuperación de la inversión con el ahorro por el pago del impuesto. Aplicando el periodo de recuperación de la inversión payback y el periodo de recuperación descontado, o discounted payback, para esta nueva consideración se tiene:

Tabla 23. Forma para identificar el periodo de recuperación de la inversión PRI con y sin VPN contemplando el ahorro por el pago del impuesto.

CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO				Forma para identificar año PRI	
NÚMERO	ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR	EF sin VPN	EF con VPN
AÑOS	EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE	-82,014,118	-82,014,118
1	6,096,146	0.941	5,736,474	75,917,972	76,277,644
2	6,388,609	0.886	5,660,307	69,529,363	70,617,337
TMR 6.25%	3	6,698,599	0.834	62,830,764	65,030,705
	4	7,027,142	0.785	55,803,622	59,514,399
	5	7,375,322	0.739	48,428,300	54,064,036
	6	7,744,283	0.695	40,684,017	48,681,759
	7	8,135,236	0.654	32,548,781	43,361,315
	8	8,549,461	0.616	23,999,320	38,094,847
	9	8,988,310	0.580	15,011,009	32,881,627
	10	9,453,212	0.545	5,557,798	27,729,627
	11	10,945,676	0.513	5,387,878	22,114,495
	12	11,514,197	0.483		16,553,138
	13	12,115,762	0.455		11,040,466
	14	12,752,253	0.428		5,582,502
	15	13,425,660	0.403		171,961
	16	14,138,082	0.379		5,186,372
	17	14,891,736	0.357		
	18	15,688,962	0.336		
	19	16,532,229	0.316		
	20	17,424,146	0.298		
	Total	198,460,877			
			103,012,516		

Tabla 24. PRI sin VPN y con el ahorro por el pago del impuesto.

PRI sin VPN		
AÑOS	MESES	DÍAS
10	6.09	2.79

Tabla 25. PRI con VPN y con el ahorro por el pago del impuesto.

PRI con VPN		
AÑOS	MESES	DÍAS
15	0.39	11.55

4.3.13 Tasa Interna de Retorno (TIR) con el ahorro por el pago del impuesto.

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se hizo uso de la función financiera de Excel TIR, con la que se obtuvo una tasa de 9.25%, que al ser mayor a la tasa mínima de rendimiento TMR, corrobora que es viable financieramente.

Tabla 26. Comprobación de la tasa interna de retorno por no pago del impuesto.

Tasa Interna de Retorno			
NÚMERO DE	ENTRADAS	FACTOR DE	VALOR
AÑOS	EFFECTIVO	INTERÉS	PRESENTE
1	6,096,146	0.915	5,577,974
2	6,388,609	0.838	5,353,654
3	6,698,599	0.767	5,137,826
4	7,027,142	0.702	4,933,054
5	7,375,322	0.643	4,742,332
6	7,744,283	0.588	4,553,638
7	8,135,236	0.538	4,376,757
8	8,549,461	0.493	4,214,884
9	8,988,310	0.451	4,053,728
10	9,453,212	0.413	3,904,176
11	10,945,676	0.378	4,137,465
12	11,514,197	0.346	3,983,912
13	12,115,762	0.317	3,840,697
14	12,752,253	0.290	3,698,153
15	13,425,660	0.265	3,557,800
16	14,138,082	0.243	3,435,554
17	14,891,736	0.222	3,305,965
18	15,688,962	0.203	3,184,859
19	16,532,229	0.186	3,074,995
20	17,424,146	0.170	2,962,105
Total	198,460,877		82,029,529
Inversión			-82,014,118
V. P. N.			15,411

4.3.14 Relación Beneficio-Costo con el ahorro por el pago del impuesto.

Aplicando el mismo concepto y la misma fórmula expuesta para la relación beneficio-costo, considerando el ahorro producto de la depreciación en el impuesto se tiene:

$$B/C = 103,012,516 / 82,014,118 = 1.26$$

Se encontró que el índice de rentabilidad es de 1.26, lo que significa que, por cada peso invertido, se obtendrá el retorno de ese peso, más 26 centavos de ganancia. Lo cual es positivo, puesto que el SFV no está operando a pérdidas, y al contrario brinda un aporte económico mayor.

Contemplando el ahorro al momento de pagar el impuesto de renta, derivado de la depreciación hecha al sistema fotovoltaico, se observa un beneficio financiero mayor, lo cual se corrobora con los resultados obtenidos con las otras herramientas de evaluación de proyectos empleadas.

Tabla 27. Resultados de la evaluación económica con el ahorro por el pago del impuesto.

Resultados Evaluación Económica	
TASA MÍNIMA DE RENDIMIENTO (TMR) [%]	6.25%
VALOR PRESENTE NETO (VPN) [\$]	20,998,398
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) [%]	9.25%
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS SIN VPN]	10.51
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN [AÑOS CON VPN]	15.03
BENEFICIO/COSTO	1.26

4.4 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SFV

La eficiencia es una de las premisas de la actual transición energética, puesto que garantiza la optimización en el manejo y el uso de los recursos empleados en la generación de energía eléctrica, lo que repercute positivamente a nivel económico con la disminución de pérdidas durante el proceso de producción, y a nivel ambiental

con la adopción de buenos hábitos de consumo, que van ligados a una generación reducida en emisión de agentes contaminantes, como el CO₂.

De modo que la eficiencia energética resulta indispensable para la incorporación de energías renovables no convencionales, y la electrificación de la economía, objetivos de sostenibilidad ambiental y económica que promueven el desarrollo de un país.

Para poder evaluar la eficiencia energética del sistema fotovoltaico de la institución, se hace necesario conocer las características de los equipos que lo conforman, sus condiciones de operación y su comportamiento frente a los niveles de radiación solar que sobre este inciden, así como entrever el tiempo de vida útil que proporcionan, esto con el propósito de corroborar el rendimiento que el equipo pregona, valorar la cantidad de energía solar que convierte en energía eléctrica, y efectuar una proyección de generación acorde a su lapso de funcionamiento, respectivamente.

4.4.1 Identificación de condiciones desfavorables. Durante la inspección visual efectuada al sistema fotovoltaico y sus inmediaciones, se lograron identificar diferentes condiciones que pueden afectar el buen desempeño de la unidad generadora, las cuales se describen a modo de diagnóstico, con su respectivo pronóstico, y las recomendaciones pertinentes; esto para cada componente del sistema seguido de su correspondiente ficha técnica.

Paneles Solares Fotovoltaico:

Figura 39. Ficha técnica de los paneles solares del SFV.

FICHA TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO							
EQUIPO	Panel Solar Fotovoltaico			UBICACIÓN	Cubierta Edificio de Preescolar FC UIS		
FABRICANTE	Amerisolar			DIVISIÓN	Sistema Fotovoltaico		
MODELO	AS-6P			FECHA INSTALACIÓN	ene-17		
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	18 Kg	ALTURA	1956 mm	ANCHO	38 mm	LARGO	991 mm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Potencia Nominal		320 [W]					
Tolerancia de Potencia		3%					
Tensión Nominal-Vmpp		37					
Corriente Nominal-Impp		8,63					
Tensión a Circuito Abierto-Voc		45,7					
Corriente de Corto Circuito-Isc		9					
Eficiencia del Modulo (%)		16,49					
Marco		Aluminio Anodizado					
Cristal		Vidrio Solar de 3,2 mm					
Tipo de célula		72 Células Policristalinas					
Caja de Conexiones		IP 67, Cable Solar 4[mm2], 0,9m+1,2m					
Voltaje Máximo del Sistema		1000 [V]					
Máxima Corriente Inversa		25 [A]					
Capacidad Máxima del Fusible		25 [A]					

Diagnóstico: Se encontraron señales de contaminación, heces de aves en algunos de ellos, además de rastros de suciedad ocasionada por polvo proveniente de construcciones aledañas, junto con manchas del jabón utilizado en los mantenimientos. Por otra parte, se evidenció claramente la mala ubicación de un domo, el cual genera sombra a los paneles en caso de estar abierto, a esto se suma el difícil acceso a los paneles, ya que se encuentran en la terraza del edificio de preescolar, y para poder subir hay que hacer uso de una escalera sujeta a la pared sin barandales.

Pronóstico: Es muy probable que se presenten puntos calientes ya sea debido a la suciedad o por efectos del sombreado por parte del domo, ocasionando una disminución localizada de la eficiencia, y, por lo tanto, una menor potencia de salida, así como una aceleración de la degradación de los materiales de los materiales en el área afectada a causa de la elevada temperatura.

Control al diagnóstico: Es de vital importancia realizar un mantenimiento más frecuente de la instalación en donde se asegure la ausencia de suciedad; la limpieza de los paneles podría realizarla alguien del personal de servicios generales, empleando productos básicos como lo son agua, jabón lavavajillas, y un trapo suave, sin frotar fuertemente. Así mismo, se debe garantizar que el domo se encuentre en una posición donde no genere sombreado a los paneles, o en su defecto trasladar los paneles a una posición donde no se vea afectado por la apertura del domo.

Fotografía 12. Sombreado en los paneles a causa de un domo contiguo.



Fotografía 13. Malas condiciones de aseo sobre la superficie de los paneles (restos de jabón y heces de aves).



Inversor fotovoltaico:

Figura 40. Ficha técnica del inversor del SFV.

FICHA TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO							
EQUIPO		Inversor		UBICACIÓN		Cuarto Técnico Edificio de Preescolar FC UIS	
FABRICANTE		ABB		DIVISIÓN		Sistema Fotovoltaico	
MODELO		PVI-10.0/12.5-TL-OUTD		FECHA INSTALACIÓN		ene-17	
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	41 Kg	ALTURA	716 mm	ANCHO	645 mm	LARGO	224 mm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Voltaje de Entrada DC Máximo Absoluto		900 [V]					
Rango de Voltaje de entrada en DC en operación		850[V] - 200 [V]					
Voltaje de Entrada Nominal		580 [V]					
Potencia Activa de Entrada Nominal		10300 [W]					
Corriente Máximma de Corto Circuito		22 [A]					
Máxima Potencia Aparente de Salida		11500 [VA]					
Máxima Corriente en AC de Salida		16.6 [A]					
Rango de Voltaje en AC de Salida		320[V] - 480[V]					
Tensión Nominal de la Red		400 [V]					
Frecuencia de Salida Nominal		50 Hz / 60 Hz					
Máxima Potencia Activa de Salida		11000 [W]					
Potencia Activa de Entrada Nominal		10000 [W]					
Distorsión Armonica de Corriente		< 2 %					
Máxima Eficiencia		97.80%					

Diagnóstico: De acuerdo al estado del inversor se observó el correcto funcionamiento del mismo, sin embargo, acceder a la información de los parámetros eléctricos para su posterior extracción se dificulta debido a que no se cuenta con la tarjeta de comunicaciones con su software de operación actualizado.

Pronóstico: Cuando se requiera un estudio y evaluación de parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico de forma rudimentaria, no se podrá obtener, obligando al uso de otros dispositivos de medición.

Control al diagnóstico: Es necesario hacer efectiva la garantía de la tarjeta de comunicaciones con la empresa proveedora del equipo, o en su defecto, comprar una nueva.

Analizador de Red:

Figura 41. Ficha técnica del analizador de red en el tablero principal de baja tensión.

FICHA TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO							
EQUIPO	Analizador de Red			UBICACIÓN	Cuarto Técnico Celaduria FC UIS		
FABRICANTE	ABB			DIVISIÓN	Sistema Fotovoltaico		
MODELO	ANR96			FECHA INSTALACIÓN	ene-17		
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	0,43 Kg	ALTURA	96 mm	ANCHO	106 mm	LARGO	96 mm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Rango de 3 Entradas Aisladas (CT interno)		10 mA – 5 A rms					
Sobre corriente Máxima		10 A (100A para 1 segundo)					
Burden		0,2 VA					
Tensión de aislamiento		3700 Vac rms x 1 minuto					
Tensión de Entrada		3 Entradas, Rango 10-600 Vrms FF					
Sobretensión Máxima		750 Vac Permanente					
Protección Contra Agua y Polvo		IP 52					
Frecuencia de Muestreo		45 Hz= 2,280 o a 60 Hz= 3,88 kHz					
Variables Medidas		Tensión de Fase Rms					
		Corriente de Línea Rms					
		Frecuencia Hz					
		Temperatura (°C)					



The image shows the ABB ANR96 Network Analyzer. The screen displays the following readings: 215.7 V (voltage), 0.000 A (current), 0.000 W (power), 1.000 (power factor), and 60.00 Hz (frequency). The device has a red top bezel with 'ABB' and 'ANR96' printed on it. Below the screen are four arrow keys and an 'OK' button. The text 'NETWORK ANALYZER' is visible at the bottom of the device.

Pese a que el analizador de red no hace parte del sistema fotovoltaico, si se requería para analizar la incidencia del SFV, vista desde el tablero general de baja tensión, así como esbozar el perfil de carga de la institución. Debido a los inconvenientes que se describen a continuación, se hizo necesario conectar el analizador DRANETZ HDPQ visa, como se vio en el numeral 4.2.1.3.

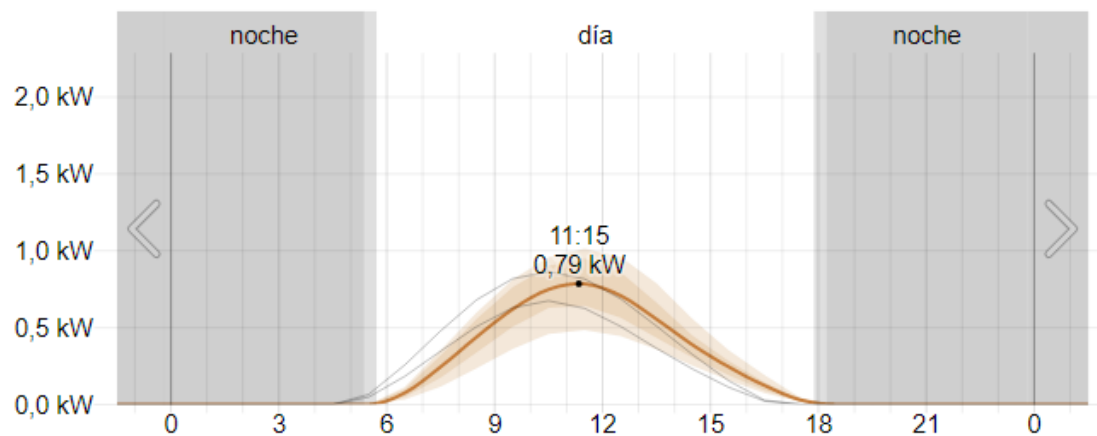
Diagnóstico: Se observó un claro desajuste en el analizador de red ANR96, el cual mostraba valores de corriente y potencia nulos en cada fase, a excepción de los valores de tensión y frecuencia.

Pronóstico: Siendo que no es un participante directo del sistema fotovoltaico, la anomalía del analizador de red no repercute en el funcionamiento del mismo, sin embargo, a la hora de visualizar los parámetros eléctricos en tiempo real se hace imposible reconocer como se encuentra la operación del sistema.

Control al diagnóstico: Se debe pasar el reporte del estado del equipo a la correspondiente empresa instaladora para su posterior ajuste.

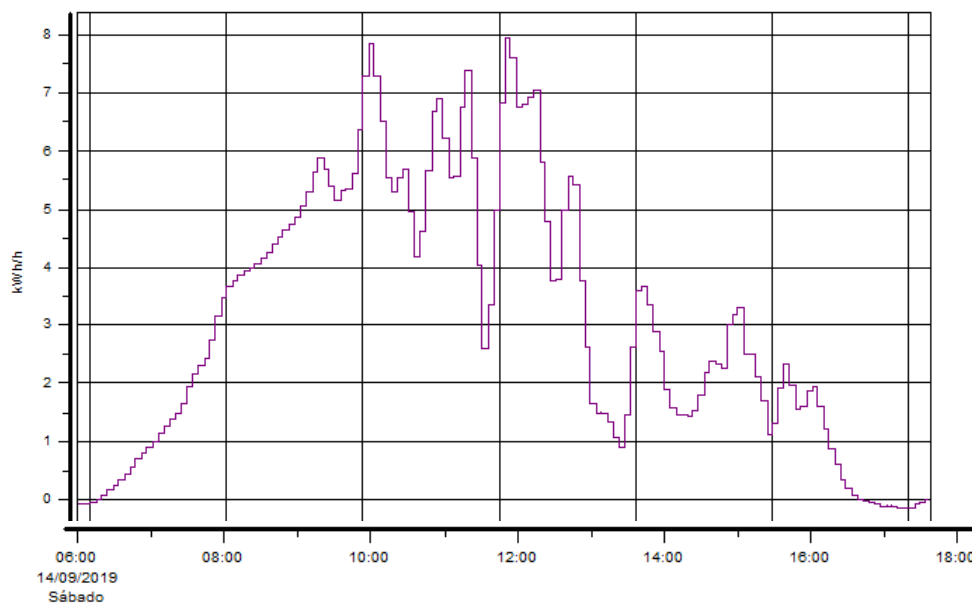
4.4.2 Evaluación de la potencia entregada de acuerdo al recurso solar. Conocer la eficiencia del sistema fotovoltaico es un indicativo importante a la hora de determinar si el arreglo cumple con las expectativas de generación o en cambio produce pérdidas económicas para la institución educativa, para este caso en particular, se calculó a partir de la irradiancia solar en un día específico y para una determinada hora con el fin de ubicar el punto máximo de potencia solar incidente, de igual forma, se identificó en el gráfico del perfil de generación el punto de máxima potencia suministrada por el sistema fotovoltaico.

Figura 42. Potencia solar Incidente para el día 14 de septiembre.



Fuente: DIEBEL, James. NORDA, Jacob. KRETCHMER, Orna. Weather Spark. [En línea]. Tiempo promedio en Floridablanca. (Recuperado en 19 septiembre 2019) Disponible en: <https://es.weatherspark.com/m/24393/1/Tiempo-promedio-en-junio-en-Floridablanca-Colombia#Sections-SolarEnergy>

Figura 43. Potencia generada por el SFV para el día 14 de septiembre.



Fuente: software Dran View 7.0

Se puede observar que la hora donde se presenta la mayor irradiancia solar durante el día es a las 11:15 am con una potencia de 0,79 kW por metro cuadrado y el mayor pico de potencia suministrada a la red del colegio es de 7,947 kW por todo el arreglo de paneles, por lo tanto, se calculó la eficiencia considerando todos los componentes del SFV en conjunto ya que los datos de potencia medidos por el analizador de red fueron tomados desde el contactor de interconexión del SFV con la red del colegio.

Para una potencia solar, incidente sobre la superficie de los paneles de:

$$PIT = PI \times AT = 0,79 \text{ kW/m}^2 \times 62,09 \text{ m}^2 = 49,0511 \text{ kW}$$

Dónde:

PIT: Potencia Irradiada Total [kW]

PI: Potencia Solar Irradiada [kW/m²]

PS: Potencia suministrada por el SFV [kW]

AT: Área Total del arreglo de paneles [m²]

Por lo tanto, la eficiencia vista para todo el SFV es de:

$$\eta = PS / PIT = (7,947 \text{ kW} / 49,0511 \text{ kW}) * 100 = \mathbf{16,2 \%}$$

Nota: Es pertinente aclarar que este resultado no es preciso, debido a que los valores de irradiancia solar se basan en estimaciones y cálculos estadísticos,

4.4.3 Evaluación de la energía entregada de acuerdo al recurso solar.

Analizando la eficiencia desde el punto de vista energético se tiene que durante la semana de estudio comprendida entre el 14 hasta 21 de septiembre se obtuvo una energía inyectada por el SFV de 215,55 kWh/semana (véase en la sección 4.2.2.4),

con una irradiación solar promedio semanal acumulada de 2129.687 kWh (véase en la sección 4.2.2.4), dando como resultado una eficiencia de:

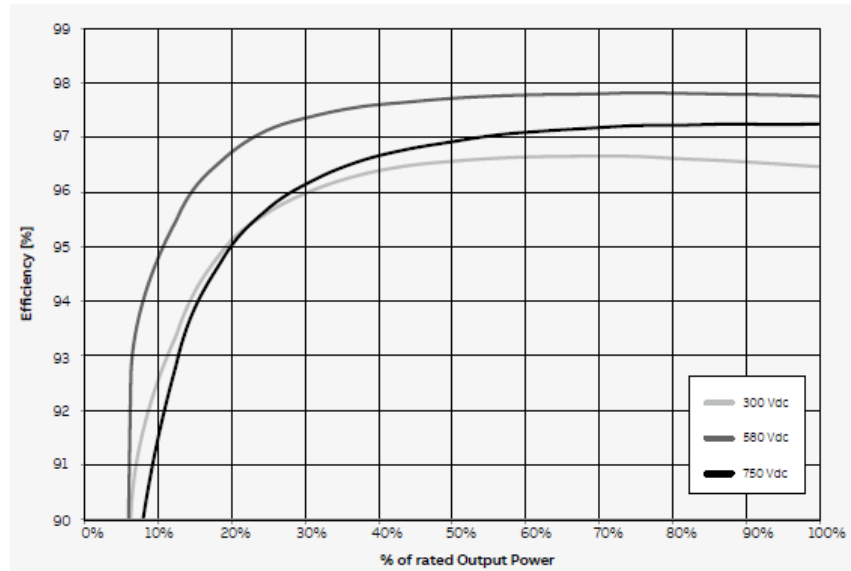
$$\eta = (215,55 \text{ kWh} / 2129.687 \text{ kWh}) * 100 = 10.12 \%$$

Obteniendo un valor más bajo respecto al cálculo de eficiencia por potencia, debido a que se contempla un escenario de operación más amplio; se hace necesario, al igual que en el cálculo anterior, aclarar que el porcentaje de eficiencia calculado es un valor aproximado, debido a los posibles sombreados y precipitaciones que se pudieron haber presentado durante la semana.

La eficiencia obtenida a partir de la evaluación de energía, es inferior en 2.4 % al valor esperado de eficiencia teórica, la cual se determinó a partir de la eficiencia propia de cada equipo encontrado aguas arriba del punto de medición.

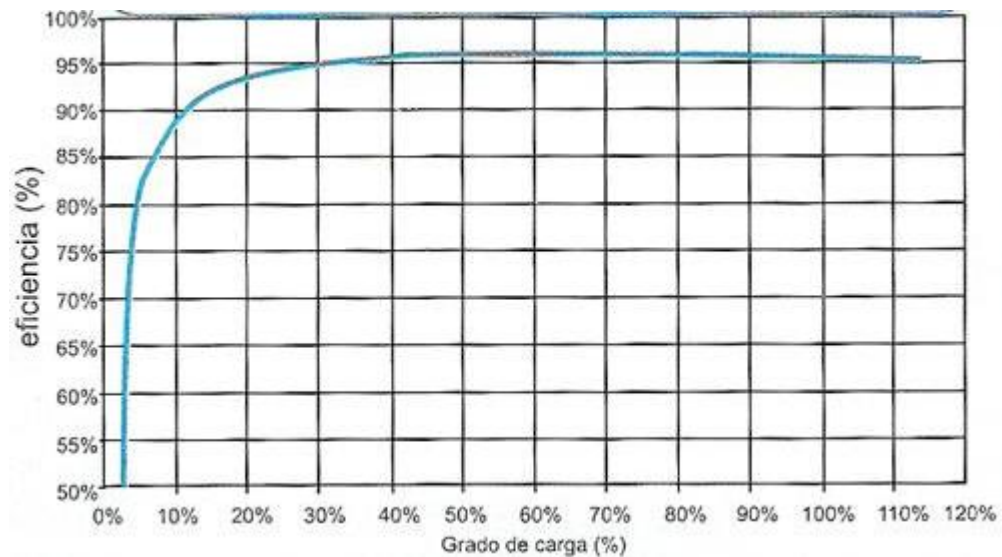
Dado que la eficiencia de cada equipo está condicionada al nivel de carga durante su operación, se clasificaron los datos de la gráfica de potencia promedio entregados por el sistema fotovoltaico el día sábado 14 de septiembre (véase Figura 43), en intervalos de potencia cada 2 kW, esto con el propósito de calcular un estimado de la eficiencia total del sistema para cada uno de sus escenarios de cargabilidad, de modo que, haciendo uso de la curva de eficiencia del inversor, así como la curva de eficiencia genérica de un transformador, se tiene la eficiencia por equipo, según la potencia entregada por el sistema fotovoltaico. En cuanto a los paneles solares, se consideró una disminución del 10% en la eficiencia estipulada en su ficha técnica de 16.49%, para contemplar las pérdidas por efectos térmicos durante su operación, obteniendo una eficiencia de 14.85% constante para los cuatro escenarios de cargabilidad estimados.

Figura 44. Curva de Eficiencia del Inversor.



Fuente: ABB. Ficha técnica del inversor PVI-10.0-TL-OUTD.

Figura 45. Curva Genérica de Eficiencia de un transformador.



Fuente: ARGÜELLES, Severino. Transformadores [En línea]. Seminario de tecnología. Disponible en: <https://docplayer.es/4417166-Transformadores-severino-arguelles-garcia.html>

Tabla 28. Eficiencia de los equipos del SFV por intervalos de potencia.

Intervalo de Potencia	η Inversor	η TRF	η Paneles
0-2 kW	93.79%	77%	14.85%
2-4 kW	97.24%	94.20%	14.85%
4-6 kW	97.62%	95%	14.85%
6-8 kW	97.72%	95%	14.85%

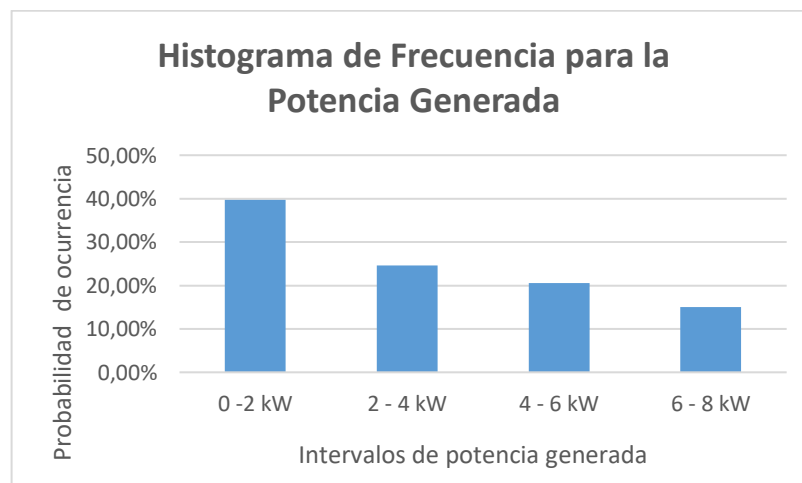
A partir de estos porcentajes de eficiencia, se calculó la eficiencia total del SFV por intervalos de potencia, obteniendo:

Tabla 29. Eficiencia total del SFV por intervalos de potencia.

Intervalo de Potencia	η Total
0-2 kW	10.72%
2-4 kW	13.60%
4-6 kW	13.77%
6-8 kW	13.79%

Posteriormente, se consideró la probabilidad de ocurrencia para las distintas magnitudes de potencia entregada a lo largo del día, permitiendo mostrar de esta forma, el porcentaje en que inciden estos valores de potencia durante la operación del SFV.

Figura 46. Histograma de frecuencia para la potencia generada por el SFV el sábado 14 de septiembre.



Ulteriormente, se procede a efectuar el promedio ponderado, con base en la probabilidad de ocurrencia porcentual:

$$\eta = \frac{(10.72\% \times 39.72\%) + (13.6\% \times 24.66\%) + (13.77\% \times 20.55\%) + (13.79\% \times 15.07\%)}{100}$$

$$\eta = 12,52\%$$

Obteniendo así, una **eficiencia teórica para todo el SFV de 12.52%.**

4.5 HUELLA DE CARBONO REDUCIDA POR EL SFV

Es de vital importancia resaltar el aporte a la conservación y protección de los recursos naturales por parte del Sistema fotovoltaico, debido a esto se procedió a calcular la reducción de la huella de carbono para cada mes acorde a la energía entregada por el SFV durante este tiempo, y así, realizar una proyección anual posteriormente, de acuerdo al tiempo de vida útil de esta fuente renovable de energía implementada.

Para llevar a cabo este análisis se partió de los datos proporcionados por el analizador de red, concernientes a la inyección de energía del SFV durante la semana del 14 al 20 de septiembre, y de los cálculos realizados de energía proyectada para todos los meses del año, contemplando el factor climático.

La ecuación para calcular la huella de carbono es:

$$\mathbf{HC} = \text{Energía Inyectada} \times \text{Factor de Emisión}$$

En donde el factor de emisión aplicado es de **0.199 Kg CO2 Eq/ kWh** ³¹, que corresponde con el factor de emisión asignado al sistema interconectado nacional y la energía inyectada a la red del colegio depende del mes.

Tabla 30. Kilogramos de CO2 evitados por kilowatt hora generado por el sistema fotovoltaico por mes.

Mes	Generación mensual SFV kWh	Huella de carbono “HC” mensual KgCO2
ene	973.64	193.755
feb	994.17	197.840
mar	950.18	189.086
abr	850.47	169.243
may	821.14	163.407
jun	891.53	177.414
jul	944.31	187.919
ago	938.45	186.751
sep	862.20	171.578
oct	774.22	154.070
nov	780.09	155.237
dic	879.80	175.079
Σ Total	10660.19	2121.379

³¹ GONZÁLEZ MELO, Sara. VALLEJO CUELLAR, Juan. Boletín Semillas Ambientales * Bogotá, Colombia * Vol. 11 No. 1 – 2017 * pp. 61 – 71* ISSN: 2463-0691 (En línea)

Debido a que se asumieron los meses de 28 días, como se mencionó en el numeral 4.2.3.16, se incluyeron los días faltantes mediante la siguiente regla de tres:



Energía Generada por el SFV Anual → Kilogramos de CO₂ evitados



336 días 10660.19 kWh → 2121.379 kgCO₂

365 días 11580.26 kWh → X kgCO₂

$$X=2304,47 \text{ KgCO}_2$$

De modo que, **en un año de operación del SFV se dejarán de producir 2304,47 KgCO₂.**

O haciendo uso de su equivalente en toneladas, 2.3 toneladas de CO₂, se tiene que durante su vida útil habrá una disminución de:

$$2,3 \text{ TCO}_2 \times 20 \text{ años} = 42.427 \text{ Toneladas de CO}_2$$

Lo cual representa un aporte significativo a la mitigación de gases de efecto invernadero por parte del SFV en la institución educativa. Comparando los datos obtenidos anteriormente con el nivel de fijación de CO₂ por arboles típicos de la zona como lo son el Pino se tiene:

Tabla 31. Especies de árboles que tienen la mayor fijación de kgCO₂.

Especie	Edad del Árbol en años	Altura en [m]	Tronco en [cm]	Copa en [cm]	Fijación de kgCO ₂ por año
Pino Carrasco	30 a 40	10	128	500	48,87
Pino Piñonero	30 a 40	11	132	750	27,18
Encina	30 a 40	5,5	64	510	5,04
Alcornoque	30 a 40	7	115	600	4,53

Olmo	15 a 20	8,5	76	580	762
Olivo	25 a 40	5	102	450	570

Fuente: ECOESCUELA CPR ADERAN I. [En línea]. "ÁRBOLES BOSQUES DE VIDA". Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostatic/21600957a/helvia/sitio/upload/LOS_BOSQUES_unidad_.pdf

Se tiene que la cantidad de plantaciones forestales para cada especie de árbol, equivalentes a los 2304,47 KgCO₂ evitados por abastecer con el SFV 11580.26 kWh durante un año, es de:

Pino Carrasco = $2304,47 \text{ kgCO}_2 / 48,87 \text{ kgCO}_2 = 47,15 \approx 47$ 

Pino Piñonero = $2304,47 \text{ kgCO}_2 / 27,18 \text{ kgCO}_2 = 84,8 \approx 85$ 

Encina = $2304,47 \text{ KgCO}_2 / 5,04 \text{ kgCO}_2 = 457.23 \approx 457$ 

Alcornoque = $2304,47 \text{ kgCO}_2 / 4,53 \text{ kgCO}_2 = 508,71 \approx 509$ 

Olmo = $2304,47 \text{ kgCO}_2 / 762 \text{ kgCO}_2 = 3,02 \approx 3$ 

Olivo = $2304,47 \text{ kgCO}_2 / 570 \text{ kgCO}_2 = 4,04 \approx 5$ 

4.6 SOCIALIZACIÓN EN LA INSTITUCIÓN

El auge de las energías renovables no convencionales radica principalmente en los beneficios que proporciona al medio ambiente, puesto que como se ha mencionado en reiteradas ocasiones a lo largo de este proyecto, su puesta en servicio disminuye la emisión de agentes contaminantes, hecho que es suficiente para respaldar su implementación, y aunque es notable la incorporación de estas nuevas fuentes de energía, la base del éxito en este tipo de proyectos radica en garantizar su sostenibilidad en el tiempo, y esto requiere de una gestión informativa, así como de

la constante participación y el apoyo de todos los usuarios de la energía eléctrica, especialmente las generaciones más jóvenes, pues en estas etapas tempranas es donde se desarrolla el pensamiento crítico y se adquiere la responsabilidad por cuidar el planeta.

Por esta razón, se socializaron los beneficios que proporciona el sistema fotovoltaico en la institución, tanto a nivel económico, como en la reducción de la huella de carbono, así mismo, se dio una breve explicación de su funcionamiento. Para ello, se elaboró un cartel que contuviera esta información (ver anexo E), como complemento visual a la exposición que se realizó en los cuatro salones del grado undécimo.

Fotografía 14. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-A.



Fotografía 15. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-B.



Fotografía 16. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-C.



Fotografía 17. Socialización de los beneficios del SFV a los estudiantes de 11-D.



5. CONCLUSIONES

- La energía proporcionada por el SFV abastece al edificio de preescolar en un 29.32% para los días entre semana, que es donde se presenta una mayor demanda, de modo que proporciona un ahorro del 29.32% respecto a la energía que se tiene que pagar a la electrificadora por parte de este edificio; visto de manera global, el SFV proporciona durante un año la energía equivalente al 5%, en promedio, del consumo anual de todo el colegio, lo cual implica un ahorro económico en la misma proporción.
- Se calculó la eficiencia del SFV desde dos escenarios reflejándose para el análisis por energía un valor de 10.12 % de eficiencia siendo un resultado cercano al esperado 12.52 %, con un 2.4% inferior al esperado, debido a que considera un escenario de operación completo, contemplando una mayor probabilidad de eventos de lluvias o sombreados sobre los paneles.
- Se calculó la reducción en la huella de carbono por parte del SFV evitando la emanación de aproximadamente 2.3 toneladas de CO₂ anuales lo que equivale a sembrar 85 árboles de la especie pino piñonero.
- A lo largo de toda la investigación se logró adquirir y procesar la información satisfactoriamente por parte del equipo DRANETZ y el software Dran View 7.0, evidenciándose claramente los distintos escenarios de operación tanto de generación por parte del SFV como de consumo energético del colegio en general.
- De las técnicas de evaluación financiera empleadas para el análisis de este sistema fotovoltaico en particular, se obtuvieron indicadores positivos que demuestran la viabilidad económica de su incorporación al recuperar la

inversión en un tiempo aproximado de 11 años en pesos corrientes, y 17 años aplicando el VPN a los flujos de efectivo, sin considerar el imprevisto por daños inesperados, esto gracias al ahorro obtenido en el pago de la factura de energía eléctrica, que corresponde a un promedio del 5% mensual de la demanda total del colegio. Con un índice de rentabilidad de 1.11 indica que su rendimiento es aceptable a nivel económico, puesto que, por cada peso invertido, se obtiene el retorno del mismo, más una ganancia de 11 centavos.

- Los indicadores financieros obtenidos se originan en un costo de inversión alto, esto como consecuencia de ser pionero en la adopción de fuentes de generación no convencionales en el departamento; pese a ello, la inversión no genera pérdidas, al contrario, favorece la disminución del gasto por el servicio de energía de la institución, y lo más importante, contribuye a la reducción de agentes contaminantes como el CO₂, las cuales son razones suficientes para expandir la capacidad de generación del SFV en la institución.
- Tras la evaluación de los beneficios del sistema fotovoltaico en la institución, se concluyó que la rentabilidad de su incorporación, y en general la viabilidad de cualquier proyecto de este tipo, debe medirse principalmente en términos de eficiencia, ya que solo a partir de la optimización en el manejo y el uso de los recursos empleados, se obtendrán repercusiones positivas de manera integral para las tres dimensiones del desarrollo sustentable: la economía, el medio ambiente y la sociedad. De modo que la instalación del sistema fotovoltaico en la institución es beneficioso en la medida en que:
 - Disminuye la huella de carbono del sector de generación de energía eléctrica, contribuyendo así, a la mejora de la calidad del medio ambiente.

- Sea de provecho para la formación de los estudiantes en el uso adecuado de los recursos naturales al estudiar los beneficios del SFV en su institución.
- Proporciona ingresos económicos provenientes del ahorro que implica no abastecerse de la energía eléctrica convencional en su totalidad, resaltando, que la inversión no genera pérdidas económicas.

Sin embargo, podría ser más rentable si:

- Se mejorarán las condiciones de aseo, y se evitara la interferencia de objetos aledaños (Domo) que impiden una generación eficiente, y se redujeran los gastos de mantenimiento en un tercio, o de forma equivalente, a un mantenimiento anual.

6. RECOMENDACIONES

- La institución educativa debería adoptar herramientas que permitan la introducción de temas de energías renovables, basándose en las diferentes ventajas apreciadas de primera mano, al ellas mismas contar con esta tecnología; por lo que se propone que se incluyan talleres dentro de la asignatura de física y química, o que se desarrollen ponencias para la feria de la ciencia de manera que se conozca el sistema fotovoltaico.
- De ampliarse la capacidad de generación del SFV, se aconseja que la ubicación de los nuevos módulos sea en un espacio asequible a la comunidad académica con el propósito de crear laboratorios en vivo, e incluso, destinar uno o dos módulos con su correspondiente micro inversor, netamente a fines educativos.
- Se debe tramitar ante la UPME la certificación que avala el sistema fotovoltaico como proyecto FNCE y/o GEE, así como obtener la certificación de incentivo ambiental para gozar de los incentivos tributarios que ofrece el gobierno, tanto para el sistema fotovoltaico existente, como para el nuevo, si se añaden más paneles.
- Se recomienda seguir las sugerencias hechas en el control al diagnóstico en la sección 4.4.1, haciendo hincapié en mantener limpia la superficie de los paneles del SFV, procurando que su limpieza sea realizada por lo menos una vez al mes, la cual podría hacer el personal de servicios generales con productos básicos y de manera suave, con el fin garantizar un mejor funcionamiento, y si adicionalmente se redujera el costo por el contrato de mantenimiento en un tercio del valor actual, es decir, que se realice la

ratificación de la energía entregada una vez al año, de esta manera, se podrá mejorar la rentabilidad del sistema.

- El uso racional y eficiente de la energía también debe contemplar la adaptación de energías renovables no convencionales en entornos educativos, puesto que aprovechar los recursos energéticos de manera sensata, ineludiblemente requiere de sostenibilidad a largo plazo, es decir, debe mitigar los efectos producidos por el cambio climático y reducir las emisiones contaminantes, por ende, se hace necesario involucrar a toda la comunidad educativa – y en general a todos los usuarios de la energía eléctrica - para que incorporen practicas amigables con el medio ambiente, entre estas, la posible tenencia de un sistema fotovoltaico, por ejemplo, y/o que su suministro energético o parte de este, sea mediante un sistema de energía renovable no convencional.

BIBLIOGRAFÍA

BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony; Ingeniería económica. Editorial McGraw Hill, Méjico, 6ta Edición, 2006.

CAPACITACIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LAS COMUNIDADES DE CARMEN DEL EMERO Y YOLOSAN. Bolivia: Wildlife Conservation Society (WCS). 2015. p. 8

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 1543 de 2017 (16, septiembre, 2017. Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGÉ, adicionando una Sección 5 al Capítulo 3 del Título III de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. no. 50.358 16 art. 1

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 3683 de 2003 (19, diciembre, 2003). Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2003 no. 45409 art. 1

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 570 de 2018 (23, marzo, 2018). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2018 no. 50.544 art. 2.2.3.8.7.3

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715 de 2014 (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no

convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2014 no. 49.150 art. 1

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001 (5, octubre, 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2001 no. 44.573 art. 1

GONZALES, Raúl, et al. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

LEYTON UCAÑÁN, Roger. Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C). [En línea]. (Recuperado en 21 de septiembre 2019). Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>

LÓPEZ DUMRAUF, Guillermo. Cálculo Financiero Aplicado, un enfoque profesional. Buenos Aires: Editorial La Ley, 2006. p. 308. (El valor actual neto) ISBN 987-03-0882-1

MINISTERIO DE AMBIENTE. Huella de Carbono. [En línea]. Bogotá D.C. 2019. (Recuperado en 12 septiembre 2019) Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/465->

MUNDO ELÉCTRICO EDITORIAL. La energía solar: Indiscutible líder de la generación en Colombia y en el mundo. En: MUNDO ELÉCTRICO. Vol. 33, No. 120 (jun – jul, 2019); p.4.

REN 21. Panorama mundial. [En línea]. Reporte global de energías renovables 2018. (Recuperado en 18 septiembre 2019) Disponible en: http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/#sub_4

SCHLLANBERG RODRÍGUEZ, Julieta C. et al. Energías renovables y eficiencia energética. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008. p.46 (Energías renovables) ISBN 978-84-69093-86-3

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Informe del Registro de Proyectos de Generación de Electricidad. Ministerio de Minas y Energía. 2019.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía. 2015. p. 96

UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. CAPACITACIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS

ANEXOS

Anexo A. Factura del sistema fotovoltaico.

Item	Descripción	Und.	Cant.	Valor Unitario	Valor Total
Energía renovable - Sistema fotovoltaico					
1	Arreglo de sistema fotovoltaico / paneles solares, Potencia del generador FV Total: 10.24 KWp, Tensión máxima del sistema: 1000V, Rendimiento mínimo anual 941.45 KWh/KWp. Tecnología del panel Policristalino, alta transmisión, bajo contenido en metales, vidrio templado, Módulo fotovoltaico policristalino potencia 320 Wp - "grade A" Tolerancia positiva de 0/+3%.	und	32	780.060	24.961.620
2	Equipo electrónico de potencia Inversor para red trifásica, Inverter trifásico on grid ABB - 10000/11000 Wac - 2 MPPT - RS 485 - IP65 (NEMA4x) - 400Vac output 3-phase 3 or 4 wires - 5 year warranty - transformador alta eficiencia 400-240/220/208 incluido.	und	1	13.946.640	13.946.640
3	Cableado de inter-conexión de paneles solares, cable tipo solar LSHG 90°C / Uso exterior; Conductos DC.	glo	1	4.680.000	4.680.000
4	Accesorios de interconexión DC / terminales hembra-macho MC4/MC4 paralelo/Combiner.	glo	1	1.489.200	1.489.200
5	Sistema metalmecánico fijación, estructura de soporte para arreglo de paneles, sistema autosuportado.	glo	1	8.260.000	8.260.000
6	Sistema de protección DC (Fusible y porta fusible, Supresor de picos TVSS, Cables tipo intermedia IP 67)	glo	1	2.880.000	2.880.000
7	Sistema de gestión, control y monitoreo Equipo Inversor alta frecuencia, Incluye instalación y configuración.	und	1	4.056.000	4.056.000
8	Montaje de sistema metalmecánico. Incluye puesta en sitio e instalación de acuerdo a especificaciones y consideraciones técnicas y de seguridad del diseño.	und	1	2.520.000	2.520.000
9	Montaje, mano de obra general de interconexión y montaje eléctrico.	und	1	7.200.000	7.200.000
O.T No 580 Ver detalles en la Cotización No. 198G-022016DI				Subtotal	70.013.780
				Administración	5.501.101
				Imprevistos	1.400.276
				Utilidad 6%	4.200.826
				Iva utilidad 19%	798.157
Resolución DIAN Sucremanga No. 187000086950 fecha: 2015/10/20 Numeración autorizada del 1201 al 1700				Subtotal	\$ 81.215.962
Favor practicar Recibo (o haberse el total) en el sitio donde se desempeñe o preste el servicio de instalaciones eléctricas				I.V.A. 6%	\$ 798.157
Valor en letras: Ochenta y dos millones catorce mil ciento diez y ocho pesos M/cte				Total	\$ 82.014.119

Anexo B. Factura de energía de la institución para el mes de agosto.

<

Anexo C. Factura de energía de la institución para el mes de septiembre.

Valor a pagar: \$15,724,684 Pago oportuno hasta: OCT/21/2019 Suspensión desde: OCT/22/2019		Consumo: 27480 Kwh/mes Consumo cobrado por Lectura Tomada <table border="1"> <tr> <th>Tipo</th> <th>Lectura Actual</th> <th>Lectura Anterior</th> <th>Consumo</th> </tr> <tr> <td>A5</td> <td>3669.0</td> <td>3440.0</td> <td>27480</td> </tr> <tr> <td>R1</td> <td>1839.0</td> <td>1732.0</td> <td>12840</td> </tr> </table>		Tipo	Lectura Actual	Lectura Anterior	Consumo	A5	3669.0	3440.0	27480	R1	1839.0	1732.0	12840																	
Tipo	Lectura Actual	Lectura Anterior	Consumo																													
A5	3669.0	3440.0	27480																													
R1	1839.0	1732.0	12840																													
Periodo facturado Desde: SEP/06/2019 Hasta: OCT/04/2019 Dias facturados: 29 Fecha ultimo pago: SEP/19/2019 Valor del ultimo pago: \$16,178,434		Evolucion de Consumo (Kwh/mes) 		Total servicio de aseo:																												
Factura de venta No. 160574245 Expedición: OCT/08/2019 Numero para pago electronico: 593868		Calidad del Servicio Cód Transformador Grupo Calidad Duración Valor Compensado		Estado de Financiaciones <table border="1"> <tr> <th>Concepto</th> <th>Deuda Inicial</th> <th>Cuota</th> <th>Saldo</th> </tr> </table>		Concepto	Deuda Inicial	Cuota	Saldo																							
Concepto	Deuda Inicial	Cuota	Saldo																													
Informacion de su Tarifa El valor de su factura de energía esta determinado por la formula tarifaria (Res. CREG 119/2007) Formula tarifaria: $CUV = G + T + D + Cv + PR + R$ <table border="1"> <tr> <td>Costo Unitario Variable (\$/Kwh)</td> <td>Generación (G): 194.24</td> <td>Costo Unitario Fijo (\$ / factura)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Transmisión (T): 32.58</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Distribución (D): 187.56</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Comercialización(Cv): 54.86</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Perdidas (PR): 36.94</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Restricciones(R): 28.64</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>CUv: 534.81</td> <td></td> </tr> </table> CUV Aplicado: 534.81 Costo Total por Kwh consumido en el periodo		Costo Unitario Variable (\$/Kwh)	Generación (G): 194.24	Costo Unitario Fijo (\$ / factura)		Transmisión (T): 32.58			Distribución (D): 187.56			Comercialización(Cv): 54.86			Perdidas (PR): 36.94			Restricciones(R): 28.64			CUv: 534.81		Liquidacion servicio de energia electrica <table border="1"> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor Mes</th> <th>Saldo</th> </tr> <tr> <td>Consumo Activa</td> <td>\$14,696,584</td> <td></td> </tr> </table>		Concepto	Valor Mes	Saldo	Consumo Activa	\$14,696,584			
Costo Unitario Variable (\$/Kwh)	Generación (G): 194.24	Costo Unitario Fijo (\$ / factura)																														
	Transmisión (T): 32.58																															
	Distribución (D): 187.56																															
	Comercialización(Cv): 54.86																															
	Perdidas (PR): 36.94																															
	Restricciones(R): 28.64																															
	CUv: 534.81																															
Concepto	Valor Mes	Saldo																														
Consumo Activa	\$14,696,584																															
Liquidacion de otros conceptos <table border="1"> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor Mes</th> <th>Saldo Facturado</th> </tr> </table>		Concepto	Valor Mes	Saldo Facturado	Total servicio de energia electrica: \$14,696,584		Total otros conceptos:																									
Concepto	Valor Mes	Saldo Facturado																														

La presente factura presta mérito ejecutivo de conformidad al Art 130 ley 142/94

Anexo D. Factura de mantenimiento anual.

Asunto: Energías Alternativas - Mantenimiento Sistema Fotovoltaico - Ronda#2							
Item	Ref.	Marca	Descripción	Und.	Cant.	Vir. Unitario	Vir. Parcial
1,00			Energías alternativas - sistema fotovoltaico				
1,01	Mnto.	Enertek	Mantenimiento preventivo y predictivo de sistema fotovoltaico 10KW; Consiste en el desarrollo de rutina de mantenimiento periódicamente (tres visitas por año), labores mínimas a ejecutar: Incluye: - Limpieza detallada de arreglo de paneles, eliminando polución y despejando superficie captación. - Chequeo de sistema de fijación. - Revisión de conectores DC / MC, cajas de empalmes y Combiner-Box. - Chequeo de fusibles DC. - Análisis de bancos de baterías por medio de equipo especializado. (Aplica según tipo sistema On/Off Grid). - Termografía en CombinerBox, Equipo Inverter, Conectores MC. - Toma de mediciones AC/DC en Equipos activos y ramales del sistema PV. - Equipo inversor, inspección parámetros, ajuste de borneras, chequeo de funcionamiento Log de Eventos. - Informe técnico On-Site con conclusiones y recomendaciones. SubTotal Item 1	und	1	730.800	\$ 730.800
Nota: - No incluye repuestos.							\$ 730.800
Cordialmente,						Subtotal	\$ 730.800
						IVA 19%	\$ 138.852
						Total	\$ 869.652

Anexo E. Cartel para la socialización de los beneficios del SFV.

