

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN
INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS DEL MUNICIPIO DE BELÉN BOYACÁ**

AYLETH JENNIFFER DAYANNA VARGAS BOLÍVAR



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2021

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN
INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS DEL MUNICIPIO DE BELÉN BOYACÁ**

AYLETH JENNIFFER DAYANNA VARGAS BOLÍVAR

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTOR
CÉSAR RENÉ BLANCO ZÚÑIGA
Ingeniero Civil. M. Sc. Ambiental**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DIRECTOR TRABAJO DE GRADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

TUNJA, 5 de noviembre, 2021.

“La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo. Se autoriza la reproducción parcial o total indicando su origen”

*A mi hermano,
por ser mi orgullo y mi motivación siempre.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Gloria y Tela, por su constante amor y esfuerzo reflejados en el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por confiar en mis habilidades y por brindarme las herramientas que me permitieron alcanzar esta meta.

A mi hermana Karoll, porque soportarme no es fácil y ella lo ha hecho con altura, por aceptarme como su compañera de vida con humildad y porque no tuvo otra opción, por su apoyo en cada aventura, cada preocupación y cada logro.

Al Ingeniero Cesar Blanco, por ser guía académico y amigo, por su paciencia y enseñanzas en el ámbito profesional y personal. Así mismo a cada uno de los docentes que aportaron su granito de conocimiento en mi formación.

A mis amigos, por su constante compañía, ayuda y confianza. En especial a Wendy por ser mi compañera diaria de estudios, trasnochadas, risas, tintos y polas.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá), por ser espacio de aprendizaje y acercamiento a personas que depositaron en mí, sus valiosos aportes.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. ANTECEDENTES.....	16
4. MARCO REFERENCIAL.....	17
4.1. MARCO TEÓRICO	17
4.2. MARCO LEGAL.....	20
4.3. ESTADO DEL ARTE.....	22
5. LOCALIZACIÓN.....	25
5.1. MACRO LOCALIZACIÓN	25
5.2. MICRO LOCALIZACIÓN.....	26
6. DIAGNÓSTICO.....	27
6.1. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL	27
6.2. PAREDES.....	28
6.3. PISOS.....	28
6.4. TECHOS.....	28
6.5. VENTANALES	28
6.6. CONSUMO ELÉCTRICO.....	29
7. ADECUACIÓN FÍSICA DE LAS INSTALACIONES	37
7.1. OBJETIVO.....	37
7.2. ESTRATEGIA.....	37

7.3. PROGRAMAS.....	37
8. PROGRAMAS DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN	47
8.1. OBJETIVO	47
8.2. ESTRATEGIA	47
8.3. PROGRAMAS.....	48
9. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS	53
9.1. ENERGÍA DE LA BIOMASA	55
9.2. ENERGÍA EÓLICA.....	56
9.3. ENERGÍA SOLAR.....	56
10. ALTERNATIVA SOLAR COMO FUENTE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.	58
10.1. OBJETIVO.....	58
10.2. ESTRATEGIA.....	58
10.3. RECURSO SOLAR DISPONIBLE	58
10.4. ANÁLISIS DE SOMBRAS Y ESPACIO DISPONIBLE	62
10.5. POTENCIA FOTOVOLTAICA.....	66
10.6. INSTALACIÓN.....	67
10.7. MANTENIMIENTO.....	80
11. RECURSOS.....	83
12. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordinadas instituciones educativas.	26
Tabla 2. Macro localización.	26
Tabla 3. Consumo de energía CAO.	30
Tabla 4. Consumo de energía Susana Guillemín.	32
Tabla 5. Costo anual por energía eléctrica contador 1.	34
Tabla 6. Costo anual por energía eléctrica contador 2.	34
Tabla 7. Costo anual por energía eléctrica total CAO.	35
Tabla 8. Costo anual por energía eléctrica Susana Guillemín.	36
Tabla 9. Generalidades Programa limpieza de ventanales y luminarias.	38
Tabla 10. Actividades Programa limpieza de ventanales y luminarias.	38
Tabla 11. Generalidades Programa adecuación de paredes.	39
Tabla 12. Actividades Programa adecuación de paredes.	40
Tabla 13. Generalidades Programa remodelación de piso.	41
Tabla 14. Actividades Programa remodelación de pisos.	41
Tabla 15. Generalidades Programa mantenimiento de redes eléctricas.	42
Tabla 16. Actividades Programa mantenimiento y remodelación de redes eléctricas.	43
Tabla 17. Generalidades Programa renovación de fuentes de luz artificial.	44
Tabla 18. Actividades Programa renovación de fuentes de luz artificial.	44
Tabla 19. Ahorro mensual representado en cambio de luminaria.	45
Tabla 20. Viabilidad primaria de energías alternativas de autogeneración.	53
Tabla 21. Coordinadas de referenciación meteorológica.	58
Tabla 22. Irradiación global a diversas inclinaciones.	60
Tabla 23. Irradiación global sobre superficie horizontal.	62
Tabla 24. Potencia a instalar.	67
Tabla 25. Ranking 2020 fabricantes de paneles solares.	71
Tabla 26. Carga mínima de rotura N/m ²	77

LISTA DE GRAFICAS.

	Pág.
Gráfica 1. Consumo de energía contador 1 y 2 CAO.V.....	30
Gráfica 2. Consumo de energía total CAO.V.....	31
Gráfica 3. Consumo de energía eléctrica Susana Guillemín.....	32
Gráfica 4. Costo de energía eléctrica contador 1 y 2 Carlos Alberto Olano Valderrama	34
Gráfica 5. Costo de energía eléctrica total CAO.V.	35
Gráfica 6. Costo de energía eléctrica Susana Guillemín.....	36
Gráfica 7. Irradiación solar mensual.	61
Gráfica 8. Temperatura media mensual.	61
Gráfica 9. Consumo mensual histórico.....	67

LISTA DE IMÁGENES.

	Pág.
Imagen 1. Localización Belén (Boyacá).	25
Imagen 2. Bases de datos P.VGIS.....	59
Imagen 3. Relieve panorámico centro urbano.....	63
Imagen 4. Perfil del horizonte y carta solar.	63
Imagen 5. Espacio disponible I.E.T. Carlos Alberto Olano Valderrama.	64
Imagen 6. Espacio disponible I.E.T. Susana Guillemín.....	65
Imagen 7. Sistema de generación fotovoltaico conectado a red.	69
Imagen 8. Estructura de una celda solar.....	70
Imagen 9. Constitución de un panel solar.	70
Imagen 10. Esquema de un conjunto fotovoltaico.....	71
Imagen 11. Inversor en instalación fotovoltaica conectada a red.....	73
Imagen 12. Cubiertas en teja de Eternit.	77
Imagen 13. Cubierta en teja termoacustica.....	79

LISTA DE ECUACIONES.

	Pág.
Ecuación 1. Cargo por consumo neto.	33
Ecuación 2. Indicador Limpieza de ventanales.	39
Ecuación 3. Indicador Limpieza de luminarias y bombillos.	39
Ecuación 4. Indicador Paredes con inadecuado coeficiente de reflexión.	41
Ecuación 5. Indicador Adecuación y retoque de pintura en paredes.....	41
Ecuación 6. Indicador Pisos con inadecuado coeficiente de reflexión.	42
Ecuación 7. Indicador Adecuación y remodelación de pisos.....	42
Ecuación 8. Indicador Falencias red eléctrica.	43
Ecuación 9. Indicador Remodelación, mantenimiento y/o reparación de falencias.	44
Ecuación 10. Indicador Fuentes de luz inadecuadas.	45
Ecuación 11. Implementación fuentes de luz.	45
Ecuación 12. Disminución del consumo por luminarias.	46
Ecuación 13. Potencia fotovoltaica requerida.....	66
Ecuación 14. Número de paneles fotovoltaicos.....	72
Ecuación 15. Presión máxima del viento.....	79

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.	91
Anexo B. Base de datos de consumo y facturación eléctrica.	91
Anexo C. Reemplazo luminarias incandescentes.	91
Anexo D. Informe radiación solar PVGIS.	91
Anexo E. Base de datos meteorológica.	91
Anexo F. Cotizaciones.	91
Anexo G. Fichas técnicas.....	91

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene un estudio del estado actual de las instalaciones y condiciones de operación en el ámbito del recurso energético de las instituciones de educación preescolar, básica y media públicas del municipio de Belén (Boyacá), así como la formulación de estrategias a corto mediano y largo plazo para la adecuación de la infraestructura física, creación de espacios de formación y análisis de las condiciones de implementación de una fuente de energía solar.

Las condiciones de infraestructura fueron descritas desde el punto de vista de variabilidad energética en aspectos de incidencia de luz natural, reflexión de la misma en interiores, así como los instrumentos de suministro de luz artificial para la formulación efectiva de programas de mejoramiento en ventanales, paredes, pisos, techos, red eléctrica y luminarias.

Las condiciones de implementación de energía solar aquí planteadas son de índole fotovoltaico, los factores objeto de análisis fueron: el recurso solar y espacio disponible, generación de sombras, potencia requerida y componentes del sistema estableciendo criterios de dimensionamiento y elección de tecnologías de acuerdo a las necesidades eléctricas de cada institución.

En complemento a las obras físicas desarrolladas en el presente plan se contemplan estrategias para la educación y formación en energías renovables donde el cuerpo estudiantil esté directamente involucrado con el cambio, la transformación, e innovación no solo de sus sedes educativas, también a nivel nacional y mundial como método de incentivos para generaciones involucradas en el desarrollo de habilidades de ciencia, tecnología e ingeniería.

Este documento pretende servir de guía y plan de acción para los esfuerzos encaminados hacia el cumplimiento asociado a la disminución de la emisión de gases contaminantes por acción de uso de combustibles fósiles en la fuente de generación planteados como metas en la agenda 2030 del IPCC.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar de manera técnica la implementación de energías alternativas y/o limpias como estrategia en la reducción de emisiones contaminantes y adaptación al cambio climático.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar las fuentes de energía y el consumo energético individual de las instituciones educativas públicas urbanas bajo jurisdicción del municipio de Belén (Boyacá).
- ✓ Establecer qué aspectos pueden influir en el consumo energético asociado al consumo eléctrico.
- ✓ Evaluar las necesidades energéticas a satisfacer en función del reemplazo de componentes y accesorios obsoletos desde el punto de vista de consumo energético.
- ✓ Reconocer tecnologías alternativas limpias y la viabilidad en su implementación.
- ✓ Plantear estrategias de educación, formación y concientización dirigidas a las comunidades educativas vinculadas.

2. JUSTIFICACIÓN

Para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones contaminantes mundiales, se han propuesto metas y retos en articulación con los gobiernos locales de acuerdo a las oportunidades de mejora específicas para cubrir la demanda energética, mediante implementación de estrategias y fuentes de energía que minimicen las emisiones de GEI, donde, de acuerdo a la UPME¹, en su informe anual para el 2019 (UPME, 2019), se destinaron 16.351GWh para el consumo final comercial y público, siendo el mercado energético dominado por la generación en centrales hidroeléctricas seguido por las centrales térmicas, causantes del grueso de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera.

Los *gases de efecto invernadero* (GEI) producto de la combustión de fuentes fósiles, controlan el flujo de energía natural en el sistema climático global, esto, para mantener el balance energético de la troposfera (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007), manifestándose principalmente como aumento en la temperatura global y afectaciones sobre recursos costeros, agricultura, recursos hídricos, ecosistemas y la generación y consumo de energía (Forero Cantor et al., 2017).

De acuerdo con el IPCC en su informe especial “*Calentamiento global de 1,5°C*” (IPCC, 2019) se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global entre 0,8°C a 1,2°C a 2019 con respecto a niveles preindustriales lo que ha provocado una serie de impactos directos y secundarios a los sistemas naturales, siendo esta, una tendencia a largo plazo donde, el principal agente responsable son las emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases en menores concentraciones, donde, los riesgos dependen del ritmo del calentamiento, ubicación geográfica, vulnerabilidad y las opciones de adaptación y mitigación que se implementen.

El aire es factor directo de afectación por la emisión de GEI y el cambio climático, ya que es el medio donde se presentan las modificaciones de troposfera y afecciones a la salud por contaminación atmosférica en el caso del monóxido de carbono (CO) que reduce la capacidad sanguínea para transportar oxígeno disponible al ser absorbido por los pulmones, además de afectar la percepción y el pensamiento desacelera los reflejos y puede causar mareos; el dióxido de nitrógeno (NO₂) se vincula a el aumento en la susceptibilidad de infecciones respiratorias y disminución en la función pulmonar, así como sensibilidad al polen y al polvo en zonas urbanas; el Ozono contenido principalmente en el *smog* puede provocar daños graves en los tejidos pulmonares, reducción de las defensas contra virus y bacterias, dolor de garganta e irritación ocular; el dióxido de azufre (SO₂) presenta efectos adversos como tos, flema, malestar del pecho y bronquitis además de aumentar el riesgo de morbilidad y mortalidad; finalmente el dióxido de carbono (CO₂) como agente particulado se vincula a la disminución de la

¹ Unidad de planeación minero – energética.

función pulmonar y escenarios de morbilidad y mortalidad en la infancia (*Contaminantes Del Aire y Sus Efectos*, n.d.; Grupo Consultivo de Expertos (GCE), 2015).

La atmosfera igualmente es escenario para la manifestación de eventos meteorológicos cada vez más intensos a consecuencia del cambio climático como: alteración en la precipitación y evaporación sobre los océanos, aumento en la intensidad y cantidad de ciclones tropicales principalmente en la cuenca atlántica, cambio en los patrones de viento en las últimas décadas, sequias más intensas y duraderas y aumento en la frecuencia de precipitaciones sobre la mayoría de áreas continentales (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007), donde, de acuerdo al “*Informe sobre las migraciones en el mundo 2020*” (*Informe Sobre Las Migraciones En El Mundo 2020*, 2020) En 2018, el 61% (17,2 millones) de nuevos desplazamientos fueron causados por desastres relacionados con condiciones meteorológicas principalmente por tormentas (9,3 millones), inundaciones (5,4 millones) y sequias (0,7 millones).

En relación a los eventos meteorológicos, el agua ha sido uno de los medios afectados por la variabilidad climática específicamente la temperatura superficial del mar que, por acción del calentamiento troposférico ha conducido a el ascenso constante en el nivel del mar, en donde, se ha demostrado el incremento de la temperatura media del océano en profundidades de al menos 3000 metros, como resultado de la absorción del 80% del calor agregado al sistema climático manifestándose en expansión térmica del océano y fusión de masas glaciares o polares, que, además de generar inundaciones provocan deterioro del hábitat en zonas costeras (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007). Las sequias producto de los cambios en los regímenes de precipitación y evaporación han generado preocupación asociada a la disponibilidad de agua y la calidad de esta ya que se ha evidenciado intrusiones salinas por generada cuando los ríos disminuyen su caudal (Forero Cantor et al., 2017).

Factores biológicos de preocupación que se ven alterados por la variación de la temperatura, precipitaciones y emisiones de dióxido de Carbono (CO₂) son: decoloración de los arrecifes de coral durante fenómenos asociados al niño, afectación de especies animales en la selva amazónica por el crecimiento anormal de la flora, susceptibilidad al aumento de plagas y efectos adverso sobre el crecimiento, estructura y ciclo de vida de los cultivos, de manera que existe una modificación en la cantidad y calidad de productos agrícolas, afectando así mismo, el factor socioeconómico incluyendo la escasez de alimentos, pérdida de cosechas y reducción de ingresos (Forero Cantor et al., 2017).

3. ANTECEDENTES

A partir de la suscripción del Acuerdo de París sobre cambio Climático, por parte de 160 países, Colombia se comprometió a adoptar al menos diez medidas concretas de adaptación al cambio climático a fin de reducir en 20% las emisiones contaminantes y de esta forma lograr mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C y hacer todos los esfuerzos para no sobrepasar 1.5 °C de aquí al año 2100 (Beltrán, 2019).

Para cumplir tal objetivo, el Gobierno Nacional organizó y puso en funcionamiento el Sistema Nacional de Cambio Climático, el cual permite actuar de forma articulada y eficaz en el ámbito nacional y regional, con el propósito de impulsar la Política Nacional de Cambio Climático Ley 1931 de 2018 y contribuir así con la reducción de gases de efecto invernadero y de la deforestación, adoptando medidas que a través del documento de Contribuciones Previstas y Nacionalmente Determinadas – INDC priorizando las siguientes acciones específicas a 2030 (Presidencia de la Republica de Colombia, 2015):

- a) 100% del territorio nacional cubierto con planes de cambio climático formulados y en implementación.
- b) Fortalecimiento de la Estrategia de sensibilización, formación y educación a públicos sobre cambio climático, enfocada en los diferentes actores de la sociedad colombiana.
- c) Inclusión de consideraciones de cambio climático en Proyectos de Interés Nacional y Estratégicos –PINES-.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático para la región central elaborados por la RAPE², en lo que respecta a ecosistemas estratégicos, páramos y coberturas del departamento de Boyacá, los niveles estarán sometidos a estrés térmico y la biodiversidad asociada podrá verse afectada por desplazamientos altitudinales. Además, podría presentar una mayor afectación en el sector agropecuario por los aumentos en la temperatura media anual proyectados (*Declaratoria de Crisis Climática: Tiempo de Pactar La Paz Con La Naturaleza*, 2021).

La declaración de crisis climática, supone iniciar un proceso de educación, formación y concienciación a toda la población, sobre la verdad de la situación ecológica y el enorme cambio necesario para frenar la destrucción del medio ambiente; ante esta emergencia, los firmantes se comprometen a iniciar este proceso de transformación social y asegurar la plena consecución de los siguientes objetivos planteados en la COP 21.

² Región administrativa y de planeación especial.

4. MARCO REFERENCIAL

El desarrollo de las políticas enmarcadas en el plan de desarrollo y de los compromisos adquiridos por la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) requieren entrar en un marco de entendimiento tanto de la comunidad Belemita como de aquellos interesados, por lo anterior desde el punto de vista ambiental – energético se estructura el siguiente marco referencial para que sirva de instrumento de orientación tanto teórico – conceptual, como en el ámbito legal y casos de estudio.

4.1. MARCO TEÓRICO

En la modernidad la disponibilidad energética está fuertemente relacionada con los niveles de bienestar, salud y aumento en la expectativa de vida, lo que ha producido un aumento en la demanda de energía no solo para cubrir las necesidades básicas humanas adicional a los procesos productivos, por lo anterior y en conexión del actual documento da paso al desarrollo de conceptos y teorías para su entendimiento.

4.1.1. Aspectos ambientales

El clima se define como el estado promedio del tiempo y como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años (Robin Matthews, n.d.). De acuerdo con la CMNUCC³ se entiende por cambio climático un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables y sus efectos adversos como los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes de la manifestación del fenómeno, que tienen efectos perjudiciales en el sistema, la resiliencia o la productividad de los ecosistemas naturales o en funcionamiento de sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar de los humanos (Unidas, 1992). Los impactos observados más significativos de este fenómeno en los sistemas físicos naturales corresponden a cambios en la precipitación y sistemas hidrológicos, deshielo, pérdida de glaciares y afectaciones en la escorrentía, en cuanto a sistemas biológicos, muchas especies han cambiado su rango geográfico, actividades estacionales, patrones migratorios, abundancias e interacciones con otras especies (*Política Nacional de Cambio Climático*, 2017). El cambio climático en la actualidad se manifiesta principalmente por el fenómeno de calentamiento global definido por el IPCC⁴ como el

³ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante un periodo de 30 años (Robin Matthews, n.d.).

El principal factor contribuyente en la manifestación del calentamiento global son los gases de efecto invernadero o GEI por sus siglas, los cuales son aquellos gases presentes en el ambiente terrestre con potencialidad de absorción de la radiación infrarroja del sol reteniendo y aumentando la temperatura en la atmósfera. Que, aunque existe una producción natural de los mismos, los niveles insostenibles de estos gases se venen a actividades propias de las civilizaciones humanas industrializadas principalmente la quema de combustibles fósiles (WWF, 2018) que son aquellos combustibles basados en carbono procedentes de depósitos de hidrocarburos fósiles, incluidos el carbón, el petróleo y el gas natural (Robin Matthews, n.d.) que para el consumo en el sector servicios de educación se suministra principalmente como energía eléctrica.

En el ámbito gubernamental la problemática está encaminada a la creación y fortalecimiento de mecanismos y medidas voluntarias destinadas a dirigir los sistemas sociales hacia la prevención o mitigación de los riesgos del cambio climático, o la adaptación a ellos mediante estrategias de eficiencia energética destinadas a reducir la demanda de energía (Robin Matthews, n.d.) con medidas activas como sistemas mecánicos o eléctricos para garantizar condiciones de confort o pasivas que consideren el clima, paisaje, localización, orientación, selección de materiales, diseño interior y aprovechamiento de iluminación y ventilación naturales (Ministry of Mines and Energy, 2016) desarrollando las bases teóricas de las tres vías de reducción del consumo eléctrico en las instituciones objetivo.

4.1.2. Infraestructura

La contribución de la infraestructura sostenible a la resiliencia climática se fundamenta en los principios de: integrar estrategias climáticas y de desastres naturales, preservar el medio ambiente natural reducir la contaminación y optimizar el uso de los recursos resaltando el reto establecido en el acuerdo de París de alinear la infraestructura existente con el objetivo de reducir drásticamente las emisiones de GEI (BID et al., 2019).

Complementar la luz natural con el alumbrado artificial puede ser perfectamente armonizado mediante sistemas de control de alumbrado artificial que suponen una reducción del consumo de la energía eléctrica y por tanto ahorro sustancial de energía (CEI et al., 2005).

4.1.3. Generación energética

Para comprender la naturaleza de los procesos de generación energética abordados en el presente documento es necesario contemplar los siguientes conceptos.

Energía. Es una magnitud física asociada a la capacidad de producción de trabajo mecánico de los cuerpos, su forma de obtención se fundamenta en el potencial de

suministro del elemento y la capacidad de transformación de la misma, a estos elementos o cuerpos se les llama fuentes de energía (Escalante Pérez, 2015). Estas fuentes de energía se dividen en dos grupos, las fuentes de energía renovables y no renovables.

Energías alternativas. Comprenden todas aquellas energías de origen no fósil y que no han participado significativamente en el mercado mundial de la energía. En consecuencia, la energía hidráulica, la solar, la eólica, la obtenible de biomasa, la geotérmica, la oceánica y la nuclear se consideran energías alternativas (Posso Rivera, 2004).

Fuentes renovables. Son aquellas que no se agotan por su uso como el viento y el sol. También se incluyen aquellas bajo la condición de la fuente que se maneje como el agua en cuencas hidrológicas y la biomasa en plantaciones de árboles (Baquero Muñoz & González Varón, 2017).

Energía solar. Es un tipo de energía renovable que se obtiene luego de la captación de radiaciones electromagnéticas provenientes del sol. Esta puede provocar reacciones químicas o generar electricidad (Osinermin, 2019).

Energía eólica. Se obtiene del viento y se produce a partir de la diferencia de temperaturas entre distintas zonas geográficas. La energía eólica utiliza la energía cinética generada por el viento, transformándola en mecánica o eléctrica. La energía eólica es aprovechada mediante máquinas compuestas por aspas oblicuas unidas por un eje giratorio, llamadas aerogeneradores o turbinas eólicas, que se encargan de transformar la energía del viento (Osinermin, 2019).

Energía de la biomasa. Se obtiene a partir de compuestos orgánicos, producto de procesos naturales. La biomasa se forma a partir de la luz solar mediante un proceso denominado fotosíntesis vegetal, donde las plantas que contienen clorofila transforman sustancias sin valor energético en compuestos orgánicos de alta energía (Osinermin, 2019).

Energía mini hidráulica. Es un tipo de energía renovable relacionada de manera indirecta a la energía solar, ya que el sol es el precursor del ciclo hidrológico al evaporar el agua de los océanos y lagos, y calentar el aire para transportar el agua de un punto a otro. Las centrales que aprovechan los cauces y caídas de agua para generar electricidad se denominan centrales hidroeléctricas (Osinermin, 2019).

Energía marítima. Es un tipo de energía renovable que aprovecha la energía de los océanos. Dado que este recurso constituye el 70% de la composición del planeta, posee una enorme cantidad de energía. Las energías marítimas más importantes se clasifican en energía mareomotriz (mareas), undimotriz (olas) y maremotérmica (gradiente térmico oceánico) (Osinermin, 2019).

Energía Geotérmica. La energía geotérmica aprovecha el calor almacenado en el interior de la superficie sólida de la Tierra, incluyendo el calor de las rocas, suelos y aguas, a diferentes temperaturas y profundidades. A medida que aumenta la profundidad dentro de la corteza terrestre, ocurre un incremento de la temperatura debido al calor de la Tierra. A dicha subida se le conoce como gradiente geotérmico (Osinermin, 2019).

Energía Nuclear. es la que emplea para la generación de energía eléctrica elementos químicos pesados, como el uranio o el plutonio, los cuales, mediante una reacción nuclear, proporcionan calor. Este calor se emplea para producir vapor y, a partir de este punto, el resto de los procesos en la central son análogos a los de una central térmica convencional (Schallenberg et al., n.d.).

4.1.4. Formación y educación

Los esfuerzos en la consecución de las metas y objetivos propuestos en torno a la disminución de las emisiones enmarcados en términos de sostenibilidad, abordan una visión futurista en referencia a las nuevas generaciones; por ello el contexto educativo toma relevancia al caracterizarse como un proceso que permite que los seres humanos y las sociedades desarrollen plenamente su capacidad latente, de importancia crítica, para el desarrollo sostenible con hincapié en ámbitos energéticos por el incremento de problemas ambientales como la deforestación, la pérdida de la diversidad, erosión y agotamiento de suelos; y la contaminación debido, entre otras cosas, al uso irracional de los combustibles fósiles (Torres Gallego et al., 2016). El fortalecimiento de capacidades son la base para generar procesos de autogestión, visibilizar las problemáticas asociadas al cambio climático por parte de la sociedad, promover acciones oportunas y adecuadas mediante la formación de recursos humanos suficientes y de alta calidad que conjuntamente mejore la capacidad institucional para la gestión del cambio climático (*Política Nacional de Cambio Climático, 2017*).

4.2. MARCO LEGAL

Ley 2099 del 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.

Artículo 12. Adicionase un numeral al artículo 19 de la Ley 1715 de 2014, con el siguiente texto:

8. El Gobierno Nacional fomentará la autogeneración fotovoltaica en edificaciones Oficiales, especialmente, dedicadas a la prestación de servicios educativos y de salud.

Resolución 703 de 2018. Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de

Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones".

Resolución 030 de 2018. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.

Ley 1931 de 2018. La presente Ley tiene por objeto establecer las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las personas públicas y privadas, la concurrencia de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales principalmente en las acciones de adaptación al cambio climático, así como en mitigación de gases efecto invernadero, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del país frente a los efectos del mismo y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono.

Resolución 281 del 2015. Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala.

Ley 1715 de 2014. La presente Ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas, en la prestación de servicios públicos domiciliarios, en la prestación del servicio de alumbrado público 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 de abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía y sistemas de medición inteligente, que comprenden tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

Decreto 2469 de 2014. Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.

Resolución 180540 de 2010. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones.

Acuerdo No. 015 de 2007. Por el cual se da una autorización al alcalde municipal y se establecen las tarifas para el cobro del impuesto al alumbrado público en el municipio de Belén (Boyacá)

Ley 115 de 1994. La presente Ley señala las normas generales para regular el Servicio Público de la Educación que cumple una función social acorde con las necesidades e intereses de las personas, de la familia y de la sociedad. Se fundamenta en los principios

de la Constitución Política sobre el derecho a la educación que tiene toda persona, en las libertades de enseñanza, aprendizaje, investigación y cátedra y en su carácter de servicio público.

Ley 143 de 1994. Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

RETIE. *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.* Se establecen las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.

NTC - 2050. *Código Eléctrico Colombiano.* Este código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de las mismas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad.

NTC – 4595. *Ingeniería civil y arquitectura. Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares.* Esta norma establece los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares, orientado a mejorar la calidad del servicio educativo en armonía con las condiciones locales, regionales y nacionales. Adicionalmente, puede ser utilizada para la evaluación y adaptación de las instalaciones escolares existentes.

NTC – 4596. *Señalización. Señalización para instalaciones y ambientes escolares.* Esta norma establece los requisitos para diseñar y desarrollar un sistema integral de señalización en las instituciones educativas que contribuya a la seguridad y fácil orientación de los usuarios dentro de estas.

4.3. ESTADO DEL ARTE

La emergencia climática en España abordada desde el documento “*Escenario, políticas y directrices para la transición energética*” (FER - Fundación Energías Renovables, 2019) establece la necesidad de una gran transformación del sistema socioeconómico en conjunto, encaminada a una disminución sustancial pero ordenada de la demanda de energía basando sus estrategias en los principios: a) la energía como bien básico, universal y limitado, b) la insostenibilidad del modelo de consumo basado en combustibles fósiles, c) el autoconsumo puede garantizar el suministro a todos los ciudadanos y d) el impacto socioeconómico positivo en la implementación de energías renovables, las cuales tienen como finalidad asegurar la neutralidad de las emisiones de

GEI en España para 2050, la coordinación de políticas sectoriales y la puesta en marcha de instrumentos de gobernanza que promuevan la participación ciudadana, el entendimiento científico y la coordinación administración – sociedad y economía.

En el estudio *“Transición energética con energías renovables para la seguridad energética del Perú: una propuesta de política pública resiliente al clima”* (Vásquez Baca & Gamio Aita, 2018) se aborda la necesidad de crecimiento de una provisión de servicios energéticos a partir fuentes renovables con el fin de cubrir las necesidades energéticas básicas en respuesta a la sustitución de los combustibles fósiles como principal emisor de gases de efecto invernadero. Esta provisión energética sitúa la energía solar como un modelo descentralizado y distribuido minimizando las pérdidas en la transferencia y los costos de transmisión. Así mismo recalca la necesidad de la construcción de sinergias para sentar las bases de un mercado andino dentro de la Alianza de Pacífico entre los países de Chile, Colombia y Perú.

En el informe de *“Formulación del plan de acción ante el cambio y la variabilidad climática del Área metropolitana del Valle de Aburrá”* (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia, 2019), se desarrolla el programa de educación para el cambio y la variabilidad climática donde se contempla el mejoramiento de la infraestructura de las instituciones educativas considerando las expectativas de cambio climático, proyectos piloto con fines educativos e ilustrativos y la educación específica en cambio y adaptación climática, consumo responsables, reducción del riesgo y convivencia. Como estrategia de mitigación se plantea la promoción de la eficiencia energética y las energías renovables con acciones directas como la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica para la disminución del consumo de electricidad.

La identificación de variables que afectan el potencial de generación de energía eléctrica por medios fotovoltaicos como la radiación solar, el ángulo y orientación del sitio de instalación, vegetación interferente y capacidad económica de la parte ejecutora son necesarias para el dimensionamiento de los sistemas y soluciones energéticas solares de acuerdo al estudio *“Evaluación de la viabilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la notaría única de San Luis de Gaceno, Boyacá”* (Arias Becerra & Martínez Gómez, 2019) en el cual, también se aclara que la instalación de estos sistemas no permiten el retorno de la inversión a corto plazo, sin embargo, se obtienen ventajas en la prestación del servicio garantizando al 100% el suministro de energía durante el horario del servicio además de promover el uso eficiente de los recursos naturales.

De acuerdo con Ballesteros Ballesteros y Gallego Torres, en su artículo *“Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética”* (2019) la estrategia educativa CEP AER compuesta por sus 3 elementos teóricos: educación en energías renovables (EER), compromiso público (CP) y actitud energética (AE) pretende involucrar a la sociedad como estructura principal; y no como fin en torno a proyectos, objetivos y metas sostenibles, además de contribuir con el desarrollo del campo de investigación energético y formular nuevos caminos de para la implementación

de soluciones ante los problemas generados por el uso de energía proveniente de fuentes convencionales.

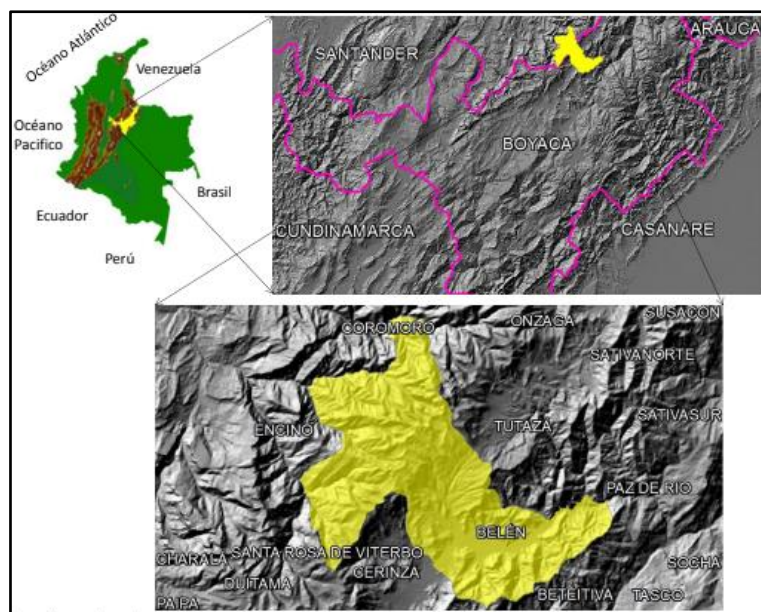
5. LOCALIZACIÓN

5.1. MACRO LOCALIZACIÓN

Belén, es un municipio del departamento de Boyacá, Colombia, se ubica en la cordillera oriental en la provincia del Tundama al norte del departamento. Limita con los municipios de Tutazá, Paz del Río, Beteitiva, Cerinza y con el departamento de Santander con los municipios de Coromoro y El Encino.

La superficie total del municipio es de 283.6 km² y una altitud media de 2650 msnm. El municipio cuenta con 3 zonas climáticas: clima frío húmedo, clima muy frío subpáramo seco y clima de páramo seco. Se compone de 9 veredas y actualmente se encuentra en una dinámica de expansión urbana continua. Su economía se desarrolla principalmente en el sector primario en actividades agrícolas y pecuarias siendo un epicentro de la ganadería de producción de carne y leche, su centro urbano en los últimos años ha experimentado una tendencia al crecimiento comercial siendo un punto estratégico a lo largo de la troncal central del norte que conduce al departamento de Santander y la ruta de los libertadores que conduce a la provincia de Valderrama (*Nuestro Municipio*, 2018).

Imagen 1. Localización Belén (Boyacá).



Fuente: Oficina de planeación – Alcaldía Belén (Boyacá).

5.2. MICRO LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolló en las instituciones educativas públicas urbanas *Institución Educativa Técnica Susana Guillemín* e *Institución Educativa Técnica Carlos Alberto Olano Valderrama*; las cuales prestan sus servicios a un gran porcentaje de habitantes en etapas educativas tanto urbanas como rurales del municipio; que, en consecuencia, demandan un mayor consumo en servicios públicos enfáticamente el de energía.

Tabla 1. Coordenadas instituciones educativas.

Institución Educativa	Dirección	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Susana Guillemín – Sede Central	Kr. 5 n° 4 – 98	05°59'15,75"	-72°54'49,75"
		5.987708333	-72.91381944
CAOV – Sede Central	Kr. 9 n° 6 – 21	05°59'30,73"	-72°54'52,25"
		5.991969444	-72.91451389

Fuente: Oficina de planeación – Alcaldía Belén (Boyacá).

Tabla 2. Macro localización.



Fuente: Google Earth

6. DIAGNÓSTICO

En concordancia con la Ley 115 de 1994, disponer de una estructura administrativa, una planta física y medios educativos adecuados es uno de los requisitos para la prestación del servicio, en donde se designa al Ministerio de Educación Nacional para definir los requisitos básicos de infraestructura que favorezca el aprendizaje y la formación integral de los estudiantes.

Por lo anterior se emite la Norma Técnica colombiana NTC-4595 en la cual se dispone Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Ambientes Escolares, donde, se establecen los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares. Esta norma está orientada en mejorar la calidad del servicio educativo, y también puede ser utilizada para la evaluación y adaptación de las instalaciones escolares existentes acogiendo disposiciones desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, para generar así instalaciones con bajos costos de funcionamiento y mínimo deterioro del ambiente.

Para dar cumplimiento a la normativa, se realizó el reconocimiento de la infraestructura actual, referenciada en el *Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.*, destacándose los siguientes aspectos:

6.1. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

En los interiores de las dos instituciones educativas objeto de estudio predomina el uso de dos tecnologías de emisión de luz: bombillo incandescente y tubo LED. El bombillo incandescente es usado debido a los beneficios económicos instantáneos al momento de la compra, por ser una tecnología de bajo costo, aunque represente la más baja eficiencia lumínico energética; y el tubo LED es usado debido a que la presencia de balastos condiciona el uso exclusivo de esta tecnología.

A modo comparativo, de acuerdo a las tecnologías usadas en las instituciones se identifican de mayor a menor eficiencia: tubo LED de 16W (115,625 lm/W), tubo LED de 8W (112,5 lm/W), lampara LED (70 lm/W) y bombillo incandescente (11,7 lm/W).

De acuerdo a las fichas técnicas de cada tecnología se evidencia que los bombillos incandescentes tienen baja eficiencia energética como se menciona anteriormente, por ello se analizó el cambio de estos artefactos por una tipología más eficiente y la disminución de la demanda energética respecto al consumo actual descrito en el *Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.* en donde se evidencia un ahorro del 40% del consumo requerido específicamente por estas herramientas.

6.2. PAREDES

De acuerdo con el *Anexo A. Reconocimiento de infraestructura*. y la NTC – 4595, en los dos colegios, las aulas de clase con ladrillo a la vista en su interior, correspondientes a la sección secundaria de la Institución Educativa Carlos Alberto Olano Valderrama y la sección primaria de la Institución Educativa Susana Guillemín, no cumplen con los niveles adecuados de reflectancia superior al 75%, y por lo tanto no se garantiza la comodidad visual al interior con atenuante de la iluminación artificial que esté disponible en el aula. Estas condiciones son alicientes al aumento en la dependencia de este tipo de fuente de iluminación.

En términos generales, en los interiores en los que se cuenta con la opción de retocar con pintura las paredes cumplen con los rangos de reflectancia descritos en la norma anteriormente mencionada. Las excepciones se dan debido a dos razones: a) la tendencia de ilustrar las paredes en niveles preescolares y b) Los casos en los que la pintura y mano de obra es financiada por la comunidad estudiantil, siendo ellos quienes dan criterio de colores de recubrimiento, desconociendo la norma.

6.3. PISOS

De acuerdo a lo observado en las visitas de reconocimiento, se evidenció el cumplimiento de los índices de reflectancia para el piso (15% - 30%) de acuerdo a la NTC – 4595 en las edificaciones de más antigüedad de las instituciones educativas, sin embargo, las edificaciones que cuentan con piso en tono blanco hueso o blanco polarizado, supera por más del doble, el índice de comodidad visual en ambientes escolares.

6.4. TECHOS

Independientemente del tipo de material de la cubierta o cielo raso, en su totalidad cumplen con la condición de reflectividad de más de 80% de acuerdo a la NTC – 4595.

6.5. VENTANALES

Se identificó que, en las aulas técnicas de la Institución Educativa Carlos Alberto Olano Valderrama, el nivel de los ventanales se ubica por debajo del plano de trabajo, lo que ocasiona deslumbramiento.

En la Institución Educativa Susana Guillemín, se evidenciaron cristales con pintura donde evidentemente impide la entrada de gran parte de la luz natural forzando el uso de energía artificial en los interiores.

6.6. CONSUMO ELÉCTRICO

6.6.1. Medición del Consumo Eléctrico.

En el municipio de Belén (Boyacá), el suministro de energía eléctrica está a cargo de la Empresa de Energía de Boyacá - EBSA S.A. E.S.P., así como a *la Institución Educativa Técnica Carlos Alberto Olano Valderrama* y a *la Institución Educativa Técnica Susana Guillemín* las cuales son objeto de este estudio. La generación del suministro eléctrico de EBSA S.A. E.S.P. se realiza a través de proveedores del mercado mayorista en Colombia (EBSA, 2021) donde predominan fuentes de tipo hidro y termoeléctricas.

Los datos del consumo eléctrico se obtuvieron por medio de la facturación física proporcionada por las instituciones educativas, en las cuales se encuentra el consumo específico del mes en relación, un histórico de seis meses y el promedio de estos periodos.

Debido a que la facturación hace parte del archivo perteneciente a las pagadurías de las correspondientes instituciones educativas solo se encuentran aquellas facturas que fueron objeto de pago, en las que se evidenciaba órdenes de pago hasta con 3 meses de atraso principalmente a inicio del ciclo escolar. Varios de estos consumos fueron sometidos a verificación con el histórico de 6 meses y los recibos presentados posteriores a la fecha. Este registro se encuentra detallado en el *Anexo B. Base de datos de consumo y facturación eléctrica*.

Institución Educativa Técnica Carlos Alberto Olano Valderrama

La institución educativa en su sede urbana cuenta con la medición del consumo eléctrico mediante dos contadores cada uno suministrando energía eléctrica a las siguientes dependencias:

- ✓ *Contador 1:* Rectoría, secretaría y demás oficinas administrativas, salones de preescolar, salones sección primaria, salas de informática, teatro, reflectores, baños y pasillos.
- ✓ *Contador 2:* Salones sección secundaria, baños y pasillos.

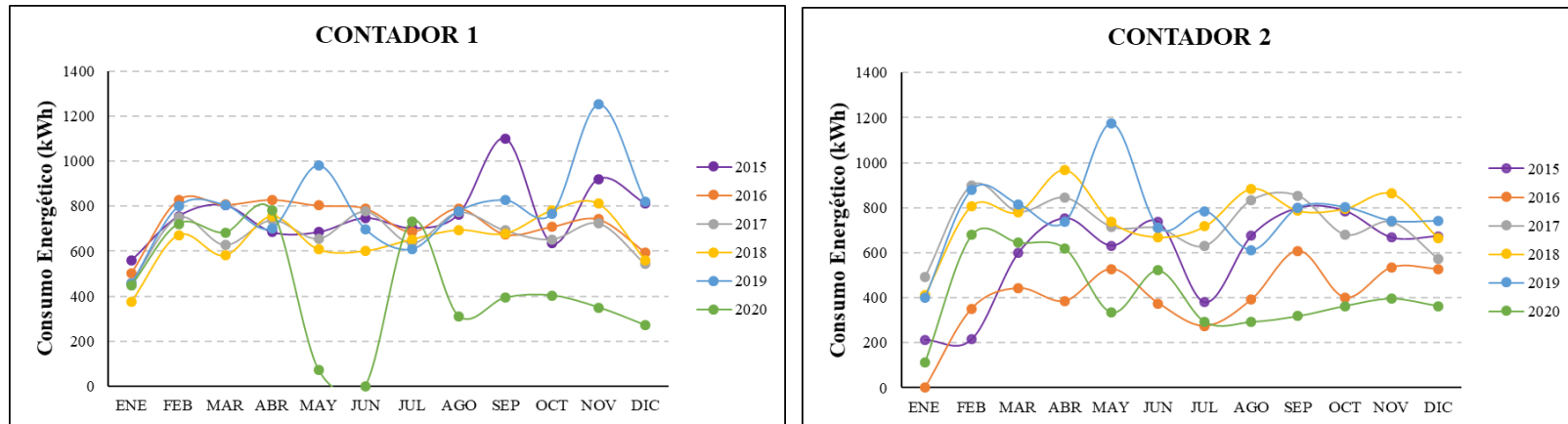
El registro de la medición de consumo de energía eléctrica está expresado en kilovatio hora (kWh) por periodos anuales desde enero del 2015 a abril de 2021 como se ilustra en la Gráfica 1 y Gráfica 2.

Tabla 3. Consumo de energía CAO.V.

MEDICIÓN CONSUMO MENSUAL (kWh)																					
CONTADOR	2015			2016			2017			2018			2019			2020			2021		
	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total	1	2	Total
ENE.	560	214	774	502	0	502	460	493	953	374	411	785	455	399	854	448	113	561	258	113	439
FEB.	755	216	971	828	351	1179	750	899	1649	672	808	1480	799	879	1678	721	679	1400	324	679	653
MAR.	804	598	1402	807	442	1249	628	782	1410	581	781	1362	806	815	1621	682	646	1328	237	646	453
ABR.	686	753	1439	829	385	1214	739	844	1583	756	969	1725	702	736	1438	781	620	1401	324	620	646
MAY.	685	631	1316	803	527	1330	656	715	1371	608	736	1344	981	1173	2154	74	335	409			
JUN.	748	736	1484	791	375	1166	777	710	1487	601	669	1270	699	712	1411	0	522	522			
JUL.	703	380	1083	687	274	961	636	631	1267	653	717	1370	609	785	1394	733	293	1026			
AGO.	764	675	1439	790	392	1182	773	834	1607	695	885	1580	778	611	1389	312	293	605			
SEP.	1100	798	1898	675	608	1283	692	852	1544	679	786	1465	827	800	1627	393	319	712			
OCT.	636	785	1421	709	400	1109	653	681	1334	782	795	1577	766	802	1568	403	364	767			
NOV.	921	667	1588	742	534	1276	724	737	1461	811	863	1674	1252	741	1993	350	397	747			
DIC.	812	673	1485	595	527	1122	543	573	1116	560	665	1225	821	741	1562	271	364	635			
TOTAL	9174	7126	16300	8758	4815	13573	8031	8751	16782	7772	9085	16857	9495	9194	18689	5168	4945	10113			
Δ Porcentual				↓ 16.7 %			↑ 23.6 %			↑ 0.4 %			↑ 10.7 %			↓ 45.8%					

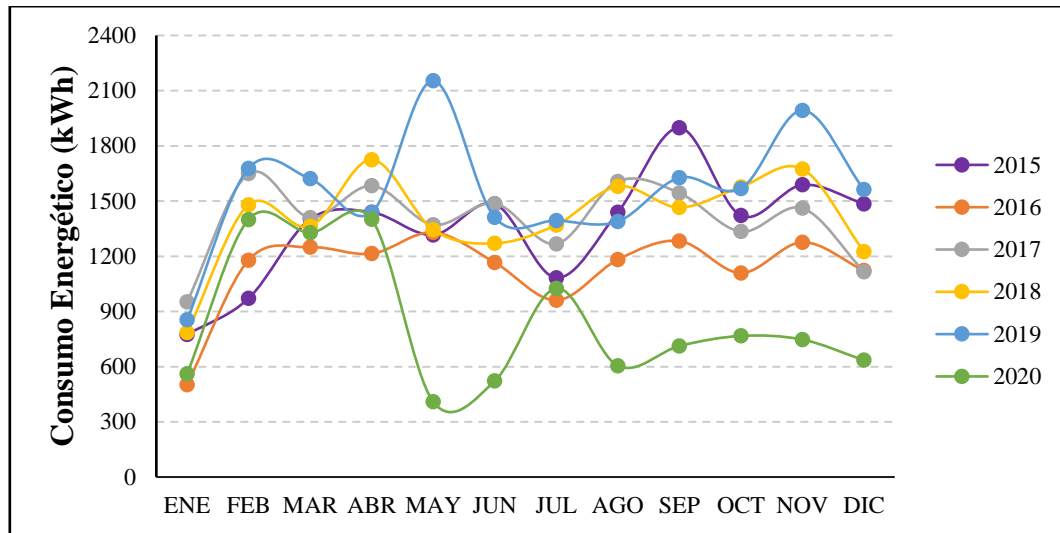
Fuente: Autor.

Gráfica 1. Consumo de energía contador 1 y 2 CAO.V.



Fuente: Autor.

Gráfica 2. Consumo de energía total CAO.V.



Fuente: Autor.

El comportamiento del consumo de electricidad mensualmente se ve influenciado principalmente por el consumo habitual de las labores académicas, sin embargo la identificación de picos de consumo desde el año 2015 hasta 2019, se han marcado por las actividades no rutinarias, ya sean institucionales, departamentales o nacionales, de las cuales no es posible asignar una actividad específica a cada pico de consumo, sin embargo se destaca el aumento del consumo energético del mes de noviembre respecto al mes de octubre debido a que esta institución en su calidad de anfitriona, se presta como alojamiento a las delegaciones concursantes del “*Concurso nacional de bailes folclóricos colombianos*” realizado anualmente para esta fecha en el municipio. De igual manera se reconoce el 2020 como un año atípico por pandemia de Covid 19.

Institución Educativa Técnica Susana Guillemín

La institución educativa en su sede urbana cuenta con la medición del consumo eléctrico mediante un contador suministrando energía eléctrica a salones de clase, dependencias administrativas, cafetería, restaurante, baños y pasillos.

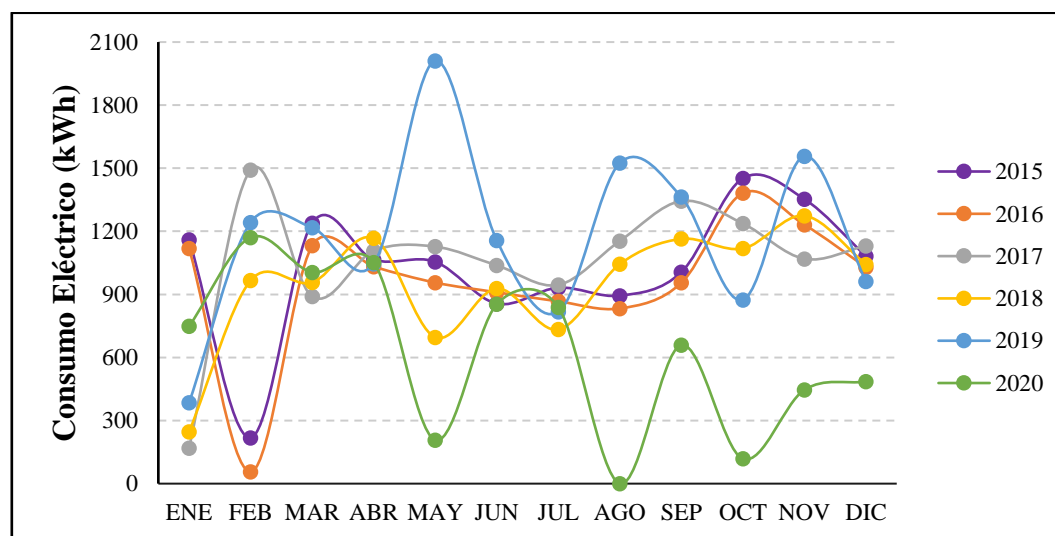
El registro de la medición de consumo de energía eléctrica está expresado en kilovatio hora (kWh) por periodos anuales desde enero de 2015 a abril de 2021 como se ilustra en la Gráfica 3.

Tabla 4. Consumo de energía Susana Guillemín

	MEDICIÓN CONSUMO MENSUAL (kWh)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENE.	1159	1119	169	247	385	748	424
FEB.	218	56	1492	966	1242	1171	931
MAR.	1239	1132	890	957	1217	1005	528
ABR.	1065	1032	1107	1167	1046	1052	585
MAY.	1055	956	1127	696	2011	207	
JUN.	856	910	1038	928	1157	853	
JUL.	932	867	945	733	817	839	
AGO.	894	833	1154	1044	1525	0	
SEP.	1006	955	1344	1164	1363	659	
OCT.	1452	1382	1237	1118	874	118	
NOV.	1353	1231	1069	1274	1557	446	
DIC.	1082	1029	1131	1043	962	485	
TOTAL	12311	11502	12703	11337	14156	7583	
Δ Porcentual		↓ 6.6 %	↑ 10.4 %	↓ 10.7 %	↑ 24.8 %	↓ 46.4 %	

Fuente: Autor.

Gráfica 3. Consumo de energía eléctrica Susana Guillemín.



Fuente: Autor.

Se desconoce el origen de los picos tanto de febrero de 2015 y 2016 como de mayo del 2019, sin embargo, se identifica que se tienen picos similares en las dos instituciones para esta última fecha donde puede haber la hipótesis de un evento a nivel municipal, o que involucró ambas instituciones.

6.6.2. Facturación del Consumo Eléctrico.

De acuerdo con las facturas o recibos de energía usados en el presente estudio, el cobro de energía se realiza principalmente a cargo del consumo neto de energía y cargo por

concepto de contribución al alumbrado público, además de costos despreciables como el ajuste a la decena, asimismo costos que no dependen del consumo eléctrico como los cargos por mora entre otros.

El cargo por consumo neto de energía se halla conociendo el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de acuerdo a la *Resolución 199 de 2007* en su artículo 4 y acogida por la Empresa de Energía de Boyacá – EBSA S.A. E.S.P., mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Cargo por consumo neto.

$$CU = G + T + D + Cv + Pr + R$$

Donde:

CU: Costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica.

G: Costo asociado a la generación.

T: Costo asociado a la transmisión.

D: Costo asociado a la distribución.

Cv: Costo asociado a la comercialización

Pr: Costo asociado a las pérdidas

R: Costo asociado a las restricciones

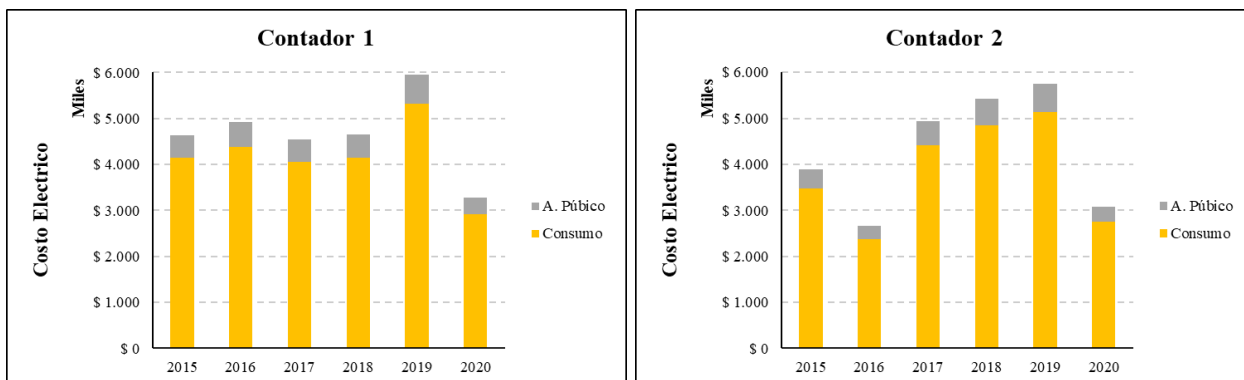
El cargo por concepto de contribución al alumbrado público es establecido en el *Acuerdo No. 015 de 2007* del Honorable Concejo Municipal de Belén (Boyacá), donde, se establecen las tarifas para el cobro del impuesto de alumbrado público acordando en su Artículo Segundo: los suscriptores cancelarán una tarifa del doce por ciento (12%) sobre el valor total del consumo domiciliario por alumbrado público Municipal.

Para el presente estudio se tuvo en cuenta los costos asociados con el consumo eléctrico denominado costo variable, compuesto por el cargo del consumo neto de energía y el cargo por concepto de contribución al alumbrado público.

El pago por el servicio de energía eléctrica en las instituciones educativas por varios periodos no fue mensual consecutivo por razones de cambio de ciclo escolar, consolidación de pagos, entre otras razones. También fue necesario realizar ajustes a los datos tabulados y radicados teniendo en cuenta la gestión de cartera correspondiente al saldo anterior respecto a los consumos en kWh correspondientes, así mismo se tuvo en cuenta el cobro por alumbrado público incluido por este concepto de pago.

Institución Educativa Técnica Carlos Alberto Olano Valderrama

Gráfica 4. Costo de energía eléctrica contador 1 y 2 Carlos Alberto Olano Valderrama



Fuente: Autor.

Tabla 5. Costo anual por energía eléctrica contador 1.

CONSUMO ELÉCTRICO CONTADOR 1							
PERIODO		2015	2016	2017	2018	2019	2020
CONSUMO (kWh)	Mensual	765	730	669	648	791	431
	Consumo Anual	\$ 4.139.564	\$ 4.390.078	\$ 4.051.902	\$ 4.151.435	\$ 5.314.148	\$ 2.920.448
COSTO	A. Público	\$ 496.748	\$ 526.809	\$ 486.228	\$ 498.172	\$ 637.698	\$ 350.454
	Total	\$ 4.636.312	\$ 4.916.887	\$ 4.538.131	\$ 4.649.607	\$ 5.951.845	\$ 3.270.902
	(\$/kWh)	\$ 451	\$ 501	\$ 505	\$ 534	\$ 560	\$ 565

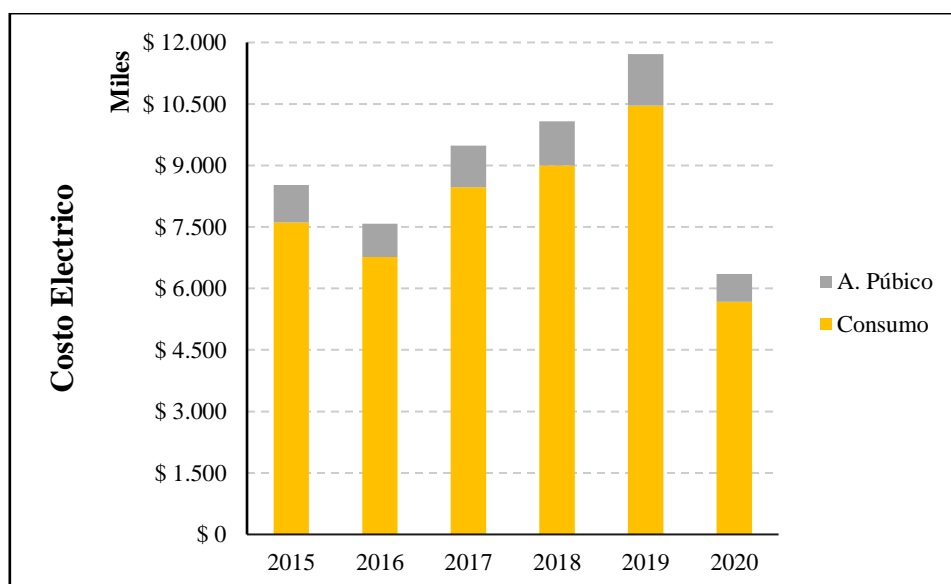
Fuente: Autor.

Tabla 6. Costo anual por energía eléctrica contador 2.

CONSUMO ELÉCTRICO CONTADOR 2							
PERIODO		2015	2016	2017	2018	2019	2020
CONSUMO (kWh)	Mensual	594	401	729	757	766	412
	Consumo Anual	\$ 3.473.945	\$ 2.375.965	\$ 4.414.403	\$ 4.848.328	\$ 5.143.723	\$ 2.751.135
COSTO	A. Público	\$ 416.873	\$ 285.116	\$ 529.728	\$ 581.799	\$ 617.247	\$ 330.136
	Total	\$ 3.890.818	\$ 2.661.081	\$ 4.944.132	\$ 5.430.127	\$ 5.760.970	\$ 3.081.271
	(\$/kWh)	\$ 488	\$ 493	\$ 504	\$ 534	\$ 559	\$ 556

Fuente: Autor.

Gráfica 5. Costo de energía eléctrica total CAO.V.



Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se presenta una síntesis de datos básicos anuales que permiten relacionar el consumo en kWh frente a el costo teniendo en cuenta aquellos parámetros tarifarios que también se ven influenciados por la variabilidad del consumo eléctrico.

Tabla 7. Costo anual por energía eléctrica total CAO.V.

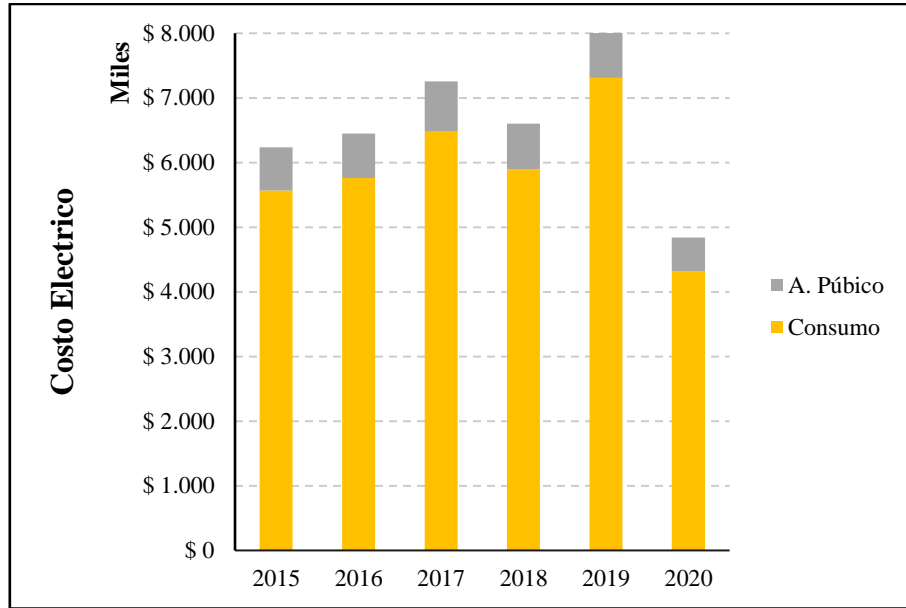
		CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL					
PERIODO		2015	2016	2017	2018	2019	2020
CONSUMO (kWh)	Mensual	1,358	1,131	1,399	1,405	1,557	843
	Consumo Anual	\$7,613,509	\$6,766,043	\$8,466,306	\$ 8,999,763	\$10,457,870	\$5,671,583
COSTO	A. Público	\$ 913,621	\$ 811,925	\$1,015,957	\$ 1,079,972	\$ 1,254,944	\$ 680,590
	Total	\$8,527,130	\$7,577,968	\$ 9,482,262	\$ 10,079,734	\$ 11,712,815	\$ 6,352,173
	Variación Total		↓ 11.1 %	↑ 25.1 %	↑ 6.3 %	↑ 16.2 %	↓ 45.7 %
	(\$/kWh)	\$ 467	\$ 498	\$ 504	\$ 534	\$ 560	\$ 561

Fuente: Autor.

Por lo anterior se constata que progresivamente el consumo anual de energía eléctrica va en aumento experimentando una decaída del 45.7% para el año 2020 consecuencia del confinamiento por pandemia Covid 19 sin embargo se proyecta que el consumo retome los valores crecientes que mantenía en los años anteriores o bien que se estabilice o incluso disminuyan por las estrategias descritas más adelante.

Institución Educativa Técnica Susana Guillemín

Gráfica 6. Costo de energía eléctrica Susana Guillemín.



Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se presenta una síntesis de datos básicos anuales que permiten relacionar el consumo en kWh frente a el costo teniendo en cuenta aquellos parámetros tarifarios que también se ven influenciados por la variabilidad del consumo eléctrico.

Tabla 8. Costo anual por energía eléctrica Susana Guillemín.

		CONSUMO ELÉCTRICO					
PERIODO		2015	2016	2017	2018	2019	2020
CONSUMO (kWh)	Mensual	1.026	959	1.059	945	1.180	632
	Consumo Anual	\$5.568.620	\$ 5.759.241	\$ 6.476.136	\$ 5.893.091	\$ 7.311.317	\$ 4.319.422
COSTO	A. Público	\$ 668.234	\$ 691.109	\$ 777.136	\$ 707.171	\$ 910.188	\$ 518.331
	Total	\$6.236.855	\$ 6.450.350	\$ 7.253.273	\$ 6.600.262	\$ 8.495.088	\$ 4.837.753
	Variación total		↑3.4 %	↑ 12.4 %	↓ 9 %	↑ 28.7 %	↓ 43.1 %
	(\$/kWh)	\$ 452	\$ 501	\$ 510	\$ 520	\$ 516	\$ 570

Fuente: Autor.

De acuerdo a la información contenida en los recibos se puede evidenciar una tendencia al aumento del consumo energético desde el año 2015 decayendo levemente en 9% en 2018 y drásticamente en 43% en 2020, esto último debido al cambio en la rutina del consumo de esta institución educativa por temas relacionados a el confinamiento consecuencia del estado de emergencia sanitaria por Covid-19. Por esta razón es necesario considerar este año como atípico o hasta que se retomen las condiciones de normalidad y/o presencialidad en la institución educativa.

7. ADECUACIÓN FÍSICA DE LAS INSTALACIONES

De acuerdo a los factores que hacen variable el consumo eléctrico puntual en las instituciones educativas del municipio de Belén (Boyacá) se contemplan las oportunidades de mejora en aspectos de infraestructura que consideren la adopción de técnicas, tecnologías y herramientas que promuevan los buenos hábitos de consumo y el uso eficiente de los recursos energéticos.

Además de dar cumplimiento a la Norma Técnica colombiana NTC-4595 y a la Resolución 180540 de 2010 en la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, donde se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas que tienden a garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente.

7.1. OBJETIVO.

Disminuir el consumo eléctrico mediante adecuación y mantenimiento de la infraestructura física de las instituciones educativas urbanas del municipio de Belén (Boyacá).

7.2. ESTRATEGIA.

Mediante programas específicos de mantenimiento y adecuación de la infraestructura se propenderá la disminución de consumo eléctrico y pérdidas en la red eléctrica mediante programas.

7.3. PROGRAMAS

Los programas están dirigidos a las instituciones educativas públicas para el mantenimiento y adecuación de instalaciones en aspectos que tengan influencia en la variabilidad del consumo eléctrico dentro de las instalaciones, así como ventanales con sus respectivos cristales, paredes, techos, pisos, redes eléctricas y dispositivos de iluminación artificial.

7.3.1. Programa Limpieza de Ventanales y Luminarias

Generalidades

Tabla 9. Generalidades Programa limpieza de ventanales y luminarias.

Objetivo	Disminuir la interferencia en la entrada de luz natural por los ventanales y artificial de las luminarias
Tipo de medida	Corrección
Aspecto	Obstrucción del paso de luz por material particulado y otros factores de fácil limpieza.
Impactos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de la disponibilidad de luz natural y artificial en el transcurso de la jornada escolar. ➤ Esfuerzo visual de la comunidad estudiantil. ➤ Aumento en la necesidad de consumo eléctrico.
Requisitos del personal	Ninguno
Seguimiento y monitoreo	Administración instituciones educativas Personal de servicios generales
Plazo	Corto

Fuente: Autor.

Aspectos técnicos.

De acuerdo con Bustamante Sánchez en su artículo “*Ecoeficiencia en la universidad hacia un desarrollo sostenible*”(2011) una de las medidas de ecoeficiencia en ambientes educativos correspondientes al ahorro de energía es la limpieza periódica de luminarias y ventanas por lo que se llevará un registro de su cumplimiento.

Tabla 10. Actividades Programa limpieza de ventanales y luminarias.

Actividad	Insumos	Frecuencia	Responsables
Remoción de material particulado y/o suciedad en ventanales: marco y cristales	Limpiavidrios Periódico	Cuando se evidencie suciedad	Cuerpo estudiantil Personal de servicios generales
Lavado y desinfección de ventanales: marco y cristales	Jabón Cepillo Limpiavidrios Periódico	Semestral	Cuerpo estudiantil Personal de servicios generales
Limpieza de bombillas y luminarias	Paño	Trimestral	Personal de servicios generales

Fuente: Autor.

Indicadores.

✓ Limpieza de ventanales.

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciado en áreas y dependencias, cada punto evidencia un ventanal visualmente sucio: marco y/o cristal (no incluye pintura o manchas de difícil remoción).

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños.
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas, recintos de servicios complementarios, baños y pasillos.

Ecuación 2. Indicador Limpieza de ventanales.

$$I_1 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

✓ Limpieza de luminarias y bombillos.

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciado en áreas y dependencias, cada punto evidencia una luminaria o bombillo visualmente sucio.

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños.
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas, recintos de servicios complementarios, baños y pasillos.

Ecuación 3. Indicador Limpieza de luminarias y bombillos.

$$I_2 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

7.3.2. Programa Adecuación de Paredes

Generalidades

Tabla 11. Generalidades Programa adecuación de paredes.

Objetivo	Aprovechar la luz natural mediante la difusión y reflexión de rayos solares en interiores.
Tipo de medida	Corrección
Aspecto	Paredes en tonalidades que no favorecen la comodidad visual por su coeficiente de reflexión.
Impactos	<ul style="list-style-type: none">➤ Inadecuada difusión y reflexión de la luz.➤ Disminución de la disponibilidad de luz natural en el transcurso de la jornada escolar.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esfuerzo visual de la comunidad estudiantil. ➤ Aumento en la necesidad de consumo eléctrico.
Requisitos del personal	Personal con experiencia en el área.
Seguimiento y monitoreo	Administración instituciones educativas Administración municipal
Plazo	Corto

Fuente: Autor.

Aspectos técnicos.

Por comodidad visual en ambientes escolares se deben proveer coeficientes de la reflexión de la luz⁵ no inferiores a 74 % en paredes donde se encuentren las aberturas o enfrentadas a éstas en paredes distintas y entre 50 % – 70 % en paredes distintas, pero no enfrentadas a aquellas en que se encuentren las aberturas. Se preferirán fondos de colores sólidos y que no produzcan brillo de acuerdo a la norma NTC-4595.

Tabla 12. Actividades Programa adecuación de paredes.

Actividad	Insumos	Frecuencia	Responsables
Identificación de pinturas en paredes que no cumplen con las especificaciones de reflexión	N/A	Inicial Cuando se requieran retoques	Administración instituciones educativas
Adecuación y cambio de pintura	Pintura Elementos y accesorios para pintar.	Inicial Cuando se requieran retoques	Administración instituciones educativas

Fuente: Autor.

Indicadores.

✓ Paredes con inadecuado coeficiente de reflexión

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciado áreas y dependencias, cada punto evidencia un interior de permanencia continua de paredes con inadecuado coeficiente de reflexión de la luz.

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños.
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.

⁵ A manera de Imagen se presentan algunos coeficientes de reflexión de la luz. Pinturas: blanca (81 %); marfil (79 %); crema (74 %); verde claro (63 %); azul claro (58 %); gris oscuro (26 %); verde oliva (17 %); madera de roble (13 % - 32 %); caoba (8 %); cemento gris natural (25 %); ladrillo de arcilla roja (13 %). NTC-4595

- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas y recintos de servicios complementarios.

Ecuación 4. Indicador Paredes con inadecuado coeficiente de reflexión.

$$I_3 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

✓ Adecuación y retoque de pintura en paredes

Se evalúan porcentaje de cumplimiento de acuerdo a paredes retocadas respecto al indicador I₃: Paredes con inadecuado coeficiente de reflexión.

Ecuación 5. Indicador Adecuación y retoque de pintura en paredes.

$$I_4 = \left(1 - \frac{I_3 - \# \text{ de interiores adecuadas/retocadas}}{I_3} \right) * 100$$

7.3.3. Programa Remodelación de Piso

Generalidades

Tabla 13. Generalidades Programa remodelación de piso.

Objetivo	Aprovechar la luz natural mediante la difusión y reflexión de rayos solares en interiores.
Tipo de medida	Corrección
Aspecto	Pisos en tonalidades que no favorecen la comodidad visual por su coeficiente de reflexión
Impactos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inadecuada difusión y reflexión de la luz. ➤ Disminución de la disponibilidad de luz natural en el transcurso de la jornada escolar. ➤ Esfuerzo visual de la comunidad estudiantil. ➤ Aumento en la necesidad de consumo eléctrico.
Requisitos del personal	Personal con experiencia en el área.
Seguimiento y monitoreo	Administración instituciones educativas Administración municipal
Plazo	Largo

Fuente: Autor.

Aspectos técnicos.

Por comodidad visual en ambientes escolares se deben proveer coeficientes de la reflexión de la luz en pisos entre 15 % – 30 % de acuerdo a la norma NTC-4595.

Tabla 14. Actividades Programa remodelación de pisos.

Actividad	Insumos	Frecuencia	Responsables
-----------	---------	------------	--------------

Identificación de pisos que no cumplen con las especificaciones de reflexión	N/A	Única	Administración instituciones educativas
Adecuación y remodelación de pisos	Materiales de construcción	Única	Administración instituciones educativas Administración municipal

Fuente: Autor.

Indicadores.

✓ Pisos con inadecuado coeficiente de reflexión

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciando áreas y dependencias, cada punto evidencia un interior de permanencia continua de pisos con inadecuado coeficiente de reflexión de la luz.

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños.
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas y recintos de servicios complementarios.

Ecuación 6. Indicador Pisos con inadecuado coeficiente de reflexión.

$$I_5 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

✓ Adecuación y remodelación de pisos

Se evalúan porcentaje de cumplimiento de acuerdo a pisos remodelados respecto al indicador I₅: Pisos con inadecuado coeficiente de reflexión.

Ecuación 7. Indicador Adecuación y remodelación de pisos.

$$I_6 = \left(1 - \frac{I_5 - \# \text{ de pisos remodelados}}{I_5} \right) * 100$$

7.3.4. Programa Mantenimiento de Redes Eléctricas

Generalidades

Tabla 15. Generalidades Programa mantenimiento de redes eléctricas.

Objetivo	Evitar pérdidas de energía por daño, avería o ausencia de mantenimiento de las redes eléctricas
Tipo de medida	Prevención

Aspecto	Redes eléctricas en mal estado o con ausencia de mantenimiento
Impactos	- Aparición de pérdidas eléctricas - Aumento en el consumo eléctrico - Altos costos por concepto de pago del servicio de energía eléctrica y contribución al alumbrado público.
Requisitos del personal	Personal con experiencia en el área.
Seguimiento y monitoreo	Administración instituciones educativas Administración municipal
Plazo	Mediano

Fuente: Autor.

Aspectos técnicos.

Todas las actividades de este programa se realizan de acuerdo a los conceptos técnicos emitidos por una persona acreditada con el certificado CONTE. El cálculo, el diseño y la construcción de las instalaciones eléctricas para las instalaciones escolares se rigen por lo dispuesto en el Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050.

Tabla 16. Actividades Programa mantenimiento y remodelación de redes eléctricas.

Actividad	Insumos	Frecuencia	Responsables
Diagnóstico y estudio técnico de las redes eléctricas actuales.	Herramientas de estudio eléctrico	Única	Administración instituciones educativas
Remodelación y mantenimiento de redes eléctricas	- Insumos eléctricos	Por especificación técnica	Administración instituciones educativas Administración municipal Personal acreditado

Fuente: Autor.

Indicadores.

✓ Falencias red eléctrica.

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciando áreas y dependencias, cada punto evidencia una falencia identificada y cuantificada por el personal técnico a cargo.

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas, recintos de servicios complementarios, baños y pasillos.

Ecuación 8. Indicador Falencias red eléctrica.

$$I_7 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

- ✓ Remodelación, mantenimiento y/o reparación de las falencias.

Se evalúan porcentaje de cumplimiento de remodelación, mantenimiento y/o reparación de falencias en redes eléctricas respecto al indicador I₇: Falencias red eléctrica.

Ecuación 9. Indicador Remodelación, mantenimiento y/o reparación de falencias.

$$I_8 = \left(1 - \frac{I_7 - \# \text{ de falencias solucionadas}}{I_7} \right) * 100$$

7.3.5. Programa Renovación de Fuentes de Luz Artificial

Generalidades

Tabla 17. Generalidades Programa renovación de fuentes de luz artificial.

Objetivo	Disminuir el consumo eléctrico por accionamiento de fuentes de luz artificial
Tipo de medida	Prevención
Aspecto	Uso de bombillos, luminarias y reflectores que no cumplen con las especificaciones dirigidas a ambientes escolares
Impactos	- Aumento en el consumo eléctrico - Altos costos por concepto de pago del servicio de energía eléctrica y contribución al alumbrado público. - Alteración de la comodidad visual
Requisitos del personal	Ninguno
Seguimiento y monitoreo	Administración instituciones educativas
Plazo	Corto

Fuente: Autor.

Aspectos técnicos.

La iluminación artificial debe corresponder a los valores especificados en la tabla del apartado 6.3 *Iluminación artificial* de la NTC - 4595.

Tabla 18. Actividades Programa renovación de fuentes de luz artificial.

Actividad	Insumos	Frecuencia	Responsables
Reemplazo de bombillos, lámparas y reflectores que no cumplan las especificaciones técnicas.	Bombillos Luminarias Reflectores	Inicial Cuando se requieran cambios	Administración instituciones educativas

Fuente: Autor.

Acorde a las necesidades de reemplazo de luminarias por parte de las dos instituciones educativas se realizó un estudio primario para establecer las posibles disminuciones tanto en el consumo de energía eléctrica, como en el pago por la prestación del servicio con

base en las falencias identificadas al mes de agosto del 2021, el consumo y la tarifa por kWh promedio del año 2019. *Anexo C. Reemplazo luminarias incandescentes.*

Tabla 19. Ahorro mensual representado en cambio de luminaria.

AHORRO REPRESENTADO EN CAMBIO DE LUMINARIA			
INSTITUCIÓN EDUCATIVA	CONSUMO (kWh)	COSTO (\$)	
	MENSUAL	MES	AÑO
CARLOS ALBERTO OLANO VALDERRAMA	195,8	109670,4	2047180,8
SUSANA GUILLEMÍN	279,4	144149,76	1753822,08

Fuente: Autor. *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*

Indicadores.

✓ Fuentes de luz artificial inadecuadas

Se evalúan puntos de incumplimiento diferenciando áreas y dependencias, cada punto evidencia una fuente de luz artificial que no cumple con las especificaciones técnicas para la disminución del consumo eléctrico y comodidad visual.

- A. Sección preescolar: Aulas de clase y baños.
- B. Sección primaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- C. Sección secundaria: Aulas de clase y aulas complementarias.
- D. Dependencias administrativas y áreas comunes: dependencias administrativas, recintos de servicios complementarios, baños y pasillos.

Ecuación 10. Indicador Fuentes de luz inadecuadas.

$$I_9 = \Sigma A + \Sigma B + \Sigma C + \Sigma D$$

✓ Implementación fuentes de luz.

Se evalúa el porcentaje de fuentes lumínicas reemplazadas por tecnología de bajo consumo respecto a I_9 : Fuentes de luz artificial inadecuadas

Ecuación 11. Implementación fuentes de luz.

$$I_{10} = \left(1 - \frac{I_9 - \# \text{ de fuentes de luz reemplazadas}}{I_9} \right) * 100$$

✓ Disminución de consumo por luminarias

Se evalúa el porcentaje de disminución en consumo de acuerdo a las especificaciones técnicas de los bombillos de cambio y cambiados.

Ecuación 12. Disminución del consumo por luminarias.

$$I_{11} = \left(\frac{\text{Consumo total, tecnología ahorradora}}{\text{Consumo total actual, tecnología no ahorradora}} \right) * 100$$

*Caso de estudio actual Carlos Alberto Olano.

$$I_9 = 12 + 40 + 0 + 16$$

$$I_9 = 68$$

$$I_{11} = \left(1 - \frac{293,8 \text{ kWh}}{489,6 \text{ kWh}} \right) * 100$$

$$I_{11} = 39.9\% \approx 40\%$$

El ahorro del 40% en el consumo por bombillos incandescentes representado por 2382.7 kWh anual de acuerdo con el *Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.*, que se dejarían de consumir una vez instaladas los bombillos ahorradores, repercutirían en el consumo total del contador 1 ya que las dependencias donde se hallan estos bombillos pertenecen a esta área.

*Caso de estudio actual Susana Guillemín.

$$I_9 = 12 + 0 + 60 + 25$$

$$I_9 = 97$$

$$I_{11} = \left(1 - \frac{419,0 \text{ kWh}}{698,4 \text{ kWh}} \right) * 100$$

$$I_{11} = 39.9\% \approx 40\%$$

El ahorro del 40% en el consumo por bombillos incandescentes representado por 3398.9 kWh anual de acuerdo con el *Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.*, que se dejarían de consumir una vez instaladas los bombillos ahorradores, repercutirían en el consumo total ya que esta institución cuenta con único contador.

8. PROGRAMAS DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN

La apropiación de una estrategia formativa que promueva la educación energética de las nuevas generaciones y de los ciudadanos en general es fundamental para que sea la comunidad quienes entiendan la problemática, tengan una actitud crítica y promuevan acciones y valores que abordan el contexto actual del suministro energético y resolución de problemáticas que estén ligadas a las condiciones del medio y a su estilo de vida.

8.1. OBJETIVO

Apropiar a la comunidad educativa de instrumentos formativos que orienten acciones individuales y colectivas de uso responsable del recurso energético, así como de adopción de habilidades e intereses por la ciencia, la tecnología y la ingeniería.

8.2. ESTRATEGIA

Se adopta la metodología CPAER, ajustándose al cumplimiento de los objetivos descritos para el presente proyecto (Ballesteros-Ballesteros & Gallego-Torres, 2019).

8.2.1. Educación En Energías Renovables (EER)

Inicialmente la propuesta educativa tendrá un enfoque teórico y de contextualización ciudadana dirigida a la apropiación de conocimiento del territorio, aspectos críticos ambientales, necesidades actuales y alternativas viables para dar solución a las problemáticas identificadas.

8.2.2. Compromiso Público (CP)

Desde la institucionalidad se promoverán espacios de construcción ciudadana que permita a los habitantes del municipio y en especial a la comunidad educativa urbana acceder a información, a la capacitación y a la formación en energías renovables además de brindar las facilidades para emprender la realización de acciones tangibles que contribuyan significativamente a la reducción de la demanda energética, así como al uso de fuentes de energía convencionales.

8.2.3. Actitud Energética (AE)

Las expectativas en educación energética serán materializadas por medio de acciones puntuales que rescaten el interés por la apropiación de conocimiento, la proposición y

obra de soluciones que suplan las necesidades energéticas para la población objetivo por medio de programas.

8.3. PROGRAMAS

8.3.1. Convenios y Alianzas con Instituciones de educación superior

Actualmente, la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá), está aliado con dos instituciones de educación superior:

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Este vínculo le permite a la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) acceder a cursos y programas ofrecidos por la institución mediante la modalidad de solicitud / disponibilidad:

- I. La dependencia interesada en una temática específica o un programa de formación consultado en la página web <https://www.sena.edu.co/es-co/formacion/Paginas/Estudie-en-el-SENA.aspx> realiza la solicitud formal por intermedio de la Secretaría de Desarrollo, Social, Rural y Económico.
- II. De acuerdo a la solicitud, el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Analiza la petición y hace un estudio de disponibilidad horaria y de personal para impartir el programa de formación en el municipio.
- III. Se establecen las condiciones del desarrollo de la actividad: Horario, cronograma, convocatoria, participantes, medios, espacio, entre otros que puedan resultar de la naturaleza del programa solicitado.

Actualmente los programas disponibles que aporten a la estrategia de formación en cambio climático y reducción del consumo eléctrico de fuentes de energía fósil son:

- ✓ Aplicación del etiquetado de eficiencia energética de acuerdo al reglamento técnico RETIQ.
- ✓ Construcción de cunetas, disipadores de energía y cajas de drenajes.
- ✓ Generación, transformación y uso de la energía eléctrica.
- ✓ Auditorías energéticas y calidad de la energía eléctrica.
- ✓ Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos.
- ✓ Fundamentación en técnicas de mantenimiento de las líneas de transmisión de energía eléctrica.
- ✓ Gestión para el uso eficiente de la energía eléctrica.
- ✓ Interpretación de datos para la gestión de la energía eléctrica.

- ✓ Servicio de instalaciones eléctricas.
- ✓ Sistemas de generación de energía eléctrica utilizando energías renovables.
- ✓ Aplicación de buenas prácticas en turismo sostenible para guías de turismo.
- ✓ Biocomercio sostenible.
- ✓ Emprendedor en alternativas agropecuarias para una producción sostenible.
- ✓ Emprendedor en producción agropecuaria sostenible.
- ✓ Formación de líderes en innovación transformativa, gobernanza, sistemas de ciencia, tecnología e innovación (SC&CTI) y objetivos de desarrollo sostenible (ODS).
- ✓ Organización comunitaria sostenible.
- ✓ Producción y consumo sostenible.
- ✓ Implementación de procesos para la transición agroecológica.
- ✓ Agroecología y desarrollo rural.

Es importante tener en cuenta que la oferta educativa por parte del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA puede variar por ello la oferta educativa en esta línea de formación requiere ser actualizada constantemente.

Gestión de nuevos convenios

La Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) dentro de su función pública se compromete a gestionar las alianzas necesarias que permitan la creación de espacios de formación de la comunidad haciendo énfasis en aspectos relacionados con toda la cadena productiva y aprovechamiento del recurso energético.

De acuerdo a la oferta educativa en el área de influencia del municipio se proponen las siguientes instituciones educativas:

- ✓ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
- ✓ Universidad Santo Tomás
- ✓ Universidad de Boyacá
- ✓ Fundación universitaria Juan de Castellanos
- ✓ Universidad Antonio Nariño

Cabe resaltar que la Administración Municipal contará con el interés y la motivación de vincularse con diversas entidades que promuevan la formación de la comunidad así no estén contempladas en el listado anterior y se presente el nicho de oportunidad.

8.3.2. Dinamizadores Ambientales

En alianza de la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) y la Corporación Autónoma Regional Corpoboyacá se establece el grupo de dinamizadores ambientales con el objeto de formar jóvenes del municipio en temáticas de cambio climático con énfasis en energías alternativas.

El grupo estará conformado por un mínimo de 15 jóvenes que participen activamente en todas las etapas del programa.

Etapas del programa:

a) Pedagógico

Esta etapa se regirá por una serie de capacitaciones brindadas por Corpoboyacá en las que una vez formalizado el grupo de jóvenes participantes se establecerá el cronograma y temáticas de profundización de acuerdo a las siguientes líneas de formación.

- ✓ Educación ambiental
- ✓ Vivienda sostenible
- ✓ Diagnóstico energético a pequeña escala
- ✓ Principios de alternativas energéticas

b) Práctico

Esta etapa se regirá por el consenso de los intereses de los integrantes del programa además de la disponibilidad de profesionales con la experticia para la formación práctica.

c) Propositivo

De acuerdo a la formación previamente adquirida, se asistirán las iniciativas que promuevan la educación continuada, escuelas de formación y proyectos específicos relacionados con la línea formativa del programa.

8.3.3. Horas sociales

Los estudiantes de las instituciones educativas *Carlos Alberto Olano Valderrama* y *Susana Guillemín* que realicen las horas de proyección social en la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) podrán complementar su requerimiento con la participación en foros, talleres, conferencias, cursos, diplomados entre otras actividades con enfoque en cambio climático y energías alternativas que se brindan por parte de la Administración Municipal, así como alianzas con corporaciones regionales, gobernación, cámara de comercio, universidades etc.

8.3.4. Estrategia de Educación y Prevención Por Medios Visuales

En el ámbito de educación, formación y concienciación para la prevención del cambio climático a través de la reducción en el consumo de electricidad, es resaltar la transformación del componente actitudinal de la población, haciendo énfasis en la formación de costumbres que promuevan hábitos que propendan la disminución individualizada e institucional de la huella de carbono en los centros educativos públicos urbanos del municipio de Belén (Boyacá).

Por lo anterior es importante que este proceso sea abarcado por medios complementarios de aprehensión que promuevan la adopción de hábitos de la cultura de la disminución del consumo y la prevención del gasto innecesario de la energía eléctrica.

La señalética es una de las formas específicas y evidentes de la comunicación funcional, su campo de acción es inmediato en el ámbito de la vida cotidiana además de responder a la necesidad de orientación prestando un servicio a los individuos (Rodríguez Leon, 2014).

El presente programa pretende equipar a las instituciones educativas públicas urbanas de señalética con el fin de crear hábitos de uso responsable de la energía eléctrica y ejecución de acciones que promuevan un gasto mínimo del servicio.

La estrategia de equipamiento visual parte de las recomendaciones emitidas por el ministerio de educación para el ahorro de energía en ambientes escolares (*Diez Consejos Para Ahorrar Energía.*, 2019):

- ✓ Uso de luz eléctrica en días oscuros o cuando sea necesario.
- ✓ Apagar y desconectar televisores, computadores y demás equipos o electrodomésticos que no estén sometidos al uso continuo o intervalos continuos de tiempo.
- ✓ Activar función ahorro de energía en computadores y dispositivos móviles.
- ✓ Apagar la luz al salir de las aulas u otros interiores.
- ✓ Imprimir y sacar fotocopias solo cuando sea necesario.
- ✓ Conectar en una sola multitoma el computador y demás dispositivos auxiliares.

Las características generales de las señales visuales se guían por la Norma Técnica Colombiana NTC – 4596 Señalización para instalaciones y ambientes escolares.

8.3.5. Transporte sostenible

Dentro de la estrategia de transformación en pro del desarrollo urbano sostenible de la Nueva Agenda Urbana aprobada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) las naciones se comprometieron a alentar la interacción y la conectividad entre las zonas urbanas y rurales mediante el fortalecimiento de la movilidad y el transporte sostenibles con inclusión de nuevas tecnologías que hagan posibles los servicios de movilidad compartida (*Nueva Agenda Urbana*, 2016).

En el informe de la Confederación de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo se establece una serie de objetivos para conseguir una movilidad sostenible de los cuales la Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá) dirigirá sus esfuerzos en

- i. Planificación del transporte
- ii. Adopción de planes que favorezcan el transporte público

iii. Fomentar el uso de transportes no motorizados

En apoyo a políticas energéticas basadas en el uso eficiente de la energía favoreciendo el consumo de energías renovables, aumentando la eficiencia energética en los modos de transporte y políticas sociales teniendo en cuenta que el transporte es el medio por el cual las personas pueden acceder al servicio educativo (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014).

La estrategia de transporte escolar sostenible en el municipio de Belén (Boyacá) basa su política en la identificación y clasificación de las necesidades, rutinas y ubicación de los usuarios teniendo en cuenta que por topografía, accesibilidad y aspecto económico solo se cuenta con transportes en modo terrestre y medio carretero a través de incentivos a transportes no motorizados como la movilidad peatonal, la bicicleta y patineta así como alternativas con baja huella de carbono individual como transporte público y escolar o automóvil compartido.

8.3.6. Banco de ideas.

Con el fin de incentivar la participación ciudadana en el marco de cumplimiento de las metas establecidas en los acuerdos que estructuran los objetivos de desarrollo sostenible se plantea la estrategia de banco de ideas de las cuales la administración municipal evaluará la viabilidad de acuerdo a las necesidades ambientales, sociales y económicas del municipio, así como sus alcances y disponibilidad presupuestal y/o alternativas de financiación con otras entidades.

Para la presentación de las propuestas del banco de ideas se contemplan los siguientes ítems.

- i. Título.
- ii. Objetivo.
- iii. Problema o necesidad.
- iv. Alcances.
- v. Metodología.
- vi. Presupuesto.
- vii. Cronograma.

9. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

El agotamiento del modelo energético actual basado en la generación mediante fuentes convencionales, conduce a una etapa de transición hacia energías alternativas convirtiéndose en la única opción factible en satisfacción de necesidades energéticas de países subdesarrollados teniendo en cuenta los siguientes principios (Posso Rivera, 2004; Schallenberg et al., n.d.):

- I. La necesidad de disponer de fuentes energéticas seguras en contraposición a las fuentes fósiles, sumamente sensibles a perturbaciones geopolíticas.
- II. La creciente conciencia colectiva sobre los nocivos efectos ambientales del actual sistema energético, con la consecuente presión sobre los gobernantes e industrias.
- III. El propósito de alcanzar la independencia energética.

Los principales impactos mundiales en la implementación de energías alternativas son: ambientales por la reducción significativa de millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera; financieras con predicciones de un alcance de más de 4 trillones de dólares del mercado global de energía solar en 30 años; estratégica optando por recursos energéticos de menores costos y facilidades de obtención y social por el ritmo acelerado de generación de empleos siendo cinco veces superior al ofrecido por las energías convencionales, así mismo su participación focalizada propia el desarrollo regional (Posso Rivera, 2004).

De acuerdo con el reporte Renewables Global Status “REN21” (2021), para el año 2020, la energía renovable estableció un récord en nueva capacidad de energía, sin embargo, siguen satisfaciendo una baja proporción de la energía para diversos sectores donde el apoyo de políticas públicas sigue siendo crucial para su adopción. Además del compromiso político y la inversión municipal, el logro de los objetivos de energía renovable depende de la capacidad del lugar para adoptar una fuente de energía viable y con potencial de implementación (REN21, 2021).

Tabla 20. Viabilidad primaria de energías alternativas de autogeneración.

RECURSO ENERGÉTICO	TECNOLOGÍA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	ENERGÍA ALTERNATIVA	DISPONIBILIDAD DEL RECURSO	DISPONIBILIDAD DE LA TECNOLOGÍA	VIABILIDAD
ENERGÍA FOSIL	Sistema caldera - turbina	x	✓	✓	x
ENERGÍA NUCLEAR	Fisión	✓	x	x	x
	Fusión	✓	x	x	x
ENERGÍA SOLAR	Solar fotovoltaica	✓	✓	✓	✓
	Solar térmica	✓	✓	✓	✓
ENERGÍA EÓLICA	Onshore	✓	✓	✓	✓
	Offshore	✓	x	✓	x
ENERGÍA DE LA BIOMASA	Procesos bioquímicos	✓	✓	✓	✓
	Procesos termoquímicos	✓	✓	✓	✓

ENERGÍA MINI HIDRÁULICA		Centrales de agua fluyente	✓	x	✓	x
		Centrales a pie de presa	✓	x	✓	x
		Centrales en canal de riego o de abastecimiento	✓	x	✓	x
ENERGÍA MARÍTIMA	ENERGÍA MAREO-MOTRIZ	Presa de marea	✓	x	N/A	x
		Generador de corriente de marea	✓	x	N/A	x
		Energía mareomotriz dinámica	✓	x	N/A	x
	ENERGÍA UNDI-MOTRIZ	Columna de agua oscilante	✓	x	N/A	x
		Convertidor de movimiento oscilante	✓	x	N/A	x
		Sistemas de rebosamiento	✓	x	N/A	x
	ENERGÍA MAREMO-TÉRMICA	Sistemas de ciclo abierto	✓	x	N/A	x
		Sistemas de ciclo cerrado	✓	x	N/A	x
		Sistemas híbridos	✓	x	N/A	x
ENERGÍA GEOTÉRMICA		Plantas de vapor seco	✓	x	✓	x
		Plantas <i>flash</i>	✓	x	✓	x
		Plantas de ciclo binario	✓	x	✓	x

Fuente: Autor.

De acuerdo a la tabla anterior se tomaron los siguientes parámetros discriminantes, dispuestos a cumplir con los objetivos de análisis de viabilidad y disminución de emisiones contaminantes causantes del calentamiento global:

- ✓ Condición de energía alternativa.
- ✓ Disponibilidad del recurso energético.
- ✓ Disponibilidad de la tecnología de generación.

Donde, el primer parámetro se evaluó de acuerdo a la definición de “*Energía alternativa*” de Posso Rivera (2004), careciendo la energía térmica de viabilidad en este estudio.

La disponibilidad del recurso energético se evaluó de acuerdo al estudio “*Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE)*” (Corpoema, 2010) desarrollado por la UPME y CorpoEma en su apartado “*3.3 Potencial de las FNCE*”, donde se descarta la energía nuclear por la ausencia de resultados en las búsquedas de uranio, y la energía marítima y eólica *offshore*, ya que la ubicación del proyecto no se encuentra en zona costera. Así mismo, de acuerdo a los estudios “*viabilidad técnica y financiera para la generación de energía geotérmica en Colombia* (Lozada Prado, 2011)” y “*Análisis de la viabilidad de la hidroelectricidad en Colombia*” (Bacca, 2019), el país cuenta con potencial para la implementación de estas fuentes de energía, sin embargo, el recurso no se encuentra presente en la zona de influencia y en las magnitudes donde sea factible la instalación de estos tipos de tecnologías de generación.

De acuerdo con la UPME y CorpoEma en el estudio “*Elementos de política, riesgos ante el cambio climático, complementariedad entre las FNCE y el SIN, y costos indicativos de las FNCE*” (CorpoEma, 2010), todas las tecnologías en relación están disponibles menos la nuclear, sin embargo, en el documento no se discrimina por cada una de las tecnologías marítimas en mención si no hace una alusión general a la fuente de energía, sin embargo, por la información contrastada en el ítem anterior independientemente de la tecnología usada, es inviable la implementación de esta fuente de energía.

Para este análisis primario de viabilidad se obtuvo que las tecnologías de generación eléctrica viables son: energía de la biomasa con tecnologías de procesos bioquímicos y termoquímicos, eólica *onshore* y la energía solar térmica y fotovoltaica.

9.1. ENERGÍA DE LA BIOMASA

En el marco de la transición energética global, la energía de la biomasa ha estado asociada a una alternativa de bajo costo con el fin de reducir la dependencia del consumo energético de fuentes fósiles, sin embargo, según la FAO, a pesar de los beneficios que esta forma de generación eléctrica puede traer mediante los biocultivos y productos complementarios aprovechados en un sistema adicional, se ha demostrado que las compensaciones por GEI varían en gran medida del producto biocombustible, siendo algunos cultivos, emisores de mayor cantidad de gases en comparación a los combustibles fósiles, además de la generación de emisiones secundarias por transporte tanto de la materia prima como del producto energético y cambio en el uso del suelo (FAO, 2008).

La existencia de residuos alimentación en cada institución educativa representa una oportunidad para la implementación de ésta energía, sin embargo, estos residuos no son suficientes para el abastecimiento de energía eléctrica bajo estos procesos de transformación y para el caso de la Institución Educativa Carlos Alberto Olano Valderrama, el destino de estos residuos es el lombricultivo institucional.

Desde una perspectiva regional, el departamento de Boyacá ha decaído progresivamente su vocación agrícola de antaño (Rodríguez Araújo, 2005), estimulando posibles efectos adversos de la implementación de fuentes de energía de la biomasa en la seguridad alimentaria, provocando una aceleración en el decrecimiento de la producción de alimentos por los mecanismos de elección económica de los proveedores, afectando incluso la dinámica de precios de las despensas locales (Giraldo Ramírez et al., 2014). Lo anterior conduce a una búsqueda en energías alternativas viables donde se reduzca el riesgo de ser impactados indirectamente por su implementación.

9.2. ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica se ha destacado por ser una de las energías que actualmente se ha abierto paso en los mercados mundiales marcando tendencia en cuanto a reducciones en emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ya que logra la generación sin que exista un proceso de combustión, enmarcándose como una energía no contaminante e inagotable (Moreno Cortés, 2013).

De acuerdo con Pinilla S., Álvaro, en su *“Manual de aplicación de energía eólica”* (1997) la determinación precisa del recurso eólico es una tarea incierta por la gran variabilidad de factores y masas, en periodos de tiempo establecidos, donde en terrenos complejos con presencia de montañas, valles, colinas y pasos entre montañas, no existen métodos analíticos para modelar tales flujos. Por ello los medios más acertados de medición del viento son in situ, ya sea mediante herramientas metrológicas como el anemómetro o empíricas como la escala anemométrica de Beaufort (Beaufort, n.d.).

Las condiciones en tierra de Belén (Boyacá) para los horarios pico de consumo energético representados por el horario de la jornada académica (7am – 5pm) alcanza el nivel 3 en la escala de Beaufort *“Banderas semiextendidas, las hojas se empiezan a mover”* se cataloga en el rango de velocidad del viento de 3 a 4 m/s con la denominación de *“Brisa suave”* la cual, según el *“Manual de aplicación de la energía eólica”* (Pinilla, 1997) su implementación no sería viable.

El anterior juicio cuenta con un agravante respecto a los impactos acústicos de la tecnología generadora, también llamadas turbinas eólicas las cuales tienen la peculiaridad de emitir ruidos que no pueden ser mitigados por completo, ocasionando principalmente molestias a las personas y/o colectivos aledaños, relacionándose con padecimientos de estrés, afecciones en el aprendizaje o rendimiento y efectos sobre la presión arterial (Aguilar García et al., 2011), teniendo en cuenta que las dos instituciones educativas se encuentran aledañas a zonas residenciales.

9.3. ENERGÍA SOLAR

9.3.1. Energía solar térmica

Esta tecnología de generación de energía es atractiva ya que cuenta con la capacidad de almacenar energía en forma de calor, generando un respaldo al ocurrir intermitencias en la radiación solar directa, ya que no es susceptible a la generación de energía mediante la radiación difusa (Instituto Mexicano del Petróleo, 2018). Esta opción de generación es viable sin embargo sus costos de implementación superan en gran medida a la tecnología fotovoltaica que han experimentado reducción de costos en 85% para un periodo comprendido entre 2010 y 2020, esto se debe a un crecimiento abrupto de la demanda convirtiéndola en la opción más competitiva y jugando un papel importante en

el número creciente de países que optan por fuentes de generación eléctrica renovable (Members, 2021).

9.3.2. Energía solar fotovoltaica

Por sus condiciones naturales Colombia se ubica en una posición privilegiada respecto a otros países del mundo para desarrollar proyectos de generación de energía solar fotovoltaica (Velasco Muñoz & Calvache, 2019), al contar con un buen potencial energético solar en todo el territorio con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m², propicio para un adecuado aprovechamiento (Piedrahita Florez et al., 2005) reflejado en el aumento de la generación eléctrica mediante el principio de radiación solar.

La energía solar fotovoltaica se considera un nicho de oportunidad importante para el servicio eléctrico nacional debido a los costos decrecientes de esta tecnología, por otra parte, a través de la implementación y masificación de pequeños sistemas de autogeneración se pueden lograr impactos positivos como el autoconsumo, eliminación de riesgos eléctricos y disminución de la volatilidad de costos energéticos, así como beneficios ambientales al producir un desplazamiento marginal de la generación de plantas térmicas de mayor impacto ambiental (González, 2015).

Los beneficios más representativos de la autogeneración eléctrica a pequeña escala son (EPM, n.d.):

- ✓ Reducción del consumo eléctrico de la red.
- ✓ Ahorro en la factura a pagar con el prestador del servicio en interconexión.
- ✓ Posibilidad de venta de energía a la red de interconexión.
- ✓ Disminución de pérdidas en el transporte de energía.

10. ALTERNATIVA SOLAR COMO FUENTE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

10.1. OBJETIVO

Reducir el consumo eléctrico proveniente de fuentes fósiles suministrado por el sistema interconectado nacional y el sistema de distribución local.

10.2. ESTRATEGIA

Integración de la energía solar fotovoltaica como fuente primaria no convencional de energía renovable (FNCER) con base en el análisis de la viabilidad del sitio y especificaciones de las condiciones de instalación, productos y actividades necesarias independientes al plazo de ejecución de la propuesta.

10.3. RECURSO SOLAR DISPONIBLE

Para establecer la radiación que incide en el área destinada para el proyecto se puede acceder a diversas fuentes de información de las cuales se contrastan los datos para obtener resultados confiables que parametrize las condiciones reales del sitio de estudio.

Para este proyecto se usó PVGIS como fuente de información principal. Se cuentan con fuentes de información meteorológicas secundarias como Meteonorm 7.3 y la base de datos de la NASA.

Los datos se obtuvieron con base en la geolocalización suministrada por las coordenadas del parque Los Fundadores en el municipio de Belén (Boyacá) a una altura de 2654 msnm, siendo este un punto de referencia para la extracción de datos que suministra la misma información meteorológica en las dos ubicaciones correspondientes a las instituciones educativas objeto de este análisis.

Tabla 21. Coordenadas de referenciación meteorológica.

Ubicación	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Belén (Boyacá)	05°59'22"	-72°54'47"
Parque Los Fundadores	5.9894	-72.9133

Fuente: Oficina de planeación – Alcaldía Belén (Boyacá).

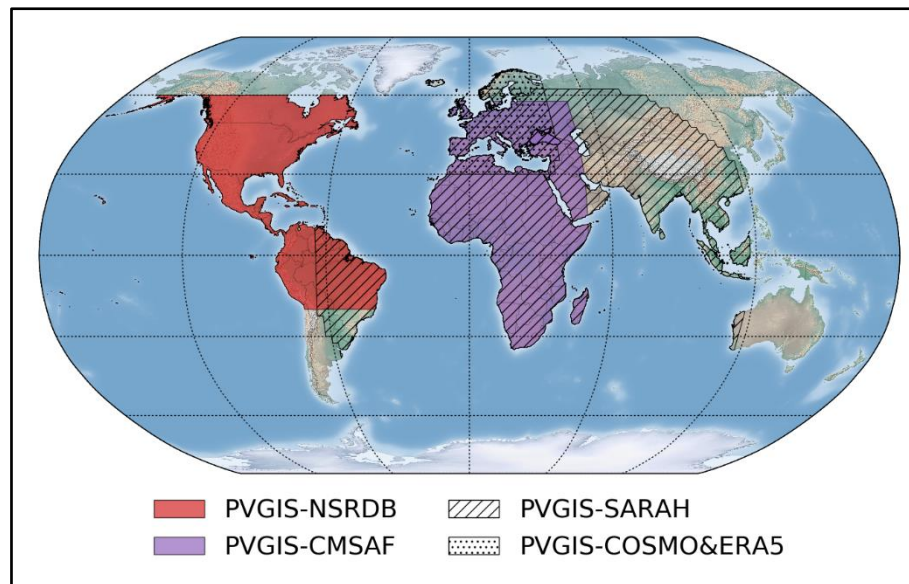
10.3.1. PVGIS

El Sistema de información Geográfico Fotovoltaico o por sus siglas en inglés PVGIS es una aplicación oficial desarrollada por la Unión Europea que proporciona un acceso web gratuito y abierto a los datos de radiación solar, temperatura y a herramientas de evaluación de rendimiento fotovoltaico para cualquier ubicación en Europa y África, así como gran parte de Asia y América. Está disponible en inglés, francés, italiano y español (*Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, n.d.).

PVGIS cuenta con bases de datos que contienen registros distribuidos de acuerdo a la ubicación geográfica de los puntos de interés:

- ✓ PVGIS SARAH: Europa, África, la mayor parte de Asia y partes de América del Sur, 2005 a 2016.
- ✓ PVGIS COSMO: Solo Europa, 2005 a 2015.
- ✓ PVGIS NSRDB: Norteamérica y Sudamérica de 60°N a 20°S. 2005 a 2015.
- ✓ PVGIS CMSAF: Europa y África, 2007 a 2016.
- ✓ PVGIS ERA5: solo Europa, 2010 a 2016.

Imagen 2. Bases de datos PVGIS



Fuente: PVGIS

Por la ubicación del proyecto solo hay información disponible en la base de datos PVGIS NSRDB (The National Solar Radiation Database) de la cual se obtienen los siguientes datos para los años comprendidos entre el 2005 y 2015.

La radiación solar recibida a nivel del suelo, conocida como radiación global, es la suma de tres componentes. El primero, denominado haz o radiación directa, es la fracción de la

radiación solar que llega al suelo sin ser atenuada por la atmósfera y puede modelarse como proveniente directamente del disco solar. La segunda parte o difusa es la radiación solar que llega al suelo después de ser reflejada o dispersada por la atmósfera y se considera que llega desde todo el domo del cielo. El tercer componente, es la radiación reflejada desde la superficie del suelo o los obstáculos cercanos. El componente de haz sólo está disponible cuando el disco solar no está bloqueado por nubes, mientras que el componente difuso está siempre disponible, siendo la única radiación disponible cuando las nubes bloquean el disco solar (SOLARGIS, n.d.). *Anexo D. Informe radiación solar PVGIS.*

Anexo E. Base de datos meteorológica.

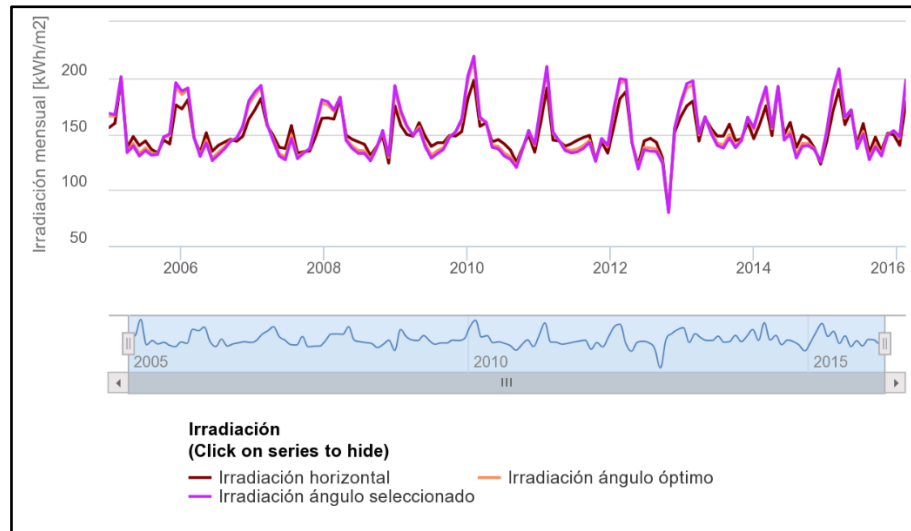
Tabla 22. Irradiación global a diversas inclinaciones.

Irradiación Global							
2005-2015		0°		10°		13°	
Mes	Días	Prom (kWh)	HSP/día	Prom (kWh)	HSP/día	Prom (kWh)	HSP/día
Ene.	31	175.95	5.68	192.72	6.22	192.72	6.22
Feb.	28.5	161.29	5.66	169.69	5.95	169.69	5.95
Mar.	31	164.08	5.29	164.79	5.32	164.79	5.32
Abr.	30	143.47	4.78	139.06	4.64	139.06	4.64
May.	31	147.94	4.77	139.23	4.49	139.23	4.49
Jun.	30	140.38	4.68	130.53	4.35	130.53	4.35
Jul.	31	145.78	4.70	136.32	4.40	136.32	4.40
Ago.	31	137.39	4.43	131.95	4.26	131.95	4.26
Sep.	30	134.45	4.48	132.87	4.43	132.87	4.43
Oct.	31	145.05	4.68	148.51	4.79	148.51	4.79
Nov.	30	143.05	4.77	152.16	5.07	152.16	5.07
Dic.	31	168.99	5.45	186.91	6.03	186.91	6.03
Promedio		150.65	4.95	152.06	4.99	152.06	4.99
Irradiación Max		199.44		215.18		219.31	
Irradiación Min		81.28		80.35		79.81	
HSP Max		6.43		6.94		7.07	
HSP Min		2.71		2.68		2.66	
T max.		25.58					
T min.		6.60					

Fuente: PVGIS

Se contemplan tres inclinaciones: a) 0°, la cual está por defecto; b) 10°, inclinación óptima del sistema fotovoltaico para la latitud donde está situado el municipio de Belén (Boyacá) y c) 13°, ángulo de inclinación de las estructuras donde potencialmente serán instalados los sistemas fotovoltaicos. En la Gráfica 7, la inclinación c corresponde a "Irradiación ángulo seleccionado".

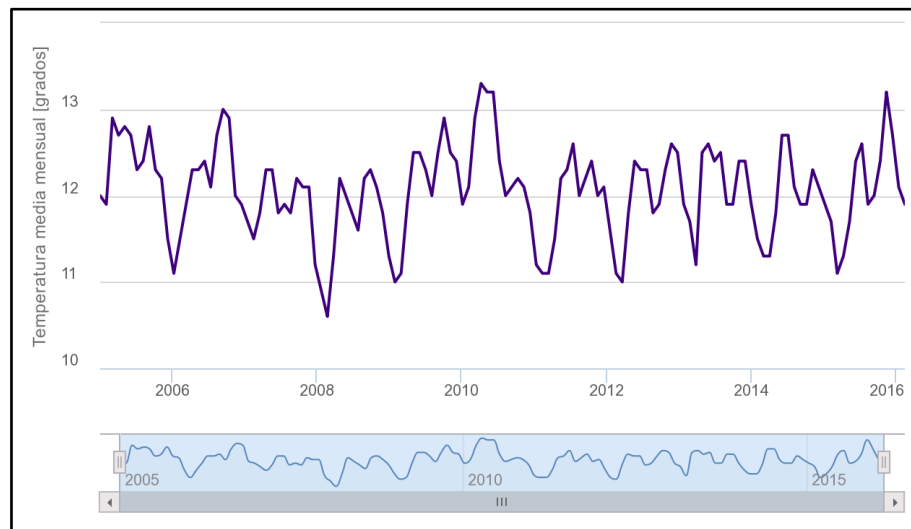
Gráfica 7. Irradiación solar mensual.



Fuente: PVGIS

De acuerdo con los datos obtenidos por PVGIS usando el cálculo de horizonte perteneciente a su base de datos la radiación global en la ubicación con el ángulo óptimo es de 10°.

Gráfica 8. Temperatura media mensual.



Fuente: PVGIS

10.3.2. Meteonorm 7.3 y NASA

Como fuentes de información secundaria para establecer la confiabilidad de los datos se tomaron las bases de datos e Meteonorm 7.3 para el periodo 1998 – 1997 y con la base de datos de la NASA para el periodo de 2005 – 2019, teniendo en cuenta la irradiación promedio mensual sobre una superficie horizontal, es decir 0° de inclinación. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 23. Irradiación global sobre superficie horizontal.

Mes	PROMEDIO (kWh)			ERROR		
	PVGIS	Meteonorm 7.3	NASA	PV vs MET	PV vs NASA	MET vs NASA
Ene.	175.95	172.30	153.44	0.02	0.13	0.11
Feb.	161.29	146.30	144.78	0.09	0.10	0.01
Mar.	164.08	153.20	140.95	0.07	0.14	0.08
Abr.	143.47	146.30	121.34	0.02	0.15	0.17
May.	147.94	147.50	130.57	0.00	0.12	0.11
Jun.	140.38	143.80	118.68	0.02	0.15	0.17
Jul.	145.78	148.70	124.74	0.02	0.14	0.16
Ago.	137.39	147.80	130.11	0.08	0.05	0.12
Sep.	134.45	145.90	137.88	0.09	0.03	0.05
Oct.	145.05	146.90	140.23	0.01	0.03	0.05
Nov.	143.05	138.80	131.16	0.03	0.08	0.06
Dic.	168.99	157.70	148.79	0.07	0.12	0.06
Promedio error				0.04	0.10	0.10

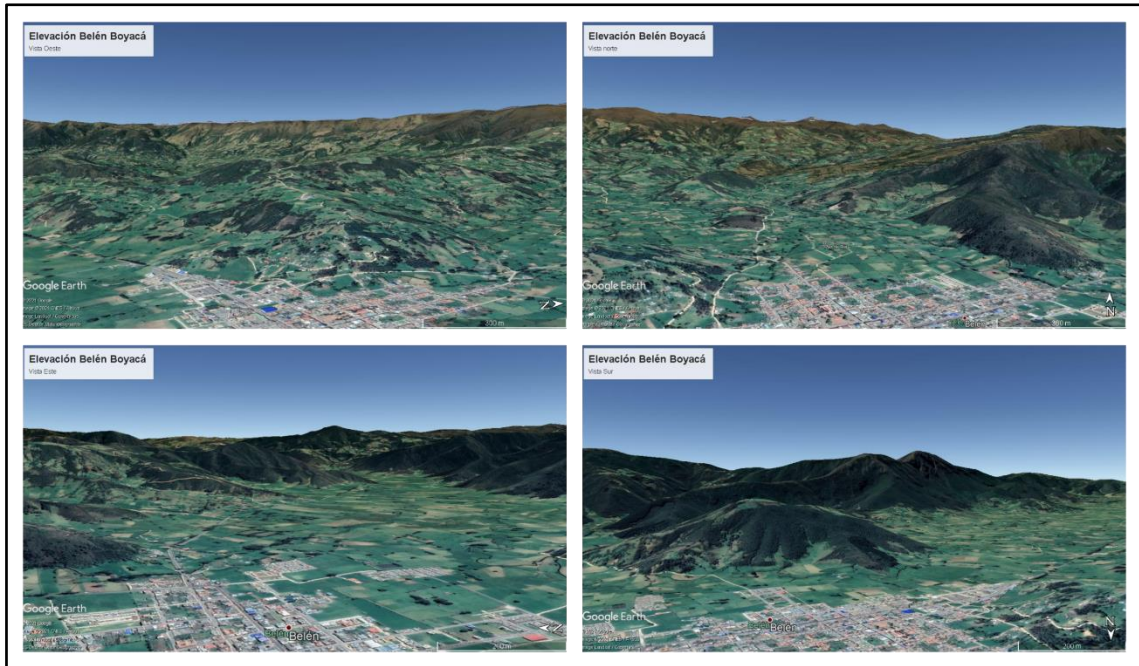
Fuente: PVGIS / Meteonorm 7.3 / NASA

Cada base de datos cuenta con fuentes de información y métodos de interpolación independientes lo que produce incertidumbre en los datos proporcionados por cada aplicativo. De acuerdo al promedio de los errores en los datos mensuales se evidencia la confiabilidad de la información meteorológica dispuesta por PVGIS.

10.4. ANÁLISIS DE SOMBRAS Y ESPACIO DISPONIBLE

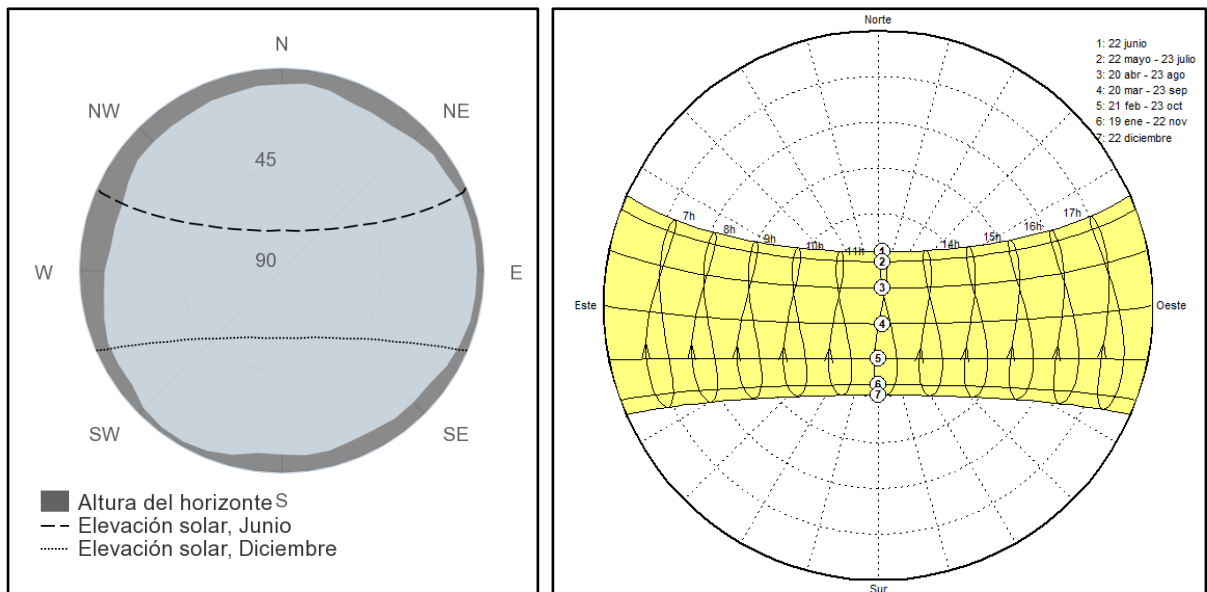
El municipio de Belén (Boyacá) se encuentra sobre las estribaciones de la cordillera oriental identificándose desde el área urbana levantamientos montañosos principalmente el volcán del Tíbet, el alto de Canutos en el cerro tutelar de Caracoles y los picachos nororientales de Ture, El Consuelo y Los Pericos (*Esquema de Ordenamiento Territorial Belén Boyacá*, 2016).

Imagen 3. Relieve panorámico centro urbano.



Fuente: Google Earth

Imagen 4. Perfil del horizonte y carta solar.



Fuente: PVGIS / PVSYST

De acuerdo a la distribución espacial del equipamiento de las instituciones, las áreas disponibles para la instalación de sistemas fotovoltaicos son los techos ya que los

espacios con potencialidad a nivel de suelo son espacios deportivos y corredores estratégicos de movilidad dentro de las instituciones además de contar con espacios en los que por su cercanía a edificaciones no se logra un aprovechamiento efectivo de la radiación por las sombras que estos producen.

Las dos instituciones objeto de este proyecto cuentan con el espacio disponible en sus techos para la instalación de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, es relevante que para todos los arreglos modulares predomine la homogeneidad, tanto en condiciones de orientación e inclinación como en aspectos medio ambientales y potencial de creación de sombras por elementos fijos, además de verificar que las cubiertas cumplan con la resistencia que requiere la instalación.

El espacio disponible en la Institución Educativa Carlos Alberto Valderrama Olano se compone de los techos pertenecientes a las secciones primaria y secundaria, oficinas administrativas y teatro como se ilustra en la *Imagen 5. Espacio disponible I.E.T. Carlos Alberto Olano Valderrama*. Siendo la sección secundaria la que se aprecia en un tono de teja verde claro y el otro bloque se compone de la sección primaria y demás dependencias.

Imagen 5. Espacio disponible I.E.T. Carlos Alberto Olano Valderrama.



Fuente: Google Earth.

La cubierta de la sección secundaria se instaló con teja termo acústica a una sola agua con orientación 60° (E-S); la sección primaria y demás dependencias cuentan con cubierta de Eternit y son a dos aguas con orientaciones paralelas a 63° (N-E) y 63° (S-O), sin embargo, en la zona de dependencias se distribuyen 4 tejados paralelamente a

dos aguas aumentando la posibilidad de generación de sombras para esta área. Por la altura de su infraestructura el cableado, no interfiere con la incidencia de la radiación en los módulos fotovoltaicos, sin embargo, es indispensable la reorganización de aquellos presentes actualmente sobre la estructura donde potencialmente se instalarán los generadores fotovoltaicos.

En la Institución Educativa Susana Guillemín el espacio disponible se compone de los techos de la infraestructura perteneciente a la sección primaria en tono verde claro y la infraestructura central donde se ubica la sección secundaria y demás dependencias.

Imagen 6. Espacio disponible I.E.T. Susana Guillemín.



Fuente: Autor / Google Earth.

La sección primaria tiene una cubierta en teja termo acústica, en dirección 60° (O-N), la edificación central tiene cubiertas a dos aguas en teja de Eternit a dos aguas predominando orientaciones paralelas a 0° (N) y 0° (S) y áreas reducidas a una y dos aguas con orientaciones de 0° (E) y 0° (O). Por la altura de su infraestructura el cableado, no interfiere con la incidencia de la radiación en los módulos fotovoltaicos, sin embargo, es indispensable la reorganización de aquellos presentes actualmente sobre la estructura donde potencialmente se instalarán los generadores fotovoltaicos.

10.5. POTENCIA FOTOVOLTAICA

Teniendo en cuenta las circunstancias, hábitos de uso y prestación del servicio educativo presencial de las instituciones educativas se proponen ciertas condiciones y especificaciones para el diseño y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos que parten desde la potencia demandada.

Los sistemas fotovoltaicos a instalar se contemplan como alternativa de suministro eléctrico mayoritario en las instalaciones de las instituciones educativas por ello será un sistema interconectado a la red eléctrica cumpliendo con las metas de reducir la dependencia de uso de fuentes fósiles de energía eléctrica y asegurar el suministro de energía eléctrica sin cortes ni interrupción del servicio incluso en horarios en los que no se contemple el uso de energía fotovoltaica.

Por lo anterior y teniendo en cuenta el horario de prestación del servicio educativo contemplado entre 7 am a 5 pm, tiempo en el que se presenta la mayor parte de irradiación se descarta el uso de baterías que cumpla la función de almacenamiento a razón del suministro soporte proporcionado por la interconexión a la red eléctrica convencional.

La potencia fotovoltaica requerida para los sistemas se halla teniendo en cuenta el promedio de rendimiento fotovoltaico relacionada a la irradiación y a la hora pico solar, sin contemplaciones de porcentaje de excedente de seguridad ya que el sistema está orientado a cumplir con el mayor porcentaje de suministro sin generar excedentes eléctricos representados en potenciales pérdidas de recurso energético no aprovechado.

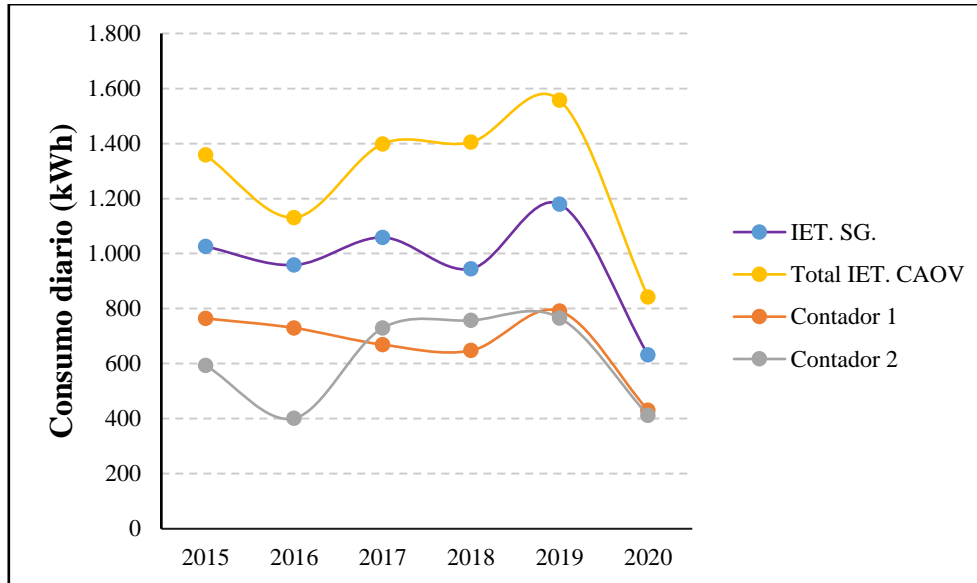
Para el cálculo de la potencia a instalar se tiene en cuenta el valor de irradiación global mensual, el cual, de acuerdo con la Tabla 22. Irradiación global a diversas inclinaciones. para las tres inclinaciones se tienen valores similares que para cálculos prácticos en todos los casos se tomarán 121 horas equivalentes de brillo solar (h_s) ya que, aunque no se pretende la instalación de sistemas autosuficientes si se busca disminuir en gran medida la dependencia a la red eléctrica. El segundo factor a considerar es el consumo mensual asociado a una potencia horaria en kWh (P_h).

El cálculo de la potencia fotovoltaica mínima requerida (M_{FV}) se realizó mediante la siguiente ecuación:(Obando Paredes, 2014)

Ecuación 13. Potencia fotovoltaica requerida.

$$M_{FV} = \frac{P_h}{h_s}$$

Gráfica 9. Consumo mensual histórico.



Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que el consumo eléctrico diario experimenta incrementos anuales de acuerdo a lo observado en el registro histórico se toma como referencia el valor de consumo correspondiente al año 2019 descartando los datos del año 2020 por la anomalía producto de factores externos de confinamiento a causa de pandemia por covid – 19.

Tabla 24. Potencia a instalar.

CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL									POTENCIA FOTOVOLTAICA
PERIODO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MAX		(Kw)
CONSUMO DIARIO (kWh)	IET. SG.	1.026	959	1.059	945	1.180	632	1.180	9,7
	Total, IET. CAOV	1.358	1.131	1.399	1.405	1.557	843	1.557	12.8
	Contador 1	765	730	669	648	791	431	791	6.5
	Contador 2	594	401	729	757	766	412	766	6.3

Fuente: PVGIS / Meteonorm 7.3 / NASA

De acuerdo a la Resolución 281 del 2015, la capacidad a instalar de este proyecto, se cataloga en sistemas de autogeneración a pequeña escala al no superar el límite máximo de potencia de un (1) MW.

10.6. INSTALACIÓN

De acuerdo con el RETIE las instalaciones eléctricas son los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como, conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un

sistema eléctrico y que se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica.

Los requisitos del *RETIE* aplican a las instalaciones eléctricas construidas con posterioridad a la entrada en vigencia del mismo (1° de mayo de 2005), así como a las ampliaciones y remodelaciones como es el caso actual, las cuales se enmarcan en prescripciones técnicas de obligatorio cumplimiento en Colombia.

La conformidad de la instalación consta de:

- a) Toda instalación objeto del *RETIE* debe demostrar su cumplimiento mediante la Declaración de Cumplimiento suscrita por quien realice directamente la construcción, la remodelación o ampliación de la instalación eléctrica.
- b) El Operador de Red, el comercializador de energía o quien preste el servicio en la zona, no debe energizar la instalación ni suministrar el servicio de energía, si el propietario o tenedor de la instalación no demuestra la conformidad con el *RETIE*.
- c) En el evento que se energice una instalación que no demuestre su conformidad con el presente reglamento, la empresa que preste el servicio será la responsable por los efectos que se deriven de este hecho.
- d) Los responsables de ampliaciones o remodelaciones que no cumplan con los requisitos establecidos en el *RETIE* exponiendo en alto riesgo o peligro inminente la salud o vida de las personas, también deben ser investigados y sancionados por el ente de control y vigilancia competente.

Los componentes requeridos para la instalación de un sistema fotovoltaico dependen de la finalidad con la cual se proyecte su diseño y las necesidades a las cuales desee satisfacer el montaje.

En la elección de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica interconectados a la red se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ✓ La existencia de conexión a red eléctrica disponible.
- ✓ La pretensión en la disminución en la dependencia de energías de fuente fósil.
- ✓ El aseguramiento del suministro eléctrico en periodos de tiempo donde la generación fotovoltaica no sea óptima.
- ✓ La reducción de costos en sistema de almacenamiento.

Imagen 7. Sistema de generación fotovoltaico conectado a red.



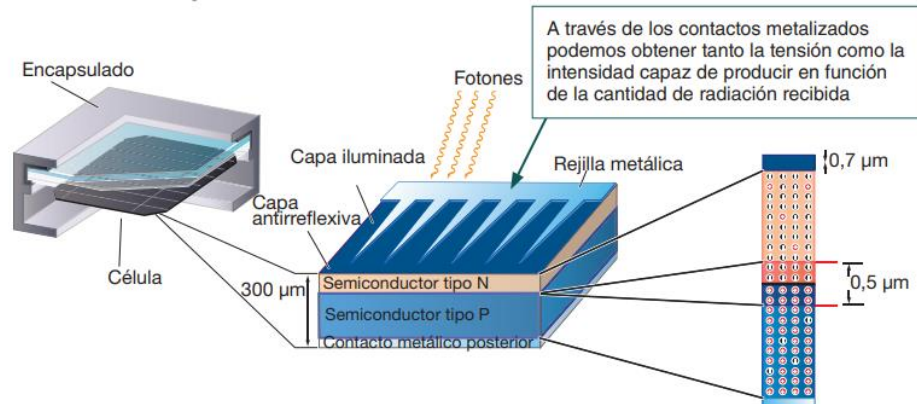
Fuente: inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica (Cárdenas et al., 2019).

Los componentes y/o productos para la instalación de los sistemas fotovoltaicos referenciados en la *tabla 2.1* del apartado 2.3 *Productos* del *RETIE* deben dar cumplimiento al mismo reglamento en mención, mediante un certificado de conformidad del producto. A continuación, se establecen las generalidades y parámetros para los sistemas generadores de acuerdo a la necesidad actual.

10.6.1. Panel fotovoltaico

El elemento principal de cualquier instalación de energía es el generador, que para el caso de la energía solar es la célula o celda fotovoltaica, encargada de convertir los fotones provenientes de la luz del sol directamente en electricidad (Fotovoltaicos, 2015).

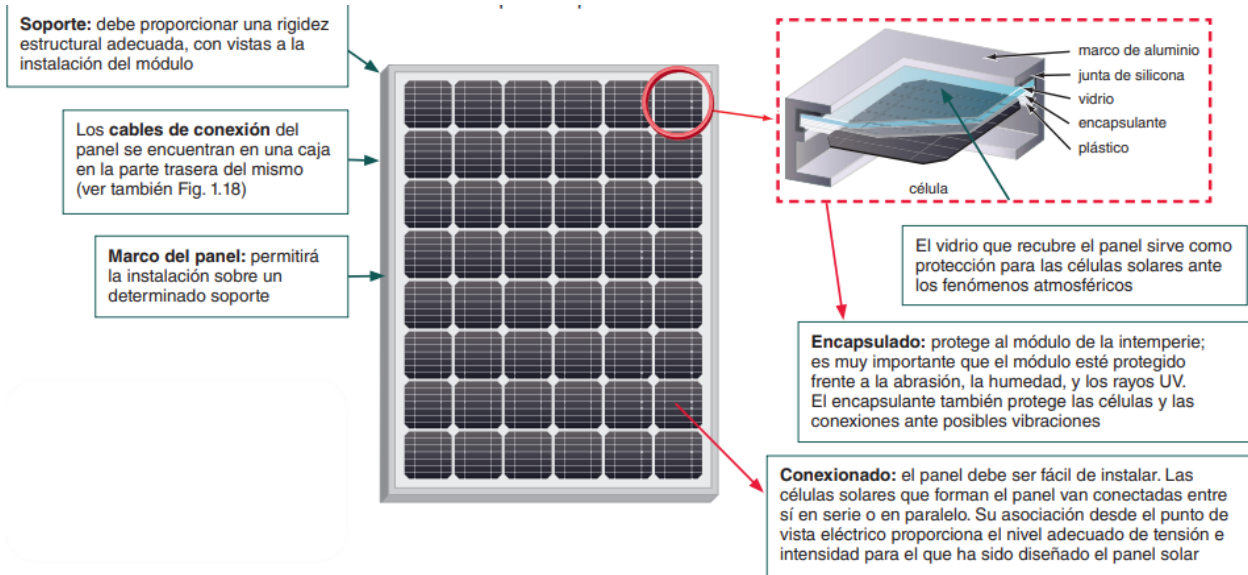
Imagen 8. Estructura de una celda solar.



Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).

Un conjunto mínimo de estas celdas solares ambientalmente protegidas con componentes ópticos diseñados para la generación de energía bajo la luz solar se conoce como módulos, que se unen mecánicamente, alambrados y diseñados para proporcionar una unidad instalable en el sitio conocido como panel (Fotovoltaicos, 2015).

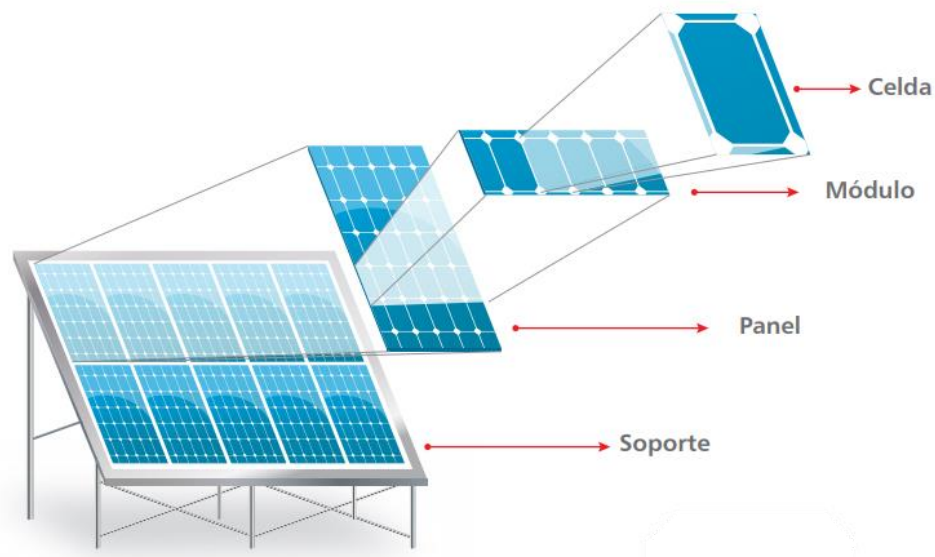
Imagen 9. Constitución de un panel solar.



Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).

Un panel solar fotovoltaico está formado por la interconexión de células solares encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco en serie y paralelo. En su salida de conexión proporciona una tensión continua y se diseña para valores concretos de tensión (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).

Imagen 10. Esquema de un conjunto fotovoltaico.



Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).

Las características físicas del panel fotovoltaico dependen mucho del tipo de tecnología que se utilice, la más comercial son las de tipo silicio cristalino.

10.6.1.1. Recomendaciones

- a) La elección del fabricante del panel solar se rige por la “bancabilidad” de los desarrolladores, es decir a los financiamientos de entidades que garanticen la existencia de la marca al término de cumplimiento de su garantía. Los aspectos objeto de análisis por estas entidades financieras son: a) Desarrollo de productos de alta calidad; b) Estabilidad financiera de la marca; c) Responsabilidad empresarial e imagen; d) Capacidad de producción y e) Cantidad de proyectos realizados (Barros Cárdenas & Constanzo Zuñiga, 2017). De Acuerdo con el proveedor de información británico IHS Markit, para el 2020 estos fueron los fabricantes de mayor suministro anual de paneles solares.

Tabla 25. Ranking 2020 fabricantes de paneles solares.

COMPAÑIA	RANKING vs 2019	
LONGI Green Energy Technology	↑	+4
Jinko Solar	↓	-1
Trina Solar	=	0
JA Solar	↓	-2
Canadian Solar	↓	-1
Hanwha Q CELLS	=	0

Risen Energy	=	0
Astronergy	↻	+1
First Solar	↻	-1
Suntech Power	↻	+1

Fuente: IHS Markit (*Solar PV Module Industry in 2020: Acceleration of Manufacturing Concentration and a New Annual Shipment Record*, 2020).

- b) Las tecnologías ideales para estas instalaciones son las de tecnología monocristalina que de acuerdo a los ensayos realizados basados en la estructura del material representó una eficiencia de 9.22% frente a 7.94% de la tecnología policristalina representando beneficios comparativos en condiciones de nubosidad además de contar con un índice inferior de deterioro a largo plazo (Hidayanti, 2020).
- c) El cálculo de la distribución de los paneles se debe realizar mediante: a) un software especializado como PVsyst, Solarius PV, etc; b) Cálculo manual mediante la siguiente expresión

Ecuación 14. Número de paneles fotovoltaicos.

$$No. \text{ de paneles} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del panel}}$$

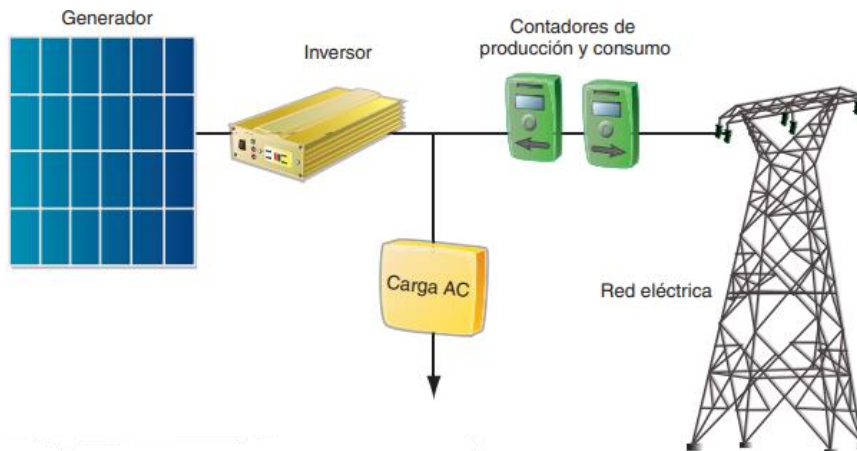
Este cálculo se realiza con referencia de la Tabla 24 y la potencia del componente debidamente enunciado en sus especificaciones.

- d) Distribución de series de igual número de paneles cuando la instalación sea a una única entrada de MPPT, sin embargo, si se opta por la elección de un inversor de dos MPPT para garantizar que el sistema y los arreglos modulares que se instalen trabajen a la potencia óptima de acuerdo a las condiciones de sombras por nubosidad y temperatura de manera independiente para evitar los puntos calientes y decaimiento de la potencia en los paneles, la distribución de las series de paneles debe ser de igual número pero trabajando cada MPPT independiente.

10.6.2. Inversor

Es un equipo electrónico capaz de transformar la corriente Producida por las placas solares (continua) en corriente útil para el consumo (alterna) haciendo las veces de convertidor adecuando la onda y la frecuencia habilitándola para su uso, además de optimizar el rendimiento de los paneles solares mediante el seguimiento del punto de máxima potencia, monitorizar el funcionamiento de la instalación y proteger a la red y al campo fotovoltaico en caso de sobretensiones o cortocircuitos del lado contrario (Pérez, 2020).

Imagen 11. Inversor en instalación fotovoltaica conectada a red.



Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).

Los inversores solares tienen unas dimensiones de aproximadamente 50-70 x 40-60 cm (en función del modelo), por lo que pueden ser fácilmente instalados. Asimismo, estos componentes no suponen ningún tipo de riesgo para las personas.

10.6.2.1. Recomendaciones

- a) Alta eficiencia, buen funcionamiento para un amplio rango de potencias y evitar afectaciones por asociación de paneles en serie y paralelo (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- b) La potencia pico del campo fotovoltaico no debe ser menor a la potencia nominal del inversor.
- c) Bajo consumo en vacío, es decir, cuando no hay cargas conectadas. (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.)
- d) Protección contra cortocircuitos (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- e) Alta fiabilidad, resistencia a los picos de arranque (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- f) Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida, que sea compatible con la red eléctrica (onda senoidal) (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- g) La selección del inversor se realiza con base al voltaje de red del sitio y la potencia requerida para cubrir la necesidad. Dicha potencia referida en la Tabla 24.

- h) No se contempla el uso de microinversores ya que para cubrir la potencia demandada en cada uno de los puntos de suministro se requerirían una gran cantidad de los mismos que supera en número y en coste a la utilización de un único inversor de mayor potencia.
- i) Debido a que se proyectan instalaciones conectadas a red, los inversores de los proyectos deben proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica, tanto en forma como en valor eficaz y sobretodo en frecuencia; no se permiten variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- j) El inversor debe contar las mínimas protecciones generales: interruptor automático, funcionamiento “en isla”⁶, limitador de tensión máxima y mínima, limitador de frecuencia máxima y mínima⁷, protección contra contactos directos, protección contra sobrecarga, protección contra cortocircuito y bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, n.d.).
- k) El estado de funcionamiento sea reflejado en indicadores luminosos o en pantalla, además, que ofrezca la posibilidad de ser monitorizado desde un ordenador.

10.6.3. Protecciones

Son aquellos equipos, dispositivos y/o sistemas integrados que prevén los daños en los equipos principales del sistema fotovoltaico además de garantizar el cumplimiento del tiempo de vida útil de los mismos, así como proporcionar seguridad al personal encargado del mantenimiento y la operación (Cornejo Lalipú, 2013).

10.6.3.1. Protección contra sobrecorriente

Los circuitos de fuentes fotovoltaicas, de salida fotovoltaica, de unidades de acondicionamiento de energía y equipos deben estar protegidos contra sobrecorriente, se debe tener en cuenta la posible retroalimentación de corriente a partir de cualquier fuente de energía, incluida la entrada a través de una unidad de acondicionamiento de energía hasta el circuito de salida fotovoltaico y los circuitos de las fuentes fotovoltaicas, acorde a la norma NTC 2050.

⁶ Contar con un dispositivo para evitar la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado umbral.

⁷ Margen de 2%

10.6.3.2. Interruptor diferencial

Forman parte del sistema fotovoltaico en el lado de corriente alterna deberán contar con protección diferencial y protección magnetotérmica. La protección magnetotérmica será tetrapolar ya que se cuentan con instalaciones trifásicas. La intensidad de cortocircuito del magnetotérmico debe ser superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. Para su selección es importante (Barros Cárdenas & Constanzo Zuñiga, 2017):

- a) Considerar un 25% de sobrecarga para dimensionar el interruptor.
- b) La corriente nominal del interruptor debe ser mayor a la corriente nominal aplicada la sobrecarga y a la vez debe ser menor a la corriente admisible del conductor que alimenta la carga.

$$I_{\text{Nominal}} \times 1,25 < I_{\text{Interruptor}} < I_{\text{Admisible}}$$

I_{Nominal} : es la corriente nominal que el inversor entrega en corriente alterna, hacia las protecciones.

$I_{\text{Admisible}}$: es la corriente del conductor entre el inversor y las protecciones en corriente alterna.

10.6.3.3. Sistemas de medida y control

Son aquellos que dan una idea de las magnitudes eléctricas que rigen el sistema fotovoltaico. Generalmente estos equipos se componen de alarmas acústicas que alertan en caso de producirse una descarga importante. Este tipo de señales son introducidas en las instalaciones de telecomunicación a los sistemas de transmisión para dar señal de fallo en el centro de recepción de señales remotas, y de esta forma detectar posibles averías con anterioridad a que se produzcan (*Guia Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas.*, 2010). Son indispensables en sistemas conectados a red ubicado a la salida del inversor que marque frontera en el sistema de autogeneración y a red de distribución (Cornejo Lalipú, 2013).

10.6.3.4. Interruptores horarios

Estos aparatos son muy utilizados en aquellos casos donde necesitamos una serie de maniobras (conexiones y desconexiones) de una forma automática, dado que la instalación está normalmente desatendida. La discontinuidad en el tiempo de operación de los sistemas fotovoltaicos con interruptores incorporados confiere más utilidad a toda la instalación (*Guia Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas.*, 2010).

10.6.3.5. Temporizadores

Muchas instalaciones fotovoltaicas requieren temporizar su funcionamiento por las mismas necesidades, requerimientos energéticos o capacidad del sistema o los equipos. Para ello son utilizados dos tipos de temporizadores, uno que limita siempre el mismo tiempo de uso y otro en el que este tiempo puede ser variado a voluntad (*Guía Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltáicas.*, 2010) estos son los temporizadores a tiempo fijo y a tiempo variable correspondientemente.

10.6.3.6. Recomendaciones

- a) Ubicarse donde sean fácilmente accesibles.
- b) Ser accionables desde el exterior sin que el operador se exponga al contacto con partes energizadas.
- c) estar claramente rotulados para indicar cuándo están en posición de abierto o cerrado
- d) Tener una corriente nominal de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y para la corriente disponible en los terminales de línea de los equipos.

10.6.4. Estructura de soporte

La estructura soporte, asegura el anclaje de los paneles fotovoltaicos y proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación, siendo los encargados de hacer a los módulos y paneles fotovoltaicos resistentes a la acción ejercida por los elementos atmosféricos (*Guía Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltáicas.*, 2010).

10.6.4.1. Cubierta

En las cubiertas de las instituciones educativas además de asegurar la resistencia para la instalación de los sistemas fotovoltaicos, también deben tener características seguras para el tránsito y trabajo de instalación y mantenimiento. Resaltan dos aspectos fundamentales: resistencia de la estructura y resistencia de las tejas, donde de acuerdo con el análisis de espacio disponible, la instalación es posible en cubiertas de teja termo acústica y de Eternit.

Aunque el objetivo principal de las tejas en cualquier instalación y material es la protección de interiores ante las condiciones medioambientales producidas en la zona y no la instalación de pesos adicionales sobre ellas, es factible la instalación segura de sistemas fotovoltaicos asegurados directamente a la teja ya que el peso de los paneles

no supera los 0.5 kN/m² y mayor parte de los fabricantes ejecutan las carcasas en aluminio para disminuir esta propiedad (Arroba Fernandez, 2009).

Para las cubiertas en teja de Eternit o asbesto-cemento la carga mínima de rotura desde la categoría A – Ondas pequeñas, hasta D – Ondas profundas se ilustran en la siguiente tabla.

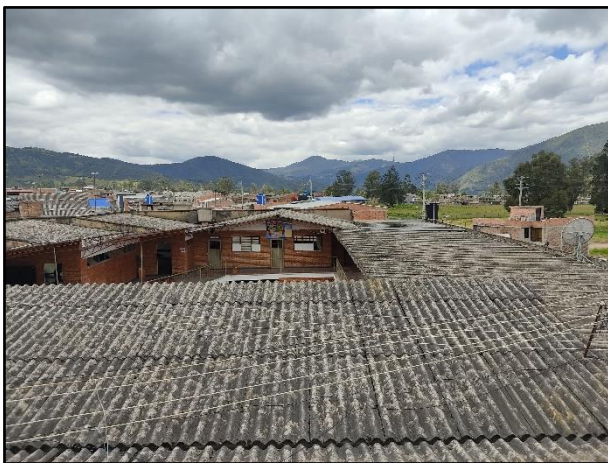
Tabla 26. Carga mínima de rotura N/m².

Clase	1	2	3
A	1500	1200	800
B	2500	2000	1800
C	4250	3500	3000
D	6500	5000	4250

Fuente: NTC 160(Placas Onduladas de Asbesto. NTC 160., 1999).

El techo de Eternit en las instituciones educativas es de categoría C – ondas grandes, con un alto entre 47 – 60 mm y se desconoce su clase, sin embargo, para esta categoría y teniendo en cuenta el peso ejercido por los paneles y demás componentes fotovoltaicos el techado se ubica en un rango muy aceptable de resistencia a la flexión y rotura, así mismo es indispensable que las tejas estén debidamente ancladas a la estructura.

Imagen 12. Cubiertas en teja de Eternit.





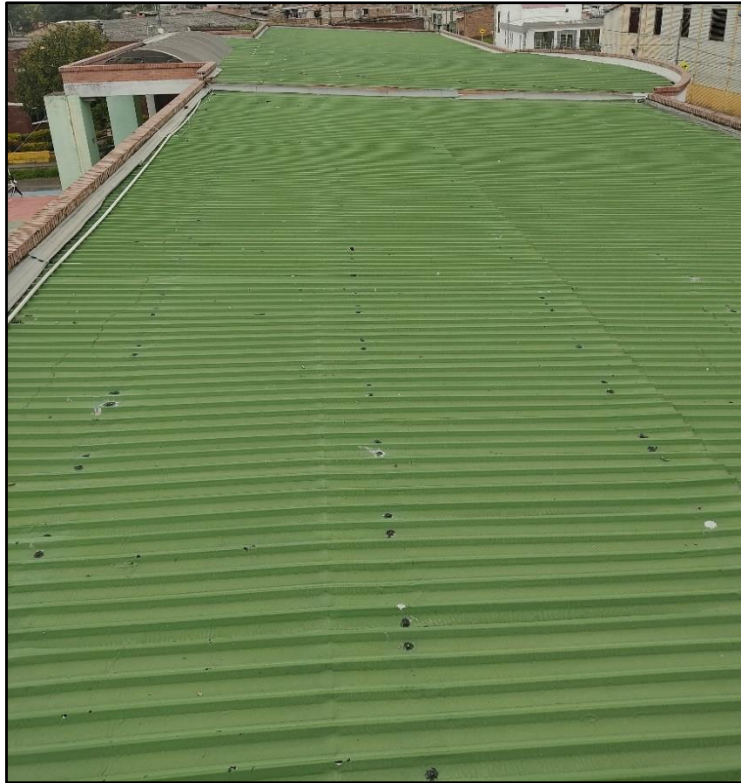
Fuente: Autor.

Para las cubiertas de teja de Eternit ondulada se tienen en cuenta las siguientes recomendaciones de instalación (Instalaci & Perfil, n.d.):

- ✓ Para la fijación en teja ondulada los tornillos deben ir en la cima de la onda y no en el canal de la onda, para evitar el paso de agua.
- ✓ No perforar con puntillas.
- ✓ Los elementos de fijación se deben ajustar de manera que no ejerzan demasiada presión sobre las tejas.
- ✓ Recubrir cabezas de tornillos con sellante adecuado.

Para el caso de la teja termoacustica se hace necesaria la instalación de un soporte estructural entre los apoyos (cerchas) u otro tipo de soporte que brinde resistencia adicional para que además de soportar el sistema fotovoltaico sea segura para la instalación del mismo y el mantenimiento ya que por su material y fines no actúa como soporte estructural de acuerdo a la capacidad de carga en la ficha técnica correspondiente a las tejas existentes. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Imagen 13. Cubierta en teja termoacustica



Fuente: Autor.

10.6.4.2. Viento

La influencia del viento en la estructura depende directamente del área que se emplea en la instalación y de la velocidad media del viento en la zona. La fórmula que expresa la presión máxima del viento es (*Guía Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas.*, 2010):

Ecuación 15. Presión máxima del viento.

$$p = F/S$$

$$F = 0.11 \times V^2 \times S$$

F: Fuerza del viento en Kp

V: Velocidad del aire en m/s

S: Superficie receptora en m²

P: presión del viento en kp/m²

Tener en cuenta la presión del viento es fundamental para el diseño de la estructura de soporte como de los materiales de construcción de la misma. Si el anclaje de los paneles fotovoltaicos requiere adecuación de la inclinación y/u orientación mediante estructura es fundamental prever un espacio de circulación de aire de al menos dos centímetros para disminuir la presión sobre los módulos.

10.6.5. Cableado y caja de conexiones

Están diseñados para alimentar circuitos en instalaciones de energía solar fotovoltaica, en donde se requieran características de resistencia a la intemperie. La selección de los componentes y materiales debe realizarse conforme las condiciones de instalación de la zona, siendo así prioritario la protección de elementos que se encuentren a la intemperie ya que son más susceptibles al desgaste y avería (Fotovoltaicos, 2015).

10.6.5.1. Recomendaciones

- a) Uso de caja de conexiones estanca o capuchones de goma para evitar cortocircuitos en el sistema por humedad del aire y posibles lluvias (*Guía Técnica de Aplicación Para Instalaciones De Energías Renovables Instalaciones Fotovoltaicas.*, 2010).
- b) Cumplir con la prueba de no propagación de incendios
- c) Cumplir con pruebas de impacto y doblez al frío a -40°
- d) Resistencia a la gasolina y aceites
- e) Resistencia a la luz solar

10.7. MANTENIMIENTO

La verificación del estado y el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos a corto mediano y largo plazo de modo periódico es la vía más efectiva de control de daños, reducción de costos imprevistos y rendimiento del sistema de autogeneración que pueden ser efectuadas por parte del mismo sistema mediante sus componentes de monitoreo y control o mediante la asistencia de servicios técnicos especializados. Estos mantenimientos pueden tener naturaleza preventiva o correctiva (Cornejo Lalipú, 2013).

10.7.1. Mantenimiento a cargo del usuario

Las acciones aquí referidas son a cargo del usuario, consumidor final o administrador del sistema (Cornejo Lalipú, 2013).

- a) **Supervisión.** Verificación periódica continua del funcionamiento normal y correcto de equipos y elementos de consumo energético suministrado por el sistema fotovoltaico.
- b) **Limpieza.** Eliminación de material particulado libre o en acumulación instalada por las condiciones ambientales sobre la superficie fotovoltaica de los paneles, así como eliminación de hierbas, ramas o cualquier otro elemento que además de perjudicar la infraestructura física, genere sombras sobre el campo generador.
- c) **Detección.** Comprobación visual del campo fotovoltaico como de la fijación correcta del soporte a la infraestructura.
- d) **Comunicación.** Transmisión de información al servicio técnico en caso de evidenciar averías y/o funcionamiento incorrecto o anormal del sistema.

10.7.2. Mantenimiento a cargo del servicio técnico.

Se requiere la realización de un mantenimiento técnico periódico de índole preventivo en donde se realicen como mínimo las siguientes acciones:

- a) **Medición.** Verificación de los valores de tensión e intensidad en cada una de las ramas del sistema fotovoltaico, determinando fallos en la fuente generadora, conductores, conexiones, etc.
- b) **Verificación.** Fijación correcta de la estructura de soporte fotovoltaico, reajuste de partes desarmables y revisión del estado general del sistema, protecciones y sistemas de emergencia
- c) **Caracterización.** Parametrización de la frecuencia y tensión de salida de la onda en corriente alterna del inversor.

De igual manera se debe realizar el mantenimiento técnico tras los hallazgos identificados en el mantenimiento a cargo del usuario.

10.7.2.1. Mantenimiento preventivo

Debe programarse con una periodicidad no mayor a un año, en el cual se evaluarán que las condiciones físicas y de funcionamiento sean aceptables dentro de las condiciones de ambiente y tiempo transcurrido mediante la revisión de protecciones eléctricas, tomas a tierra, conexiones, paneles e inversor tanto su funcionamiento como sistema de alarma.

10.7.2.2. Mantenimiento correctivo

Se realizará tras el hallazgo de averías tanto por los usuarios como por el personal técnico en el mantenimiento preventivo, este se debe realizar y/o atender en un plazo máximo de 15 días para evitar escenarios de potenciales daños mayores.

11.RECURSOS

La financiación de las estrategias enmarcadas en el presente documento está sujeta a la verificación objetual y técnica de la necesidad identificada por entes gubernamentales o debidamente requerida por las instituciones educativas en el marco de referencia de las voluntades de financiación de las diversas entidades públicas y privadas mediante regalías, acuerdos, bancos de proyectos, contratos, postulaciones entre otras, que, directa o indirectamente interfieren en cualquiera de los componentes objeto de mejora y consecución de la disminución de emisiones por uso de fuente de energía fósil aquí descritas. *Anexo F. Cotizaciones.*

12. CONCLUSIONES

El ambiente socioeconómico departamental, así como las directrices gubernamentales desde la construcción hasta la prestación del servicio de instituciones educativas ha influido directamente tanto en la infraestructura como en el enfoque del estándar educativo en el municipio de Belén (Boyacá), que, de acuerdo a los parámetros de diseño y adaptación a los servicios ofrecidos en el sector, las instituciones educativas públicas urbanas cuentan con un suministro de energía eléctrica por parte del SIN⁸ a través de la Empresa de Energía de Boyacá - EBSA S.A. E.S.P., los cuales obtienen la energía principalmente de fuentes hidroeléctricas y termoeléctricas, dotando a los centros educativos de una dependencia de energía eléctrica convencional. La demanda eléctrica total para el año 2019 de la *Institución Educativa Técnica Carlos Alberto Olano Valderrama* y la *Institución Educativa Técnica Susana Guillemín* fue de 1,5 y 1,2 MWh correspondientemente.

Los factores que influyen en el consumo de energía eléctrica con potencial de generación de emisiones en las instituciones educativas son: (i) la dependencia al 100% del Sistema interconectado nacional, (ii) una infraestructura y diseño de interiores que no potencializa el confort visual creando la necesidad del uso de luz artificial, (iii) La falta de mantenimiento en redes y aparatos eléctricos que propician las pérdidas de energía hasta su uso final y (iv) la falta de información y cultura del ahorro como estrategia de adaptación a las condiciones atmosféricas actuales y de cambio climático.

Los componentes clave en la disposición de espacios de confort visual principalmente en interiores de las instituciones educativas objeto de este estudio fueron: ventanales, paredes y pisos de igual manera se orientó a garantizar el mínimo consumo eléctrico mediante dispositivos y aparatos con baja demanda eléctrica tales como luminarias, además del mantenimiento de las redes eléctricas. Para el caso de estudio, se evaluaron los bombillos incandescentes presentes en las dos instituciones educativas que, en términos generales, el cambio de tecnologías representaría un ahorro del 40% del consumo total por luminarias incandescentes representados en 195,8 kWh y \$109.670,4 mensuales para la Institución Educativa Carlos Alberto Valderrama y en 279,4 kWh y \$144.149,76 mensuales en la Institución Educativa Susana Guillemín.

De acuerdo al contexto municipal y al escenario actual en el mercado de energías alternativas renovables se resolvió la autogeneración como estrategia de adaptación al cambio climático siendo la energía solar fotovoltaica la que se ajusta a las condiciones tanto atmosféricas como de instalación en los planteles educativos que, como se menciona en los *Anexo F. Cotizaciones*.

⁸ Sistema interconectado nacional.

se dejarían de emitir 1.9 toneladas de CO₂ aproximadamente tras la implementación de tres sistemas fotovoltaicos conectados a red para un autoconsumo del 90%. Cabe resaltar la energía de la biomasa y solar térmica como opciones viables con cierto grado de desfavorabilidad frente a la tecnología solar fotovoltaica.

Transversalmente a las estrategias materiales se promueve la formación educativa en dos líneas de aprendizaje, la primera de cultura del ahorro energético como medida de adaptación al escenario actual de variabilidad climática y la segunda de desarrollo de habilidades de ciencia, tecnología e ingeniería como incentivo de aprendizaje e investigación interdisciplinar logrado a partir de alianzas público privadas entre los sectores ubicados en el territorio donde se permita la réplica de información a otros sectores y empresas.

Finalmente, la ejecución de las propuestas se generarán beneficios regionales adicionales como el aumento de las oportunidades de empleo, promoción de la innovación, posicionamiento de técnicas de construcción y diseño, acceso a incentivos tributarios y opciones de diversificación en actividades productivas en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar García, M. J., Velarde Suarez, S., & Argüelles Díaz, K. M. (2011). *El impacto acústico de las turbinas eólicas sobre las personas y colectivos: métodos de evaluación y control*.
[https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/4214/TFM_María José Aguilar García.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/4214/TFM_María_José_Aguilar_García.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, & Universidad Nacional de Colombia. (2019). *Informe de formulación del Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburra 2019-2030*. Impresos Begón S.A.S.
- Arias Becerra, D. F., & Martínez Gómez, K. S. (2019). *Evaluación de la viabilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la notaría única de San Luis de Gaceno, Boyacá* (Vol. 52). Universidad Libre.
- Arroba Fernandez, M. (2009). *Integración arquitectónica de algunas energías renovables. Impacto estructural*.
- Bacca, O. (2019). Análisis de la viabilidad de la hidroelectricidad en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*, 129.
- Ballesteros-Ballesteros, V. A., & Gallego-Torres, A. P. (2019). Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(52), 27–42.
<https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9652>
- Baquero Muñoz, J. D., & González Varón, Y. J. (2017). *Desarrollo de estrategias para el consumo energético mediante el aprovechamiento de recursos y utilización de energías alternativas en la Universidad Libre sede Bosque Popular*. Universidad Libre.
- Barros Cárdenas, D., & Constanzo Zuñiga, R. (2017). *Manual de dimensionamiento, certificación, instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red*. [Universidad del Bio-Bio].
[http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2101/1/Melo_Bahamondes_Mari a.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2101/1/Melo_Bahamondes_Mari_a.pdf)
- Beaufort, F. (n.d.). *Escala Beaufort*.
- Beltrán, A. (2019). *Colombia y sus compromisos frente al climático* (p. 8).
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. In *Ideam*.
www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+

Cambio+Climatico.pdf

- BID, Bhattacharya, A., Contreras, C., Minji, J., Amin, A.-L., Watkins, G., & Zuniga, M. S. (2019). Atributos y Marco para la Infraestructura Sostenible. *Banco de Interamericano de Desarrollo*, 53.
- Bustamante Sánchez, Y. (2011). Ecoeficiencia en la universidad hacia un desarrollo sostenible. *Rev. de Investigación de La Fac. de Ciencias Administrativas, UNMSM*, 14(27), 47–53.
- Cárdenas, V., Álvarez, R., & González, M. (2019). Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica. *Universitarios Potosinos.*, 53(9), 24–29. http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/universitarios_potosinos_238.pdf#page=26
- CEI, IDAE, & CSCAE. (2005). *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios* Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios (I. para la diversificación y ahorro de Energía (Ed.)).
- Componentes de una instalación solar fotovoltaica.* (n.d.).
- Contaminantes del aire y sus efectos* (pp. 1–21). (n.d.). <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>
- Cornejo Lalipú, H. A. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno Infantil de la universidad de piura.* Ingeniería mecánica - eléctrica.
- CorpoEma. (2010). Elementos de política, riesgos ante el cambio climático, complementariedad entre las FNCE y el SIN, y costos indicativos de las FNCE. In *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia* (PDFNCE). http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_3_Tecnologia_Costos_FNCE.pdf
- Corpoema, C. E. (2010). Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). In *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia* (PDFNCE) (pp. 1–13).
- Declaratoria de Crisis Climática: Tiempo de Pactar la Paz con la Naturaleza* (p. 7). (2021).
- Diez consejos para ahorrar energía.* (2019). Ministerio de Educación, Colombia. https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-356474.html?_noredirect=1
- EBSA. (2021). *Informe de sostenibilidad EBSA.* <https://www.ebsa.com.co/informe-sostenibilidad/>

- EPM. (n.d.). *Autogeneración a pequeña escala AGPE*. Retrieved October 14, 2021, from <https://www.chec.com.co/clientes-y-usuarios/hogares/energia/Autogeneradores/AGPE>
- Escalante Pérez, A. (2015). *Fuentes de energía y sus aplicaciones* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6647/63316/ESCALANTE PEREZ%2C ADONIRAM MONOG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6647/63316/ESCALANTE%20PEREZ%20ADONIRAM%20MONOG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Esquema de ordenamiento territorial Belén Boyacá*. (2016). Alcaldía Municipal de Belén (Boyacá).
- FAO. (2008). Efectos del biocombustible en el medio ambiente. *Biocombustibles: Perspectivas, Riesgos y Oportunidades*, 63–83. <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s05.pdf>
- FER - Fundación Energías Renovables. (2019). *Escenario, políticas y directrices para la transición energética*. www.fundacionrenovables.org
- Forero Cantor, G. A., Saldarriaga Muñoz, J. P., & Vargas Romero, M. (2017). Cambio climático: impactos y perspectivas de investigación desde una visión multidisciplinar. *Tendencias*, 18(2), 122. <https://doi.org/10.22267/rtend.171802.80>
- Fotovoltaicos, C. (2015). *Cables para el aprovechamiento de energía solar* (p. 9). Centelsa.
- Giraldo Ramírez, D. P., Arango Aramburo, S., & Martínez Jaramillo, J. E. (2014). Efectos de los Biocombustibles en la Seguridad Alimentaria en Colombia: Una Aproximación Sistémica. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2), 7375–7385. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44180>
- González. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. In *Unidad de Planeación Minero Energética*. http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- Grupo Consultivo de Expertos (GCE). (2015). Manual del Sector de la Energía: Quema de Combustibles. In *Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero* (p. 43). <https://unfccc.int/sites/default/files/7-bis-handbook-on-energy-sector-fuel-combustion.pdf>
- Guía técnica de aplicación para instalaciones De Energías renovables instalaciones fotovoltaicas*. (2010). Gobierno de Canarias.
- Hidayanti, F. (2020). The effect of monocrystalline and polycrystalline material structure on solar cell performance. *International Journal of Emerging Trends in Engineering*

- Research*, 8(7), 3420–3427. <https://doi.org/10.30534/ijetei72020/87872020>
- Informe sobre las migraciones en el mundo 2020* (p. 528). (2020). Organización internacional para las migraciones. https://publications.iom.int/system/files/pdf/wmr_2020_es.pdf
- Instalaci, M. D. E., & Perfil, P. (n.d.). *Manual de instalación tejas onduladas* (pp. 1–24). Eternit.
- Placas onduladas de asbesto. NTC 160., 8 (1999).
- Instituto Mexicano del Petróleo. (2018). Energía termosolar 2018. In *Sener: Vol. I*. Instituto Mexicano del petróleo.
- IPCC. (2019). Calentamiento Global de 1,5 °C. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kreuzer, F. M., & Wilmsmeier, G. (2014). *Eficiencia energética y movilidad en américa latina y el caribe*. (CEPAL). Naciones unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36798/1/S1420695_es.pdf
- Lozada Prado, L. J. (2011). Viabilidad técnica y financiera para la generación de energía geotérmica en Colombia. *Instname:Universidad de Los Andes*. <http://hdl.handle.net/1992/14917>
- Members, R. E. N. (2021). REN21. In *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf<http://www.ren21.net/resources/publications/>
- Ministry of Mines and Energy. (2016). *Action Plan Indicative of Energy Efficiency 2017-2022*. http://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf
- Moreno Cortés, P. A. (2013). *Energía eólica: ventaja y desventajas de su utilización en Colombia*. Universidad libre.
- Nuestro Municipio*. (2018). Alcaldía Municipal de Belén En Boyacá. <http://www.belen-boyaca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Nueva Agenda Urbana*. (2016).
- Obando Paredes, E. D. (2014). *Ingeniería de la energía solar, conceptos y aplicaciones*.
- Osinergmin. (2019). Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú Hacia la Transición Energética. In *Organismo Supervisor de la Inversión en*

Energía y *Minería*.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf

- Pérez, B. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre la energía fotovoltaica*.
- Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. (n.d.). European Commission. Retrieved October 14, 2021, from <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/pvgis>
- Piedrahita Florez, C. A., Rodríguez Hernández, A., & Zapata Lesmes, H. J. (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia*. UPME IDEAM.
- Pinilla, Á. (1997). *Manual De Aplicación De La Energía Eólica*. Instituto de ciencias nucleares y energías alternativas.
- Política nacional de cambio climático*. (2017).
- Posso Rivera, F. (2004). Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela. *Anales de La Universidad Metropolitana*, 4(1), 147–164.
- Presidencia de la Republica de Colombia. (2015). *INDC. Resumen Contribuciones Nacionales Determinadas para Colombia* (p. 73).
- REN21. (2021). *Renewables in Cities 2019 Status Report*. 202. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://www.ren21.net/cities/wp-content/uploads/2019/05/REC-GSR-Low-Res.pdf>
- Robin Matthews, J. B. (n.d.). *Glosario IPCC*.
- Rodríguez Araújo, E. (2005). Perfiles de la Economía Boyacense. *CENES Apuntes*, 25(39), 95–124.
- Rodríguez Leon, J. C. (2014). *Diseño e implementación de señalizaciones de prevención para el colegio fiscal mixto nocturno “Ana Villamil Icaza.”* Universidad de Guayaquil.
- Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., & Ortin, S. (n.d.). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Solar PV module industry in 2020: Acceleration of manufacturing concentration and a new annual shipment record*. (2020). IHS Markit. <https://ihsmarkit.com/research-analysis/solar-pv-module-industry-in-2020-acceleration-of-manufacturing.html>
- SOLARGIS. (n.d.). <https://solargis.com/es>

Torres Gallego, P. A., Montaña Castro, E. J., & Rocha Salamanca, P. (2016). La necesidad de una educación energética desde las ciencias de la sostenibilidad. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*.

Unidas, N. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (Vol. 62301).

UPME. (2019). *Informe de gestión 2019*. http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_de_gestion_2018_19092018.pdf

Vásquez Baca, U., & Gamio Aita, P. (2018). Transición energética con energías renovables para la seguridad energética en el Perú: una propuesta de política pública resiliente al clima. *Espacio y Desarrollo*, 222(31), 195–224. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201801.008>

Velasco Muñoz, Á., & Calvache, Ó. S. (2019). Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia. *Repositorio Institucional USC*, 1–16. <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/2781>

WWF. (2018). *Glosario ambiental: ¿Qué son los Gases de Efecto Invernadero (GEI)?* <https://www.wwf.org.co/?325754/Que-son-los-Gases-de-Efecto-Invernadero-GEI>

ANEXOS

Anexo A. Reconocimiento de infraestructura.

Anexo B. Base de datos de consumo y facturación eléctrica.

Anexo C. Reemplazo luminarias incandescentes.

Anexo D. Informe radiación solar PVGIS.

Anexo E. Base de datos meteorológica.

Anexo F. Cotizaciones.

Anexo G. Fichas técnicas.