



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN TIEMPO, ALCANCE Y COSTO DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UN PABELLÓN CARCELARIO EN
COMPARACIÓN CON UN SISTEMA CONVENCIONAL**

JEISSON LEONARDO RODRÍGUEZ CORTÉS

DAVID LEONARDO QUINTERO CÁRDENAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS

BOGOTÁ D.C NOVIEMBRE 2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	9
1 Generalidades	11
1.1 Línea de Investigación	11
1.2 Planteamiento y Antecedentes del Problema	11
1.1.1 Pregunta de investigación	13
2 Justificación	14
3 Objetivos	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 Marco de referencia	16
4.1 Marco conceptual	16
4.1.1 Energías renovables.	16
4.1.2 Efecto fotovoltaico	16
4.1.2.1 Directamente conectados a una carga:	16
4.1.2.2 Con regulador y batería:	17
4.1.2.3 Con regulador, batería e inversor:	18
4.1.3 Infraestructura Modular	18
4.1.3.1 Ventajas de la infraestructura modular.	19
4.2 Marco teórico	20
4.2.1 Recursos de radiación solar en Colombia.	20
4.3 Marco jurídico.	23
4.3.1 Normatividad en las fuentes no convencionales de Energía.	23
4.4 Marco demográfico. Población reclusa en Colombia.	25
4.5 Marco geográfico	27

4.6	Estado del arte	28
4.6.1	Desarrollo de la energía solar en Colombia.	29
4.6.2	Investigaciones realizadas acerca de la utilización de la energía solar para la generación de energía.	31
4.6.3	Desarrollo de las investigaciones en energía eléctrica.	31
5	Metodología	34
5.1	Fases del trabajo de grado	35
5.1.1	Fase 1: Planteamientos acotados:	35
5.1.2	Fase 2: Evaluación del Alcance	35
5.1.3	Fase 3: Evaluación del Tiempo.	35
5.1.4	Fase 4: Evaluación del Costo	35
5.1.5	Fase 5: Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.	36
5.2	Instrumentos o herramientas utilizadas	36
5.3	Alcances y limitaciones	36
5.3.1	Alcances	36
5.3.2	Limitaciones	37
6	Productos a entregar	38
6.1	Primera Fase.	38
6.2	Segunda Fase.	38
7	Desarrollo de la investigación	39
8	Fase 1. Descripción de alternativas	40
8.1	Sistema de alimentación eléctrica mediante un sistema convencional	40
8.2	Sistema Mixto de alimentación eléctrica - Sistema convencional y Sistema de Paneles solares	41
8.2.1	Opción de construcción, puesta en operación y mantenimiento del Sistema de	

Paneles solares.	42
8.2.2 Opción de alianza público privada (APP).	42
9 Fase: 2 Gestión del alcance	44
9.1 Acta de constitución del proyecto	44
9.2 EDT del proyecto	50
9.3 Línea base del alcance alternativa convencional	52
9.4 Línea base del alcance alternativa mixta	53
10 Fase 3 Gestión del cronograma	55
10.1 Estimación de tiempo por actividad y predecesoras	55
10.2 Diagrama de hitos	57
10.3 Programación y ruta crítica del proyecto	60
11 Fase 4. Evaluación y gestión del costo	63
11.1 Presupuesto del proyecto	63
11.2 Contexto general de análisis.	65
11.3 Análisis de costos de un sistema convencional	65
11.4 Análisis de costos de un sistema mixto con compra de planta de energía solar.	66
11.5 Análisis de costos de un sistema mixto con alianza público privada app.	68
11.6 Análisis de las alternativas planteadas	71
11.7 Análisis de las alternativas con energía solar en comparación con el sistema convencional.	71
12 Fase 5. Análisis de resultados	73
12.1 Tablas comparativas de las alternativas propuestas.	73
12.2 Alcance	76
12.3 Tiempo	76

12.4	Costo	76
13	Entrega de resultados esperados e impactos	78
13.1	Aporte de los resultados a la Gerencia de Obras	78
13.2	Cómo se responde a la pregunta de investigación con los resultados	78
13.3	Estrategias de comunicación y divulgación	79
14	Nuevas áreas de estudio.	80
15	Conclusiones.	81
16	Bibliografía	83

LISTA DE FIGURAS

Gráfica 1. Infraestructura de las Regionales Inpec – Febrero 2019.....	11
Gráfica 2. Estructura de los paneles solares.....	17
Gráfica 3. Configuración del sistema - Panel solar conectado directamente a una carga.	17
Gráfica 4. Configuración del sistema - Panel solar con regulador y batería.....	18
Gráfica 5. Configuración del sistema - Panel solar con regulador, batería e inversor.....	18
Gráfica 6. Plano esquemático de un pabellón carcelario.	19
Gráfica 7. Mapa de radiación solar en Colombia.	22
Gráfica 8. Distribución de la población reclusa en Colombia – febrero 2019.....	26
Gráfica 9. Mapa de irradiación global media recibida en una superficie horizontal	27
Gráfica 10. Promedio multianual de sol día.....	28
Gráfica 11. Evolución de la utilización de la luz solar como fuente de energía.	28
Gráfica 12. Número de publicaciones año sobre paneles solares.	32
Gráfica 13. Síntesis de aspectos tomados de la metodología cuantitativa.	34
Gráfica 17. Desarrollo del proyecto (metodologías).....	39
Gráfica 14. Alternativa Sistema Convencional. diagrama de flujo	40
Gráfica 15. Alternativa sistema mixto. Diagrama de flujo	41
Gráfica 16. Resumen de las alternativas planteadas.	43
Gráfica 18. EDT del proyecto.....	51
Gráfica 19 Diagrama de hitos – alternativa convencional	58
Gráfica 20 Diagrama de hitos – alternativa mixta	59
Gráfica 21 Programación del proyecto	61
Gráfica 22. Sistema convencional. Línea base de costos.....	66
Gráfica 23. Sistema Mixto opción por compra de planta solar. Línea base de costos.....	68
Gráfica 24 Sistema Mixto Opción por app. Línea base de costos	69
Gráfica 25. Línea base de costos para las alternativas.....	70
Gráfica 26. Flujo acumulado para las alternativas.....	70
Gráfica 27. Análisis del ahorro en la instalación de Paneles solares	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad asociada a las fuentes no convencionales de la energía (FNCE).....	23
Tabla 2. normatividad asociada a las FNCE, en proceso de elaboración y gestión.....	24
Tabla 3. Población con restricción de la libertad en Colombia – Febrero 2019.	25
Tabla 4. Población reclusa intramural a cargo del INPEC 2013 – Febrero 2019.	26
Tabla 5. Inversión en sistemas fotovoltaicos en Colombia durante los años 2015 y 2016.....	29
Tabla 6. Artículos de investigaciones de energías alternativas a partir de la luz solar.	32
Tabla 7. Línea base del alcance alternativa convencional	52
Tabla 8 Línea base del alcance alternativa mixta	53
Tabla 9 tabla de actividades, duración y predecesoras - convencional.....	55
Tabla 10 tabla de actividades, duración y predecesoras - mixta.....	56
Tabla 11 Presupuesto del proyecto	63
Tabla 12. Sistema convencional. Análisis de costos en el tiempo.....	65
Tabla 13. Sistema mixto, opción por compra de planta de energía solar.	67
Tabla 14. Sistema mixto, opción por app.	69
Tabla 15. Valor presente neto de las alternativas planteadas.....	71
Tabla 16. Indicadores comparativos del sistema mixto versus el sistema convencional.....	72
Tabla 17. Comparación del alcance a las alternativas planteadas.	73
Tabla 18. Comparación del cronograma a las alternativas planteadas.	74
Tabla 19. Comparación del costo de las alternativas planteadas.	75

INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas de mayor impacto a nivel mundial es el calentamiento global, que ha venido generando un aumento paulatino en la temperatura del planeta como resultado de la emisión de gases de efecto invernadero. Se han realizado convenios internacionales como el acuerdo de París [1], que buscan una colaboración mundial para frenar y/o reducir este aumento gradual mediante la disminución de los gases antes mencionados.

Uno de los focos importantes para reducir la emisión de gases de efecto invernadero es la implementación de tecnologías alternativas para la generación de energía, con las cuales se busca minimizar el impacto ambiental generado por el uso de tecnologías convencionales.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que es el compuesto que más daño causa en la capa de ozono derivados del sector eléctrico en Colombia se situó en 5,725,136.9 toneladas para el año 2017 [2].

Dado que el uso de energía eléctrica es fundamental en el diario desarrollo de las sociedades actuales para la realización de un alto porcentaje de las actividades de los seres humanos.

En contexto con el párrafo inmediatamente anterior, las personas privadas de su libertad en condiciones de condenados o sindicados, habitan los llamados centros de reclusión penitenciaria y en este tipo de instituciones requiere de un suministro constante para su funcionamiento. Es por este motivo que se genera la necesidad de realizar los estudios correspondientes para establecer las posibles alternativas de suministro de energía, reduciendo el consumo de electricidad generada por las fuentes de generación tradicionales.

Adicionalmente, una de las problemáticas encontradas en este contexto es el alto índice de hacinamiento que se presenta en los establecimientos penitenciarios del país. Por ello, el gobierno Nacional, a través de la USPEC, entidad encargada de la infraestructura carcelaria del país, ha desarrollado un plan de Transformación y Humanización del Sistema Carcelario en Colombia [3] en la cual se pretende realizar la construcción de infraestructura modular como un frente de trabajo para subsanar la situación actual de hacinamiento.

Ante este escenario nuevo en el país, como lo es la infraestructura modular para establecimientos penitenciarios, se presentó la oportunidad para realizar el análisis de la implementación de sistemas de energía alternativa, este caso la implementación de sistemas de generación eléctrica a partir de paneles solares como un sistema adicional al sistema convencional en el cual la energía es proporcionada por un operador de red a través de líneas de distribución en alta, media y baja tensión.

En relación con lo anterior, se realizó un análisis de la implementación de un sistema mixto; energía tomada de la red y de una planta de generación eléctrica solar a base de paneles fotovoltaicos, para el suministro de energía eléctrica requerida por un pabellón carcelario, como una herramienta que permita a la entidad una referencia de análisis para la toma de decisiones con respecto a la implementación este tipo de tecnología como alternativa para la generación de energía.

Para el correcto análisis de la alternativa planteada se tomó como guía el estado del arte actual de este tipo de tecnologías con los proveedores del mercado realizando la implementación de este sistema en el diseño de un pabellón carcelario y comparando los resultados desde perspectivas de alcance, tiempo y costo con base en conceptos extraídos del documento PMBOK sexta edición [4] y realizando un análisis cualitativo de cada uno de los sistemas.

1 GENERALIDADES

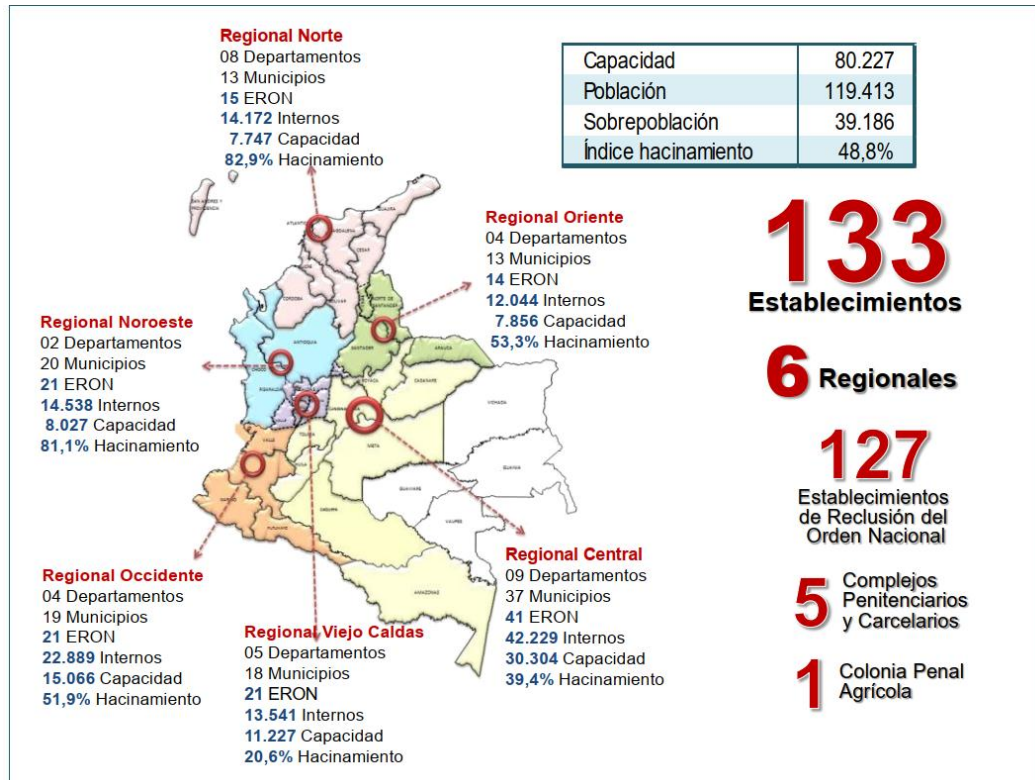
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

1.2 PLANTEAMIENTO Y ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En el sistema carcelario en Colombia se presenta un alto porcentaje de hacinamiento, tal como se presenta en los datos estadísticos en el informe estadístico de febrero 2019 de la Gráfica 1, acerca de la población reclusa a cargo del instituto nacional penitenciario y carcelario en lo adelante INPEC [5], el índice de hacinamiento en el mes ya indicado fue de 48.8%, esto de acuerdo a una población existente de 119.413 personas con una infraestructura carcelaria con capacidad para 80.227 personas.

GRÁFICA 1. INFRAESTRUCTURA DE LAS REGIONALES INPEC – FEBRERO 2019



Fuente: Elaboración Grupo Estadística a partir de datos SISIPC WEB / GEDIP. [5]

Ante esta problemática, la Unidad de Servicios Penitenciarios y Carcelarios en lo adelante USPEC, entidad creada por el Gobierno Nacional como organismo especializado en la gestión y operación para el suministro de bienes y la prestación de servicios para la población privada de la libertad [6], presentó en 2019 el plan de transformación y Humanización del Sistema Carcelario

en Colombia en el que se plantean seis frentes de trabajo; cuatro estratégicos (Racionalización del ingreso al sistema carcelario, Infraestructura carcelaria, vida en reclusión y resocialización) y dos transversales (transparencia y humanización).

Dentro del frente Infraestructura Carcelaria se plantean alternativas que permitan la ampliación de la capacidad de la infraestructura física y la prestación de los servicios en los establecimientos penitenciarios. Una de las acciones inmediatas formuladas es la construcción de infraestructura carcelaria bajo sistemas modulares para la generación de 4.800 cupos [3].

El reto que plantea la construcción de infraestructura modular en Colombia es que no se ha usado este tipo de tecnología para un sistema tan particular como un centro penitenciario, es de aclarar que por el tipo de prestaciones y población de uso los aspectos a considerar de diseño, durabilidad y seguridad requieren de especificaciones especiales con respecto a otro tipo de edificaciones.

Uno de los aspectos a considerar en el funcionamiento idóneo de este tipo de establecimientos es el suministro de energía eléctrica requerida para la operación, por tal razón. Actualmente la totalidad del suministro de energía eléctrica en los establecimientos carcelarios se realiza únicamente de manera convencional con la distribución del servicio a través de empresas operadoras de red y no se han realizado implementaciones de otro tipo de tecnología que conlleven a la disminución de la energía eléctrica tradicional, la cual es de muchas maneras no amigable con el medio ambiente.

Actualmente uno de los focos de preocupación mundial es el calentamiento global, un cambio gradual por la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) [7]. Por este motivo se firmó el Acuerdo de París en 2015, un tratado internacional adoptado durante la Conferencia Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Es un acuerdo a nivel internacional que tiene como objetivo generar una respuesta a la amenaza mundial del cambio climático. Una de las medidas de mitigación propuestas es la de aumentar la implementación del uso de energías renovables (eólica y solar). [8]

Dado que hasta el momento no se ha realizado ninguna implementación de energías renovables, este documento, por lo tanto, se convierte en un estudio de los beneficios de las alternativas para la implementación de paneles solares y su impacto por implementación de este tipo de energías en infraestructura carcelaria.

1.1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los beneficios en cuanto a alcance tiempo y costo de implementar paneles solares en el suministro de energía eléctrica en un pabellón carcelario modular en comparación con el uso exclusivo de energía eléctrica convencional?

2 JUSTIFICACIÓN

Con el fin de reducir el calentamiento global que se ha venido generando por la emisión de gases de efecto invernadero se firmó en 2013 el acuerdo de París, en donde se adoptan medidas por parte de los 196 países que hacen parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático que buscan mitigar y hacer frente al cambio climático. En el acuerdo se establece que *“En sus contribuciones determinadas a nivel nacional a la respuesta mundial al cambio climático, todas las Partes habrán de realizar y comunicar los esfuerzos ambiciosos con miras a alcanzar el propósito del presente Acuerdo”*, el cual es *“reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C”*. [1]

Colombia por su parte establece frente a este tratado la inclusión de medidas necesarias en todos los aspectos técnicos con una meta de reducir el 20% de las emisiones para 2030, para ello se han implementado una serie de medidas que buscan la reducción de emisiones. En el sector de energía se busca la implementación de energías renovables.

Debido a la situación de hacinamiento carcelario en Colombia y a la alternativa planteada en la construcción de infraestructura carcelaria bajo sistemas modulares por primera vez en Colombia para la generación de 4.800 cupos, se presentó una oportunidad para el análisis de la implementación de energías renovables para este tipo de establecimientos por desarrollar en el país.

Dadas las características especiales de los centros de reclusión, se realizó un análisis de acuerdo a las características propias de la infraestructura carcelaria que incluyó la inversión inicial requerida, los costos por la implementación de una planta de energía solar, los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de red eléctrica convencional y los sistemas de paneles solares, el valor del consumo general del establecimiento de acuerdo a los precios del mercado, tiempos de construcción, etc., que se describirán a detalle en el desarrollo del presente documento.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo para determinar los beneficios en términos de alcance tiempo y costo en la implementación y puesta en operación de un sistema con paneles solares para la generación de energía eléctrica para un pabellón carcelario modular en comparación con un sistema convencional de red eléctrica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis del alcance de la implementación de un sistema de energía eléctrica que incluya generación por paneles solares en comparación con un sistema de energía convencional para el suministro de energía en un pabellón carcelario modular, identificando las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.
- Realizar el análisis del tiempo de la implementación de un sistema de energía eléctrica que incluya generación por paneles solares en comparación con un sistema de energía convencional para el suministro de energía en un pabellón carcelario modular, identificando las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.
- Realizar el análisis del costo de la implementación de un sistema de energía eléctrica que incluya generación por paneles solares en comparación con un sistema de energía convencional para el suministro de energía en un pabellón carcelario modular, identificando las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.
- Realizar un análisis de resultados que permita poner a la vista las ventajas y desventajas que se adquieren en aspectos como alcance, tiempo y costo en el momento de implementar el uso de energía sostenible por medio de paneles solares para una estructura modular.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 ENERGÍAS RENOVABLES.

Se consideran como energías renovables todas aquellas que se adquieren a partir de fuentes naturales sin que el recurso sea agotable, ya sea por lo estable de la fuente o por la capacidad para regenerar el insumo de la generación de energía principalmente de manera natural. Algunas de las energías renovables que tenemos son la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, solar mareomotriz, la biomasa y los biocombustibles.

Una de las principales y más interesantes características que tienen este tipo de energías es que durante el proceso de obtención y/o generación no se agotan los recursos de la fuente de la cual se extrae la energía. Entre estas fuentes podemos encontrar la hidráulica, la solar (térmica y fotovoltaica), la eólica y la mareomotriz. Además, dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables aquellas provenientes de la biomasa y de fuentes geotérmicas. [9]

4.1.2 EFECTO FOTOVOLTAICO

Se define como la conversión de la radiación solar en electricidad, mediante materiales semiconductores que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Esta emisión de electrones resulta en una corriente continua¹. [10]

De acuerdo con los elementos que componen este tipo de tecnología, podemos dividir los sistemas fotovoltaicos en tres tipos:

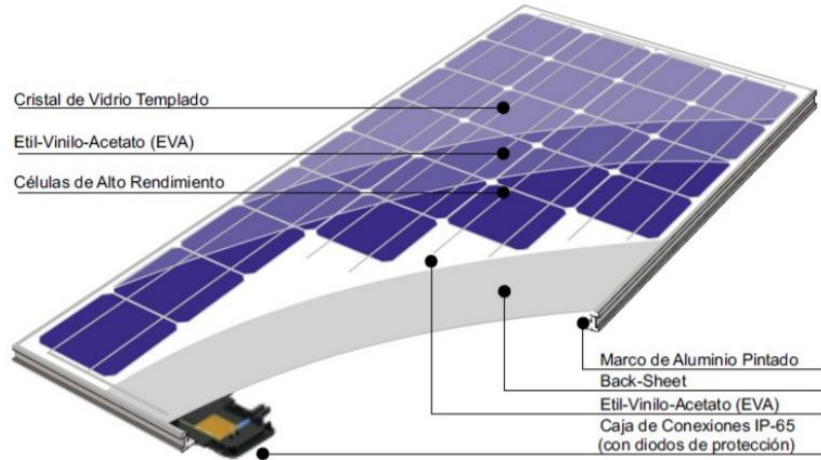
4.1.2.1 *Directamente conectados a una carga:*

Es el más simple de todos. El panel solar como fuente de generación se conecta directamente a la carga, de esta manera la energía producida es transmitida sin ningún tipo de tratamiento,

¹ Dado que el enfoque de este documento no es de tipo técnico, no se profundizará en el funcionamiento de este tipo de tecnología.

conversión o rectificación. Esta configuración se utiliza principalmente para bombeo de agua a través de motores, ver Gráfica 3.

GRÁFICA 2. ESTRUCTURA DE LOS PANELES SOLARES



Fuente: Tomado de <https://eliseosebastian.com/elementos-con-panel-solar-fotovoltaico/> (visto el 30 de abril de 2019)

GRÁFICA 3. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA - PANEL SOLAR CONECTADO DIRECTAMENTE A UNA CARGA.

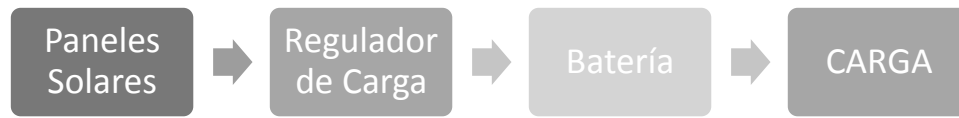


Fuente: Propia.

4.1.2.2 Con regulador y batería:

El panel solar (generalmente un arreglo de más de un panel) como fuente de generación está conectado a un regulador para mejorar los niveles moderar los niveles de carga generados, luego a la batería para su almacenamiento y esta a su vez a la carga conectada. Este sistema es muy utilizado en alumbrado público. Ver Gráfica 4.

GRÁFICA 4. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA - PANEL SOLAR CON REGULADOR Y BATERÍA



Fuente: Propia.

4.1.2.3 Con regulador, batería e inversor:

Se utiliza para alimentar sistemas de energía alterna, aunque también puede alimentarse energía en corriente continua simultáneamente. Este es el más utilizado para alimentar de energía a cargas genéricas dado que produce un nivel de tensión y tipo de onda similar al entregado por una empresa operadora de red. Ver Gráfica 5.

GRÁFICA 5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA - PANEL SOLAR CON REGULADOR, BATERÍA E INVERSOR



Fuente: Propia.

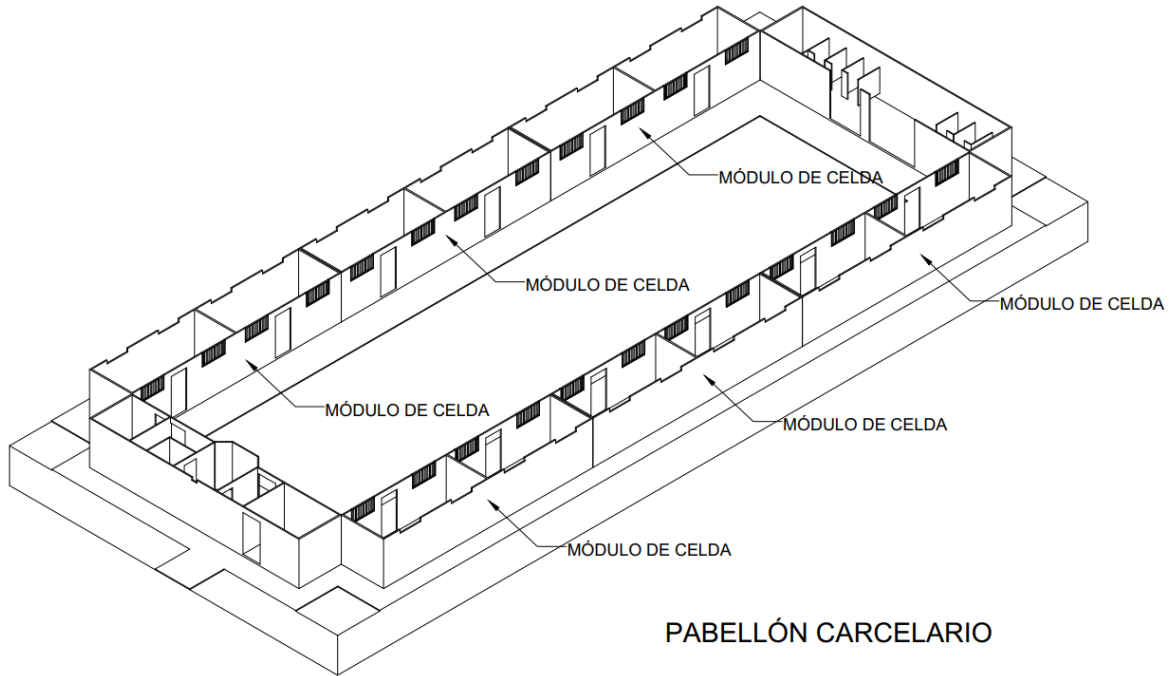
4.1.3 INFRAESTRUCTURA MODULAR

Para el desarrollo de este trabajo se entenderá por infraestructura modular aquellas edificaciones construidas a partir de unidades funcionales prefabricadas en estructuras metálicas tipo contenedores. Para este caso en particular, cada unidad funcional proveerá un servicio específico en el ambiente carcelario, celdas, cuartos de control de guardia, baterías sanitarias, etc.

El desarrollo de la construcción modular ha tenido un gran impacto en la industria debido a su capacidad para resolver distintas situaciones en tiempos de construcción y puesta en funcionamiento muy cortos comparados con la infraestructura tradicional. Uno de sus mayores usos ha sido en el sector minero-energético y en campamentos temporales de obra, pero se está expandiendo a otras áreas.

Además, dada la facilidad de instalación y la flexibilidad para solucionar diferentes problemas, este tipo de infraestructura se ha abierto camino entre los sistemas tradicionales al proporcionar nuevas opciones de diseño y ofrecer una gran eficiencia en la gestión de recursos. [11]

GRÁFICA 6. PLANO ESQUEMÁTICO DE UN PABELLÓN CARCELARIO.



Fuente: Propia.

4.1.3.1 Ventajas de la infraestructura modular.

El desarrollo de este tipo de tipo de construcción ha venido en aumento debido en gran medida a ventajas estratégicas para cierto tipo de sectores del mercado. Algunas de las ventajas en comparación con la construcción tradicional son la rapidez de instalación, debido principalmente a la fabricación en serie de los módulos funcionales, en paralelo con adecuación del terreno donde se van a instalar y la uniformidad de las características técnicas de los mismos.

Dado que es un sistema que tiene la capacidad de ser transportado, instalado, puesto en funcionamiento y nuevamente retirado para una instalación en una nueva locación, se convierte en una alternativa muy eficiente para construcciones temporales.

Además, tiene un bajo impacto en el área donde se lleva a cabo su implementación, esto debido

a que no se requieren obras grandes que generen contaminación auditiva ni grandes cantidades de material particulado por el uso de equipos de corte, percusión etc., utilizados ampliamente en una construcción tradicional.

Otras ventajas asociadas a este sistema son:

- No requieren licencia de construcción por ser consideradas construcciones temporales.
- Pueden ser instaladas en lugares de difícil acceso.
- La construcción es flexible a modificaciones, ampliaciones, etc.
- Se les puede realizar mantenimiento preventivo, correctivo y caso de mayor desgaste el cambio del módulo funcional sin alterar la construcción completa.
- Si son producidas con materiales reciclables pueden ser sustentables y amigables con el medio ambiente, cumpliendo con las exigencias de aislamiento térmico, acústico y de eficiencia energética.

Desventajas

Dentro de sus mayores desventajas se encuentra la vida útil de las instalaciones, que es mucho menor a la vida útil de una construcción tradicional.

La dimensión máxima de las edificaciones que se pueden construir es menor que con la alcanzada bajo procesos constructivos tradicionales. [11]

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 RECURSOS DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA.

El estudio de la radiación solar en Colombia se realiza empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), el cual procesa la información y entrega ha venido generando los mapas de radiación solar del país.

En la

Gráfica 7, se muestra el resultado de los datos tomados por las diferentes estaciones meteorológicas del IDEAM.

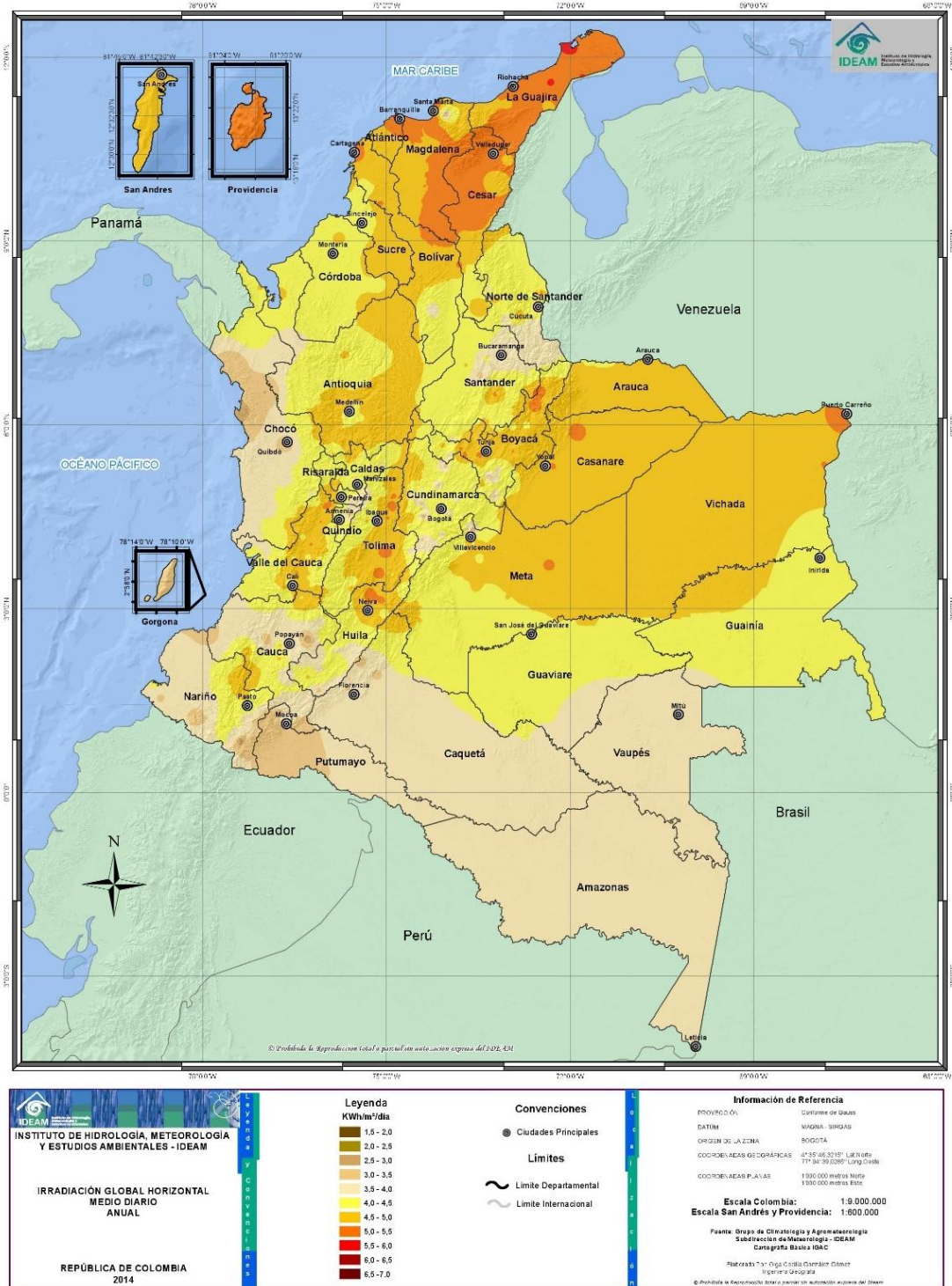
La localización geográfica de Colombia favorece la utilización del recurso solar. Zonas del país como San Andrés Islas y Providencia, la región Caribe, Vichada, Arauca, Casanare, Meta, el norte, sur y oriente de Antioquia, el centro y norte de Boyacá, el occidente de Cundinamarca, el oriente y centro del Tolima, el norte del Huila; la zona que se inicia en el norte del Cauca, atraviesa el Valle del Cauca de sur a norte y llega hasta el Eje Cafetero, así como sectores puntuales del norte de Nariño, del norte de Norte de Santander y del suroriente de Santander cuentan con una intensidad de radiación solar superior a los $4,5\text{kWh/m}^2$. En algunas zonas de la Guajira este valor sube a los $5,5\text{ Wh/m}^2$ [12].

Por otra parte, el promedio de horas de sol (hSd) se presenta en un rango de 6 a 7 horas hSd para una de las regiones más favorecidas con radiación solar como es el caso de la región Caribe. En ella, se encuentran sectores en la Guajira y el norte del Cesar con promedios entre 7 y 9 horas de sol al día.

Para el caso específico de los sistemas con paneles solares, el INEA en su estudio “Censo y evaluación de los sistemas fotovoltaicos instalados en Colombia”, estimó un valor de la potencia instalada en Colombia de 2.054 kWp que representaba un ahorro con respecto a las fuentes de energía tradicional cercano al 2.85 MWh/año. [13]

Se estima que en la actualidad el valor de la potencia instalada en sistemas solares fotovoltaicos es cercana a los 10 MWp (megavattios pico), la mayoría de ellos en zonas no interconectadas ZNI. Dentro de los casos de éxito podemos encontrar un sistema híbrido solar fotovoltaico (6kWp) – diésel (6kWp) en el Hospital de Nazareth (La Guajira). [12]

GRÁFICA 7. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA.



Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia [12].

4.3 MARCO JURÍDICO.

4.3.1 NORMATIVIDAD EN LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA.

A continuación, se presenta de manera detallada y aproximada, algunas de los hitos más representativos en la regulación colombiana con respecto a las energías renovables.

TABLA 1. NORMATIVIDAD ASOCIADA A LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE LA ENERGÍA (FNCE).

AÑO	PROYECTO/ REGLAMENTACIÓN	ORGANISMO Y/O FUNCIÓN /ASUNTO
1989	Se crea la Comisión Nacional de Energía (CNE)	Funciones en FNCE.
1992	Decreto 2245/59 y artículos 42, 43 y 44 del Decreto 2119/92. Ley 143/94	Por los cuales se crea el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). Elaborar programas científicos y tecnológicos en la intensificación del uso de las fuentes alternas de energía, ahorro, conservación y uso eficiente de la energía.
1997	Decreto 1683/97-UPME, Ley 143/94	Por el cual se crea la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Establecer la manera de satisfacer los requerimientos de energía teniendo en cuenta los recursos energéticos existentes, convencionales y no convencionales.
1999	IPSE	Se crea el IPSE para promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo, procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las Zonas No Interconectadas, ZNI, apoyando técnicamente a las entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía.
2011	Ley 1450	La ley 1450 de 2011 del Plan Nacional de Desarrollo y Plan de Inversiones 2011 – 2014, contempla, entre otras cosas, el progreso social y dinamismo económico para el desarrollo sostenible. Resaltando que en el Artículo 105 se trata el tema de energías renovables. Artículo 105. “Energías renovables. El Gobierno Nacional diseñará e implementará una política nacional encargada de fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación en las energías solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, undimotriz y demás alternativas ambientalmente sostenibles, así como una política nacional orientada a valorar el impacto del carbono en los diferentes sectores y a establecer estímulos y alternativas para reducir su huella en nuestro país”.
2012	Resolución 563	Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para evaluar y conceptuar sobre las solicitudes que se presenten ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con miras a obtener la exclusión del impuestos sobre las ventas IVA y/o deducción en la renta de elementos, equipos y maquinaria destinados a proyectos, programas o actividades de reducción en el consumo de energía y eficiencia energética, según lo dispuesto

		en el artículo 4° de la Resolución número 186 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
2014	Ley 1715	<p>Artículo 1°. “Objeto: La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”</p> <p>ARTÍCULO 2°. “FINALIDAD DE LA LEY. La finalidad de la presente ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013”.</p> <p>ARTÍCULO 30. “EDIFICIOS PERTENECIENTES A LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS. El Gobierno Nacional, y el resto de administraciones públicas, establecerán objetivos de eficiencia energética para todos los edificios de las administraciones públicas, a ser alcanzadas a través de medidas de gestión eficiente de la energía. Tales objetivos deberán ser fijados como metas escalonadas a ser alcanzados en períodos fijos de tiempo, con horizontes de hasta 10 años tras su entrada en vigor. Para tal efecto, cada entidad deberá destinar los recursos (presupuesto) necesarios para acometer el desarrollo de tales medidas de gestión eficiente de la energía”.</p>

Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia [12].

TABLA 2. NORMATIVIDAD ASOCIADA A LAS FNCE, EN PROCESO DE ELABORACIÓN Y GESTIÓN.

AÑO	PROYECTO/ REGLAMENTACIÓN	ORGANISMO Y/O FUNCIÓN /ASUNTO
2015	Decreto, MME	Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías Renovables y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), se publicó para comentarios el 20/05/2015.
2016	Decreto, MME	Por el cual se establecen lineamientos de política pública para incentivar la autogeneración a pequeña escala, la gestión de la demanda de energía eléctrica y la medición inteligente: se publicó para comentarios el 16/04/2016
2016	Resolución, MADS	Por la cual se adopta el procedimiento y requisitos en la presentación de las solicitudes para obtener la certificación de beneficio ambiental en las nuevas inversiones en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Gestión Eficiente de la Energía y se toman otras determinaciones. Se publicó el 19/01/2016.

Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia [12].

4.4 MARCO DEMOGRÁFICO. POBLACIÓN RECLUSA EN COLOMBIA.

De acuerdo con informe estadístico del mes de febrero de 2019 presentado por el INPEC registra un número de 188.315 personas en conflicto con la ley penal en Colombia que se encuentran reclusas en el sistema nacional penitenciario y carcelario distribuidas de la siguiente manera:

- Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario–Inpec: 185.046 personas (98,3%).
- Entidades del Orden Territorial - Municipios: 2.349 personas (1,2%).
- Instituciones para la reclusión de miembros de la Fuerza Pública: 920 personas (0,5%).

La población reclusa a cargo del Inpec, se encuentra bajo las siguientes modalidades de custodia:

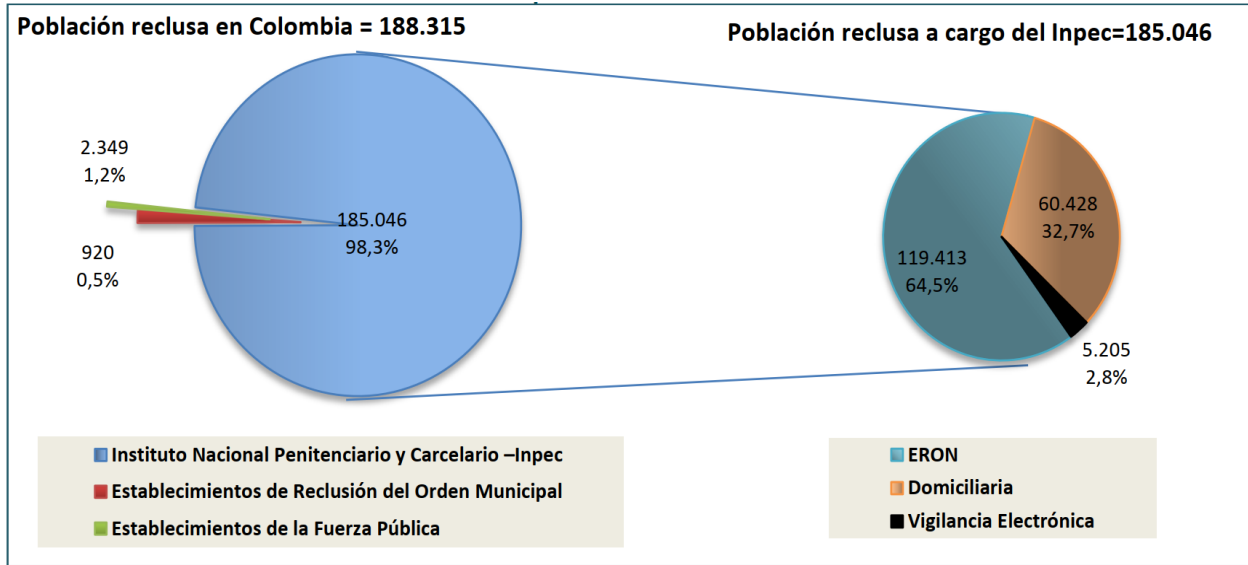
- Reclusa en Establecimientos del Orden Nacional- ERON: 119.413 personas (64,5%).
- En reclusión domiciliaria: 60.428 personas, incluyen 234 Gestores de Paz (32,7%).
- Con vigilancia electrónica: 5.205 personas (2,8%).

TABLA 3. POBLACIÓN CON RESTRICCIÓN DE LA LIBERTAD EN COLOMBIA – FEBRERO 2019.

Entidades a cargo de la custodia y vigilancia de la PPL	Ubicación	Población Privada de la Libertad	Participación	
			Con respecto al total de la población a cargo de la entidad	Con respecto al total de la población reclusa del país
INPEC	Establecimientos de Reclusión del Orden Nacional -ERON	119.413	64,50%	63,40%
	Domiciliaria (incluye 234 Gestores de Paz)	60.428	32,70%	32,10%
	Vigilancia Electrónica	5.205	2,80%	2,80%
	Subtotal INPEC	185.046	100,00%	98,30%
OTRAS ENTIDADES	Establecimientos Municipales	2.349	71,90%	1,20%
	Establecimientos Fuerza Pública	920	28,10%	0,50%
	Subtotal otros establecimientos	3.269	100,00%	1,70%
Total, población reclusa país		188.315		100,00%

Fuente: Informe estadístico febrero 2019 [5].

GRÁFICA 8. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN RECLUSA EN COLOMBIA – FEBRERO 2019.



Fuente: Informe estadístico febrero 2019 [5].

La población carcelaria ha venido sufriendo un aumento gradual que se evidencia son un incremento de 675 personas más en el mes de febrero con respecto al mes de diciembre. A continuación, se presenta un resumen del aumento de población carcelaria en Colombia.

TABLA 4. POBLACIÓN RECLUSA INTRAMURAL A CARGO DEL INPEC 2013 – FEBRERO 2019.

AÑO	Población colombiana	Población reclusa Inpec (intramural, domiciliaria y con vig. electrónica)	Variación anual población reclusa		Participación nacional	Tasa población reclusa por 100 mil habitantes
			Absoluta	Relativa		
2013	47.121.089	151.368	10.639	7,60%	0,30%	321
2014	47.661.787	153.998	2.630	1,70%	0,30%	323
2015	48.401.701	169.662	15.664	10,20%	0,40%	351
2016	48.747.708	175.336	5.674	3,30%	0,40%	360
2017	49.582.835	178.397	3.061	1,70%	0,40%	360
2018	49.834.240	184.371	5.974	3,30%	0,40%	370
2019	50.374.478	185.046	675	0,40%	0,40%	367

Fuente: Informe estadístico febrero 2019 [5].

4.5 MARCO GEOGRÁFICO

El sitio objeto de análisis para el desarrollo de esta investigación es el Municipio de Cartago en el Valle. Esto debido a que se tienen los análisis técnicos de las curvas de consumo de energía en el día en el establecimiento y con base en ellas se realizó un cálculo por parte de proveedores del porcentaje de energía eléctrica consumida que se puede disminuir con la implementación de una planta de energía solar.

GRÁFICA 9. MAPA DE IRRADIACIÓN GLOBAL MEDIA RECIBIDA EN UNA SUPERFICIE HORIZONTAL

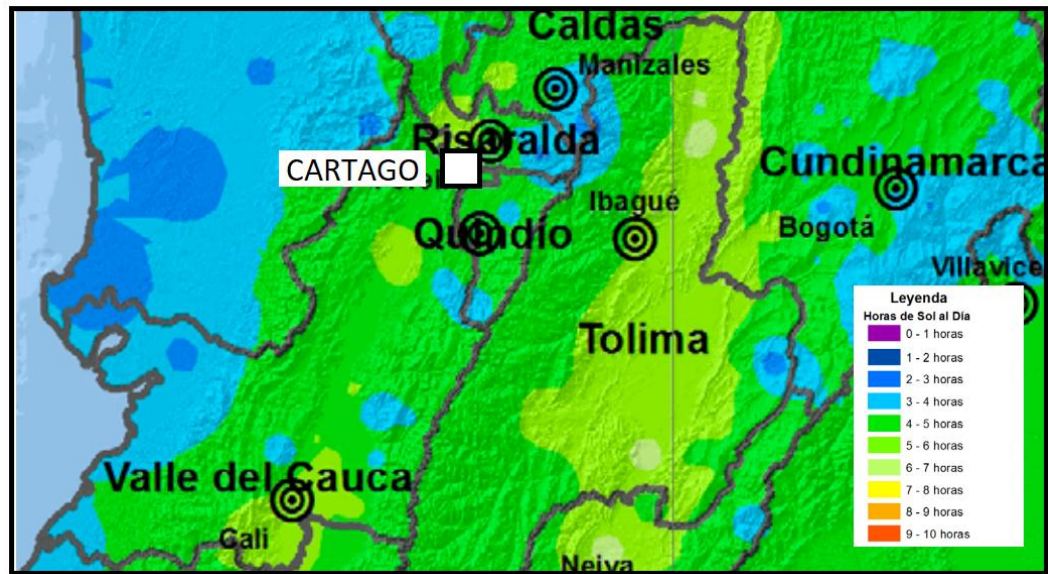


Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia [12].

A partir de las gráficas Gráfica 9 y Gráfica 10, se tienen valores aproximados de 4,5 a 5 kWh/m² día con acuerdo a la radiación media en el año, en el Municipio de Cartago y un total de 5 a 6 horas días de sol.

Se observa que en comparación con otras zonas de Colombia como lo son las áreas de Amazonas o Quibdó, entre otras, observadas en la Gráfica 7, Cartago cuenta con buenos niveles de radiación solar y horas diarias de sol que permiten mejorar la capacidad de producción de energía a través de paneles solares.

GRÁFICA 10. PROMEDIO MULTIANUAL DE SOL DÍA



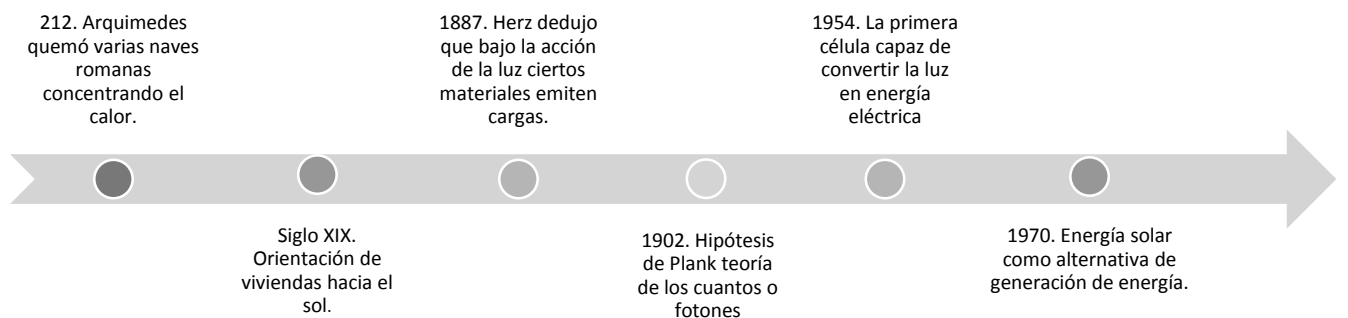
Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia [12].

Cabe resaltar que la capacidad de producción de energía con tecnología de paneles solares depende directamente de la cantidad de luz solar que incida sobre ellos, por lo cual el estudio puntual de la utilización de este tipo de tecnología se deberá realizar para el lugar geográfico específico en el cual se quiera desarrollar el proyecto.

4.6 ESTADO DEL ARTE

En la Gráfica 11, Evolución de la utilización de la luz solar como fuente de energía, se establecen algunos momentos importantes en la historia de la humanidad, en los cuales el hombre ha utilizado el recurso solar como fuente de generación de energía.

GRÁFICA 11. EVOLUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA LUZ SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA.



Fuente: Información tomada de La energía solar. Aplicaciones prácticas [14].

4.6.1 DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA.

La utilización de este tipo de energía a partir de la luz solar se ha enfocado principalmente en el abastecimiento de electricidad en las zonas no interconectadas ZNI, esto debido al alto costo que implica la construcción de la infraestructura para la transmisión de la energía. Es estos escenarios donde la instalación de paneles solares u otro tipo de tecnología alternativa.

Las primeras implementaciones llevadas a cabo en Colombia datan de los años 80, cuando se instalaron sistemas de generación fotovoltaica de 60Wp (vatio pico) para radioteléfonos rurales. Según el informe presentado por XM² se establece que la Capacidad efectiva neta del Sistema Interconectado Nacional (SIN) e Colombia para el año 2017 fue de 16.778,75 MW, de los cuales 9,8 MW fueron generados por una fuente de energía solar, lo que equivales al 0.058%. [2]

La generación de electricidad con a partir de fuentes de energía renovables, tiene una amplia perspectiva de crecimiento dada su poca utilización hoy en día, su mayor avance en ha sido teniendo en cuenta que en Colombia cerca de 1 millón de familias carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural [15].

Las aplicaciones comúnmente llevadas a cabo en Colombia de generación de energía eléctrica a partir del recurso solar se presentan a pequeña escala para la electrificación de viviendas y sistemas de bombeo. En la Tabla 5, se muestra un resumen de los proyectos de inversión llevados a cabo en los años 2015 y 2016 en cuanto a sistemas fotovoltaicos.

TABLA 5. INVERSIÓN EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA DURANTE LOS AÑOS 2015 Y 2016.

PROYECTOS DE INVERSIÓN FOTOVOLTAICOS - 2015				
DEPTO.	MUNICIPIO	PROYECTO	POBLACIÓN BENEFICIADA	VALOR EN PESOS
Nariño	Santa Bárbara de Iscuandé	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios, Santa Bárbara de Iscuandé, Nariño	307 familia (1290 personas)	\$ 181.662.190
	Leiva	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios, Leiva, Nariño	60 familias (252 personas)	\$ 181.662.190

² XM es la filial de ISA especializada en la gestión de sistemas de tiempo real y ahí se coordina la operación de la cadena productiva del sector eléctrico colombiano; Planeación de los recursos de generación de Colombia, es decir, las plantas hidroeléctricas, térmicas y eólicas.

	El Sábalo - Barboacoas	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios en la selva Awa	71 familias (298 personas)	\$ 181.662.190
Chocó	Comunidad de bajo baudó - Puerto Abadía	Energía Solar en Concosta, en la comunidad de Bajo Baudó Centro poblado de Puerto Abadía, Chocó	62 familias (190 personas)	\$ 168.571.333
	Litoral de San Juan	Energía solar para la comunidad de El Litoral de San Juan, García Gómez, Chocó	20 familias (88 personas)	\$ 168.571.333
	Litoral de San Juan	Energía solar en Unión Balsalito en el Litoral de San Juan, Chocó	87 familias (383 personas)	\$ 167.821.333
	Parque Nacional Natural de Utría	Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Parque Nacional Natural de Utría, Chocó		\$ 126.106.566
PROYECTOS DE INVERSIÓN FOTOVOLTAICOS - 2016				
DEPTO.	MUNICIPIO	PROYECTO	POBLACIÓN BENEFICIADA	VALOR EN PESOS
Amazonas	Resguardo Indígena Ticoya San Martín de Amacayacu - Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Ticoya San Martín de Amacayacu del Municipio de Leticia – Amazonas.	125 personas beneficiadas de 542	\$ 262.184.716
	Resguardo Indígena Mocagua Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Mocagua del Municipio de Leticia -Amazonas	118 personas beneficiadas de 617	\$ 224.793.793
	Resguardo Indígena Santa Sofía Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Santa Sofía del Municipio de Leticia -Amazonas	97 personas beneficiadas de 582	\$ 259.277.777
Arauca	vereda San José Cravo Norte	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda San José ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	20 personas beneficiadas de 120	\$ 166.444.677
	Vereda Juriepe Cravo Norte	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda Juriepe Ubicado en el municipio Cravo Norte del departamento Arauca	19 personas beneficiadas de 114	\$ 158.047.924
Putumayo	Centro Educativo e Internado Luis Vidales Puerto Leguizamo	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo e Internado Luis Vidales Comunidad Piñuña Negro del Municipio de Puerto Leguizamo - Putumayo	98 personas beneficiadas de 600	\$ 289.128.922
Vichada	Centro Educativo La venturosa Puerto Carreño	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo La venturosa del Municipio de Puerto Carreño - Vichada. Dentro de este proyecto también se provee electricidad a un centro de salud durante las 24 horas del día	98 personas beneficiadas de 300	\$ 177.934.119
Guajira	Nazareth y Puerto Estrella -Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para los usuarios localizados en el corredor entre Nazareth y Puerto Estrella en la Alta Guajira	86 personas beneficiadas de 1.032	\$ 1.249.074.511
	comunidades indígenas de Malirrachon, Ushuru y Mapuain - Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Malirrachon, Ushuru y Mapuain Municipio de Manaure Alta Guajira	40 personas beneficiadas de 480	\$ 367.500.333

	Comunidades indígenas de Juluguaipa y Ampuita -Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Juluguaipa y Ampuita Municipio de Manaure Alta Guajira	30 personas beneficiadas de 360	\$ 280.297.908
	Comunidades indígenas de Cuniche - Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Cuniche Municipio de Manaure Alta Guajira	30 personas beneficiadas de 624	\$ 469.656.758
Chocó	vereda Los Tibirre alto, medio y bajo - Acandí	Implementación de sistemas fotovoltaicos individuales para la generación de energía eléctrica en la vereda Los Tibiarle alto, medio y bajo. Municipio de Acandí. Departamento del Chocó	79 personas beneficiadas de 948	\$ 982.367.318
	Vereda Titiza - Acandí	Implementación de sistemas fotovoltaicos individuales para la generación de energía eléctrica en la vereda Titiza. Municipio de Acandí. Departamento del chocó	59 personas beneficiadas de 278	\$ 736.662.971

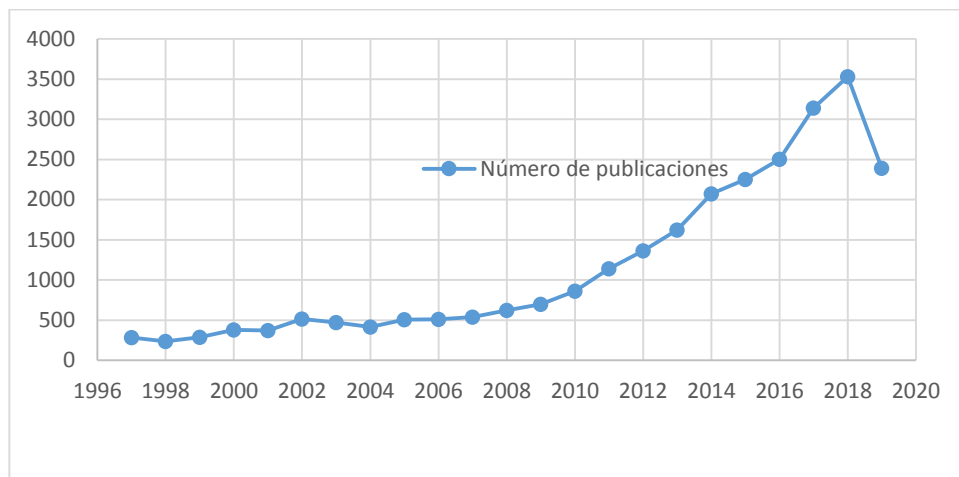
4.6.2 INVESTIGACIONES REALIZADAS ACERCA DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA.

Se revisó en las bases de datos de la universidad investigaciones acerca de la utilización de la energía solar para la generación de energía eléctrica en diferentes partes del mundo y en diferentes tipos de instalaciones.

4.6.3 DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES EN ENERGÍA ELÉCTRICA.

En las bases de datos sciencedirect se revisó el desarrollo de la investigación en torno a la energía eléctrica producida a través de paneles solares. Para ello se realizó una consulta con las palabras claves *solar, panels, energy, electric*, y se evidenció el número de publicaciones realizadas en los diferentes años. Ver Gráfica 12

GRÁFICA 12. NÚMERO DE PUBLICACIONES AÑO SOBRE PANELES SOLARES.



Se observa un continuo incremento en el número de publicaciones a través de los años. Únicamente observamos una caída importante en el año 2019, esto debido a que el año aún está en curso y se debe esperar a finalizar para obtener un número más real de publicaciones en este año. A continuación, se muestran algunas de los artículos que más relación tienen con el desarrollo de este trabajado.

TABLA 6. ARTÍCULOS DE INVESTIGACIONES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS A PARTIR DE LA LUZ SOLAR.

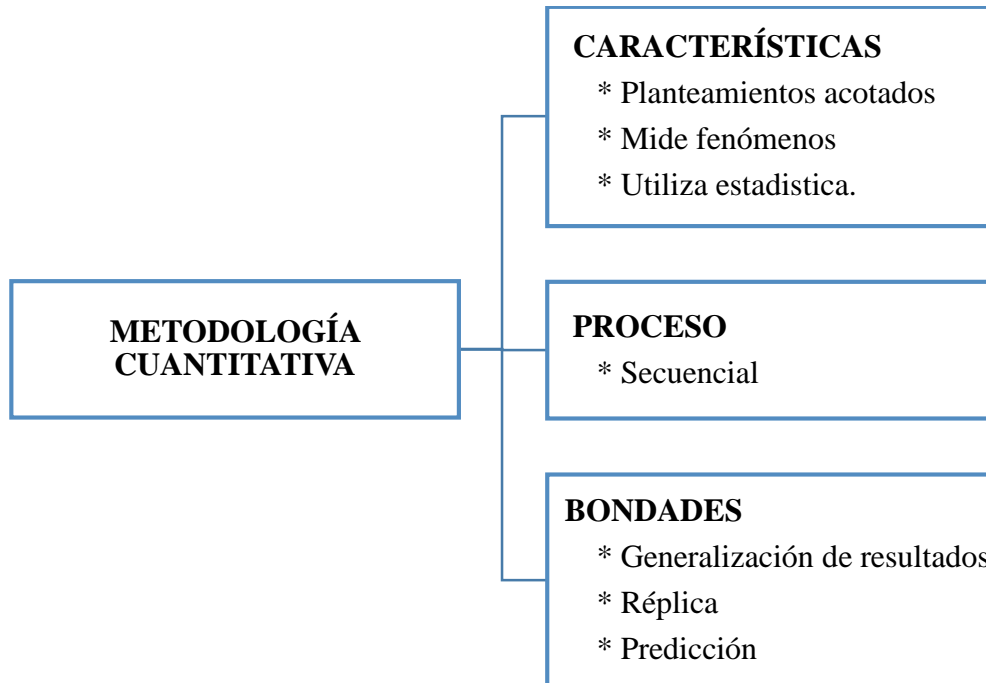
AÑO	TIPO DE DOCUMENTO	TÍTULO
2016	Artículo	Review and multi-criteriy assessment of solar energy projects in Chile, Renewable and Sustainable Energy Reviews [16]
2018	Artículo	State of the art and future prospects for solar PV development in Chile, Renewable and Sustainable Energy Reviews. [17]
2015	Artículo	Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico. [18]
2011	Artículo	A comprehensive study of solar power in India and World, Renewable and Sustainable Energy Reviews [19]
2014	Artículo	Effect of Shading on Series Solar Modules: Simulation and Experimental Results, Procedia Technology [20]

2019	Articulo	Environmentally Sustainable Airport Energy Management Using Solar Power Technology: The Case of Adelaide Airport, Australia. [21]
2019	Articulo	The use of concentrated solar energy for the reduction of CuO in H ₂ . [22]
2018	Articulo	Renewable Energy Integration: Economic Assessment of Solar Energy to Produce Biodiesel at Supercritical Conditions. [23]
2019	Articulo	Global Solar Energy Trends and Potential of Building Sector in Hungary. [24]
2019	Articulo	Applications of Solar Energy: History, Sociology and last Trends in Investigation. [25]

5 METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolló con conceptos de una metodología cuantitativa [26], en la cual se establecieron los siguientes parámetros:

GRÁFICA 13. SÍNTESIS DE ASPECTOS TOMADOS DE LA METODOLOGÍA CUANTITATIVA.



Fuente: Metodología de la Investigación. Hernández Sampieri Sexta Edición [26].

De esta manera se plantearon escenarios acotados con las tecnologías que se van a implementar, a partir de los cuales se realiza el desarrollo de los diferentes análisis comparativos (alcance, tiempo y costo) que permiten definir con las diferencias entre ellas y analizar cuáles de esas diferencias son favorables para el desarrollo del proyecto. Para ello, la información de entrada del proyecto corresponde en gran medida a datos estadísticos como lo son los valores de radiación solar anual y horas de día sol en el sitio geográfico escogido.

El desarrollo de este trabajo de investigación se REALIZÓ bajo un proceso secuencial que involucró el desarrollo de unas fases que se acotarán más adelante, una a una hasta llegar a un proceso de análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.

Finalmente, el resultado de este proceso de investigación es replicable a cualquier sitio en el cual se quiere implementar y a cualquier capacidad de carga eléctrica requerida por un tipo de infraestructura modular como la planteada en este caso.

A continuación, se muestran las fases de trabajo planteadas:

5.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

La investigación se desarrolló en las siguientes fases primordiales:

5.1.1 FASE 1: PLANTEAMIENTOS ACOTADOS:

Definición de las alternativas de configuración del sistema de energía eléctrica para el establecimiento.

5.1.2 FASE 2: EVALUACIÓN DEL ALCANCE

Para cada una de las alternativas se evaluó el alcance del proyecto, indicando las características propias de cada una y estableciendo las diferencias de cada una de las alternativas.

5.1.3 FASE 3: EVALUACIÓN DEL TIEMPO.

Para cada una de las alternativas se evaluó el tiempo necesario para llevar a cabo el proyecto, indicando las actividades propias de cada una y estableciendo las diferencias de cada una de las alternativas.

5.1.4 FASE 4: EVALUACIÓN DEL COSTO

Se desarrolló para cada una de las alternativas un modelo de costos de todo el proyecto, indicando en cada una de ellas las variables que se tuvieron en cuenta, los costos asociados a cada uno y se resumieron a los valores más determinantes para el análisis.

5.1.5 FASE 5: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Con los resultados obtenidos en las Fases 2, 3 y 4 se desarrollaron las conclusiones definitivas del análisis comparativo para cada una de las alternativas planteadas en la Fase 1.

5.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para la recolección de datos se utilizó información de artículos científicos, libros, informes, datos estadísticos, y demás documentos que proporcionaron las bases teóricas de los sistemas de energía solares que se quieren analizar.

Para el análisis de los sistemas de energía alternativa se utilizó la información dada por los proveedores del mercado (fichas técnicas, datos de eficiencia, costos, tiempos de implementación, etc.) en este tipo de tecnologías. CON BASE EN LO ANTERIOR se realizó EL RESPECTIVO ANÁLISIS teniendo en cuenta elementos comerciales SEGÚN LAS TECNOLOGIAS MAS DESRROLLADAS Y VIGENTES PARA el MERCADO COLOMBIANO.

5.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

5.3.1 ALCANCES

- Mostrar las ventajas de realizar una implementación de sistemas de generación de energía renovable como una solución viable para una red de energía eléctrica en un sistema de construcción modular.
- Aprovechar la implementación de un diseño de un proyecto real en etapa de estudio a implementarse por primera vez en Colombia para aplicación de la alternativa a estudiar bajo el suministro de energía eléctrica.
- Presentar un informe ante la USPEC que detalle los resultados obtenidos y una recomendación favorable para la implementación de paneles solares como alternativa para la generación de energía.

5.3.2 LIMITACIONES

- No se tiene una implementación real al alcance en donde se pueda realizar mediciones reales de eficiencia del servicio de energía eléctrica generada por esta tecnología que permitan acercarnos más a su funcionamiento en campo.
- El estado actual de la tecnología es cambiante, continuamente se han realizado mejoras en cuanto a la eficiencia de los sistemas y al valor por kw/h generado, esta información pertenece en su gran mayoría a los proveedores, pero depende en gran medida del valor del dólar, lo cual genera que los costos de implementación de este tipo de tecnología fluctúen continuamente.
- El tiempo de ejecución de este documento fue corto, debido a los límites establecidos por la especialización y esto evitó ampliar el alcance a otras fuentes de energía renovables que puedan proveer el servicio de energía requerido.

6 PRODUCTOS A ENTREGAR

6.1 PRIMERA FASE.

Proyecto de trabajo de grado. Se realizó en el primer semestre del año en curso (2019).

Producto Entregado: Documento Anteproyecto de trabajo grado.

6.2 SEGUNDA FASE.

Trabajo de grado. Se realizó en el segundo semestre del año en curso (2019).

Producto por entregar: Documento trabajo de grado y artículo científico (IEEE).

7 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el progreso del proyecto se abordaron los diferentes procesos enmarcados por una metodología cuantitativa que permitió una correcta ejecución y un desarrollo ordenado y práctico para el proyecto objeto de estudio; siempre enfocado en la triple restricción: Alcance, Costo y Tiempo, debido a que estos son los factores y parámetros que enmarcaron la comparación entre las diferentes alternativas que se presentaron para la construcción y operación de la red eléctrica para un pabellón modular.

GRÁFICA 14. DESARROLLO DEL PROYECTO (METODOLOGÍAS)



Fuente: Propia

8 FASE 1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se enmarcan las alternativas de análisis llevadas a cabo durante el desarrollo de este proyecto:

8.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA CONVENCIONAL

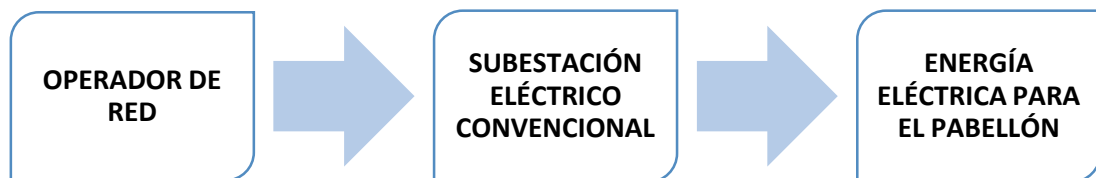
En esta alternativa se evalúa la construcción de la instalación eléctrica requerida por el pabellón carcelario, su mantenimiento y el valor asociado al consumo proyectado a 15 años. Esta instalación está contemplada de manera convencional, lo que para este proyecto se definirá como un sistema basado en redes de cobre, canalizaciones y alimentación eléctrica a través de una subestación en poste.

En este escenario el servicio de energía eléctrica es comprado a un operador de red como por ejemplo CODENSA, EBSA, EPM, etc., que a través de una línea de media tensión provee la energía necesaria para abastecer la demanda causada por todos los sistemas del pabellón.

En términos concreto definimos las principales características de este sistema:

- Confiabilidad generalmente alta las 24 horas del día en función del operador de red que suministre el servicio y la localización geográfica en la cual se realice el proyecto.
- Valor constante en el consumo de energía eléctrica siempre y cuando existan hábitos constantes en el uso de esta al interior del pabellón carcelario.

GRÁFICA 15. ALTERNATIVA SISTEMA CONVENCIONAL. DIAGRAMA DE FLUJO

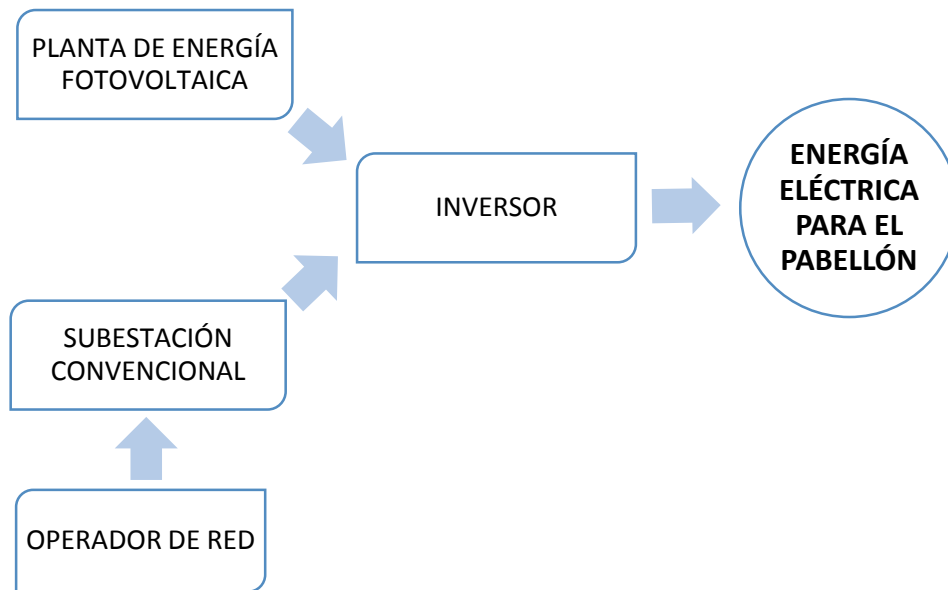


Fuente: Propia.

8.2 SISTEMA MIXTO DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA - SISTEMA CONVENCIONAL Y SISTEMA DE PANELES SOLARES

Es esta alternativa se evalúa el mismo alcance del apartado 8.1, en cuanto a la construcción de un sistema de red eléctrica convencional alimentado a través de una subestación conectado a un operador de red, pero adicionalmente, se instalará una planta de energía a partir de paneles solares, que genere electricidad a partir de la radiación solar de la zona e inyecte esa energía a la red de distribución interna y así reducir el consumo de energía dado por el operador de red.

GRÁFICA 16. ALTERNATIVA SISTEMA MIXTO. DIAGRAMA DE FLUJO



Fuente: Propia.

El sistema con planta de energía fotovoltaica requiere un elemento de control que permite que la energía producida por la radiación solar se inyecte directamente al sistema minimizando o neutralizando el uso de energía convencional que viene del operador de red local. En los momentos de baja producción de energía eléctrica en los paneles solares por baja radiación o en las horas nocturnas, el sistema se abastecerá en su mayoría o totalidad de la red convencional.

El ahorro real de este sistema se llevará a cabo en las horas de luz solar día, pero dependerá de la cantidad de radiación solar que se presente.

Desde el punto de vista financiero se presentan dos opciones para la instalación de la planta de energía con paneles solares; el primero, la instalación por cuenta propia del sistema de paneles solares, y la segunda, en la cual la construcción y operación de la planta la realiza el proveedor del sistema y se realiza un convenio o contrato para consumir esa energía producida a un valor menor que el valor comercial.

8.2.1 OPCIÓN DE CONSTRUCCIÓN, PUESTA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PANELES SOLARES.

En esta opción la USPEC como responsable de la infraestructura carcelaria, realizaría la inversión de la construcción completa de la planta de energía solar y destinaría un rubro para el mantenimiento del sistema construido. La energía que se produzca en la planta sería inyectada directamente al pabellón carcelario reduciendo el consumo de la red convencional.

Característica de un sistema mixto de energía convencional más energía solar con planta propia.

- Confiabilidad generalmente alta las 24 horas del día en función del operador de red que suministre el servicio y la localización geográfica en la cual se realice el proyecto más el respaldo de un sistema de energía a base de paneles solares.
- El valor de la construcción, operación y mantenimiento de la planta eléctrica sería responsabilidad de la USPEC como entidad responsable de la infraestructura eléctrica.
- El valor por el consumo sería directamente el valor del kwh consumido directamente de la red convencional a través del operador de red local.

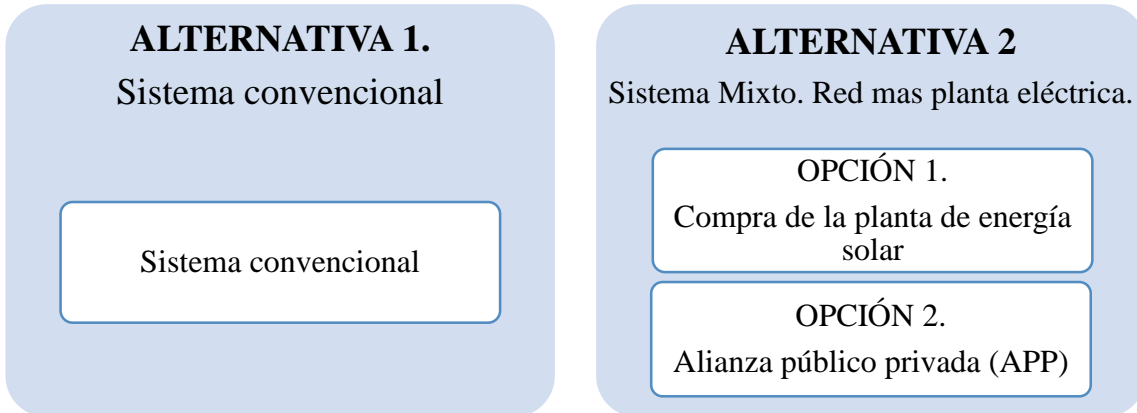
8.2.2 OPCIÓN DE ALIANZA PÚBLICO PRIVADA (APP).

Esa opción se presenta como un convenio o contrato con un particular que se encarga de la instalación completa de la planta de energía solar, el mantenimiento y la operación de la misma en el predio del establecimiento. La energía producida por la planta eléctrica es vendida al establecimiento a un costo menor que la energía dada por la red eléctrica convencional, pero tiene la restricción que el convenio o contrato tiene una duración mínima que varía entre 12 a 25 años dependiendo de las tasas de retorno evaluadas por el contratista.

Característica de un sistema mixto de energía convencional más energía solar con planta fotovoltaica operada por un particular.

- Confiabilidad generalmente alta las 24 horas del día en función del operador de red que suministre el servicio y la localización geográfica en la cual se realice el proyecto más el respaldo de un sistema de energía a base de paneles solares.
- Para la USPEC y el establecimiento no hay costo de inversión en el proyecto dado que la financiación para la construcción, operación y mantenimiento va por cuenta del particular.
- El valor por el consumo es la suma del gasto de energía eléctrica realizado a la red convencional al valor comercial del kwh de la energía en el operador de red más el gasto de energía eléctrica generada por la planta solar al valor de kwh establecido con el particular. Este último valor es menor al valor comercial del kwh.

GRÁFICA 17. RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.



Fuente: Propia.

9 FASE: 2 GESTIÓN DEL ALCANCE

Desarrollando el proyecto conforme a la metodología se conformó el **Acta de Constitución** del proyecto, la cual permite la entrada del director del proyecto, concretando así un alcance coherente con los objetivos iniciales del proyecto, es decir que por medio de esta acta se estandarizo y parametrizo lo que se debe alcanzar en materia de Alcance, tiempo y costo, independiente de la alternativa que al final la entidad decida implementar

9.1 ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO	
Fecha	02 de diciembre de 2019
Proyecto	Construcción y puesta en operación de la infraestructura eléctrica para un pabellón modular carcelario.
Preparado por:	Gerente del proyecto
Autorizado por:	Entidad contratante - USPEC Entidad beneficiada - IMPEC
Versión:	AC - 001
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	
<p>El proyecto se compone de dos grandes fases; Fase Constructiva y Fase Operativa.</p> <p>La primera tiene como objetivo la instalación del sistema de red eléctrica para un pabellón carcelario construido por sistema modular, comprendido por los siguientes espacios:</p> <p>Oficina administrativa, oficina control de guardia, área de reclusión, área rancho, celdas, patio y guyana exterior.</p> <p>La segunda fase está proyectada a la parte de operación y mantenimiento, por lo tanto, se proyecta un tiempo de 15 años debido a la vida útil de los modulares (contenedores), donde se deben realizar mantenimientos periódicos con el fin de garantizar que la red eléctrica siempre esté en funcionamiento y optimo estado para que el pabellón no se quede sin energía eléctrica en ningún momento.</p>	

DEFINICIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO DEL PROYECTO

Construcción de la red eléctrica para un pabellón carcelario construido por sistema modular (container) con capacidad para 100 personas, conformado por 2 niveles los cuales deben contener 48 celdas, área administrativa, áreas sociales y áreas para vigilancia.

DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

Funcionales:

Dirigir y garantizar la correcta ejecución de las obras cumpliendo con la totalidad de los ítems del proyecto, costos, gastos, certificaciones y licencias vigentes.

No funcionales:

Cumplir con las obligaciones comerciales que se adquiriera frente a proveedores, cumplir con los procedimientos de auditoria, control y seguridad establecidos para el proyecto.

Calidad:

Realizar los controles para las pruebas de materiales, garantizando que se cumpla con toda la normatividad vigente en temas legales, técnicos, administrativos, financieros y contables del proyecto.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Construcción de la red de energía eléctrica para un pabellón carcelario construido en sistema modular.

Garantizar la operación y mantenimiento de la red de energía eléctrica del pabellón por 15 años

Realizar la ejecución del proyecto contemplando los siguientes parámetros para los recursos económicos:

- Construcción: \$ 800.000.000.

- Operación y mantenimiento (15 años): \$ 176.000.000
- Valor consumo energía eléctrica (15 años): \$ 4.000.000 kWh.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto busca apoyar una nueva alternativa de construcción de pabellones carcelarios, que garantice al pabellón un suministro constante de energía eléctrica y que permita a la entidad disminuir costos.

ALCANCE Y ENTREGABLES

Entregable 1

Entregar un sistema de red de energía eléctrica para un pabellón carcelario, garantizando su funcionalidad, calidad y estabilidad.

Entregable 2

Garantizar y mantener la correcta operación de la red de energía eléctrica del pabellón por un término de 15 años, en los cuales se debe cumplir con la normatividad técnica, legal, administrativa y financiera vigente.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL ALCANCE

Para el entregable No. 1

Se debe contemplar los siguientes análisis:

- Red eléctrica de energía totalmente funcional
- No exceder el tiempo máximo de 6 mese
- Cumplir con la totalidad de los ítems del presupuesto preliminar
- Cumplimiento total de la normativa técnica vigente

Para el entregable No. 2

Se debe contemplar los siguientes análisis:

- Funcionalidad de los sistemas de energía eléctrica del pabellón
- Suministro continuo de energía eléctrica durante los 15 años de operación
- Garantizar el estado óptimo de la red eléctrica.

SUPUESTOS Y RESTRICCIONES

Supuestos

El proyecto está enfocado a un pabellón carcelario el cual está orientado bajo la construcción de un sistema modular, esto implica que el desarrollo del sistema de la red eléctrica que se construya para el mismo debe estar en capacidad de adaptarse y trabajar en conjunto con más pabellones de igual sistema constructivo, para que de esta manera el proyecto modular pueda garantizar su funcionalidad en el momento que se quiera incrementar el alcance y cobertura de los pabellones.

Restricciones

El proyecto está dirigido a un pabellón carcelario basado en un sistema modular, lo que implica de acuerdo a la filosofía de un sistema modular, este debe ser flexible y adaptable a cualquier zona o medio y trabajar en conjunto; de esta manera el proyecto tiene como restricción su alcance, tiempo y costo, es decir, que la construcción de la red eléctrica no puede tener afectaciones en su alcance, tiempo y costo por temas de factores del medio o características de la zona ya que este debe garantizar su funcionalidad en la zona que se desea instalar.

Adicionalmente el proyecto está pensado para una operación de 15 años, por lo tanto, el desarrollo constructivo debe cumplir con los estándares normativos y a su vez suplir los parámetros técnicos que se requieran para satisfacer la necesidad durante los 15 años que se exigen para el proyecto.

AUTORIDAD DEL PROYECTO E HITOS

Autoridad Presupuestaria

El proyecto tiene origen bajo una necesidad identificada por el INPEC, entidad quien está a cargo de la infraestructura carcelaria y centros de reclusión en el país, por tal razón esta entidad es quien se destacará como la entidad contratante, y quien dispone el origen de los recursos económicos.

De esta manera para el desarrollo del proyecto se proyectan Quinientos diez millones de pesos colombianos \$ 510.000.000. Como recurso económico. Los cuales deben contemplar los costos directos e indirectos del proyecto.

Autoridades de Supervisión del Proyecto

Para este proyecto que tiene como objetivo el suministro de energía eléctrica para un pabellón carcelario, contara con una entidad que lidere su proyecto, como lo es el IMPEC, ya que es la entidad encargada de la dirección de todas las estructuras destinadas para temas carcelarios y de reclusión.

De igual manera la ejecución de este proyecto permite que se encasille y enmarque dentro del campo de supervisión que realizan las entidades de regulación y control en el país, como lo son:

- Procuraduría
- Contraloría
- Fiscalía

Adicionalmente para garantizar el cumplimiento normativo del proyecto, este debe estar regulado por las siguientes normativas, las cuales estipulan los parámetros técnicos para este tipo de proyectos.

- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE
- Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público – RETILAP

HITOS DEL PROYECTO	FECHA DE ENTREGA
Finalización de los preliminares	20/12/2019
Finalización de subestación y/o planta fotovoltaica	14/02/2020

Puesta en servicio de tableros eléctricos		13/03/2020	
Finalización de instalación de luminarias, tomacorrientes y aparatos		4/03/2020	
Fin fase constructiva		19/03/2020	
Inicio fase operativa		23/03/2020	
Fin fase operativa		23/03/2035	
Fin proyecto		27/03/2035	
DIRECTOR DE PROYECTO			
Nombre	Cargo	Nivel de autoridad	Nivel de interés
"Nombre"	Director del proyecto	Alto	Alto
ORGANIZACIONES QUE INTERVIENEN EN EL PROYECTO			
USPEC	Entidad contratante	Alto	Alto
IMPEC	Entidad beneficiada	Medio	Alto
Contratista	Constructor del proyecto	Bajo	Alto
PRINCIPALES AMENAZAS Y OPORTUNIDADES DEL PROYECTO			
<u>Amenazas</u>			
<ul style="list-style-type: none"> • Incumplimiento del contratista • Incumplimiento de proveedores • Variación de precios en los equipos e insumos • Perdida y hurto del material y equipos de la obra • Incumplimiento de los mantenimientos en la fase de operación 			
<u>Oportunidades</u>			
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de ejecución cortos • Minimizar costos de equipos e insumos • Uso de energías renovables • Sistema de construcción moderno y practico 			
FIRMA DE LOS INTERESADOS			
Nombre	Cargo	Fecha	Firma
"Nombre"	Gerente del proyecto	02 de diciembre de 2020	
"Nombre"	Director del proyecto	02 de diciembre de 2020	

Cabe resaltar que el acta de constitución planteada encasilla el alcance que el proyecto debe cumplir, independiente de la alternativa seleccionada, es decir que las alternativas que se analizaron cumplen con la totalidad de los objetivos son acorde a la normatividad establecida y adicionalmente se encuentran dentro del margen de recursos y tiempos destinados por la entidad contratante.

9.2 EDT DEL PROYECTO

Continuando con el desarrollo del proyecto, se procedió con la construcción del EDT, el cual consta de 4 grupos, los cuales corresponden a unas fases que organizan al proyecto de forma lógica y coherente en el tiempo, estos grupos son:

- Pre - construcción
- Construcción
- Comisionamiento
- Operación y mantenimiento

Estos grandes grupos abarcan cada uno de los campos que se requieren para realizar el proyecto, permitiendo descomponer de forma práctica el alcance del proyecto; esto con la finalidad de obtener una herramienta que permita una visualización global de todos los campos de trabajo a los que el director de proyecto debe enfrentarse.

Así bien, esta herramienta permite realizar un seguimiento y control más rápido en el momento de ejecutar el proyecto. De acuerdo con el EDT que se desarrolló se entiende que el grupo con más tareas es el de la fase de “Construcción” y así mismo dentro de esta fase, la de mayores tareas es “Construcción de redes de uso final”.

Esto no solo permite la visualización global de tareas por realizar, también permite entender el nivel de importancia de las actividades a las cuales el director de proyectos debe enfrentarse.

GRÁFICA 18. EDT DEL PROYECTO



Fuente. Propia.

La actividad de la construcción de la planta de energía solar sólo aplica para la alternativa de un sistema mixto.

De acuerdo con lo estipulado desde el inicio de este proyecto y con el objetivo de comparar y encontrar la mejor alternativa para la construcción de la red eléctrica del pabellón carcelario; se presentó un EDT propio a su alternativa, es por esta razón que se hace la anotación de que las “Actividades: Construcción de la planta solar y Mantenimiento de esta” son únicas y exclusivas de la alternativa que contempla uso de energía solar por medio de planta solar.

Esto quiere decir que las alternativas analizadas en este estudio contemplan 3 escenarios:

- Sistema eléctrico convencional
- Sistema eléctrico mixto (adquirir planta de energía solar)
- Sistema eléctrico mixto con asociación publico privada (la planta de energía solar no la adquiere la entidad a cambio del pago de la energía que suministra la misma)

Por lo anterior mencionado el proyecto solamente tiene dos variables en materia de alcance entre las 3 alternativas, lo que no implica una variación significativa que altere el alcance, por lo cual, desde este punto de vista, las 3 alternativas son viables para el proyecto.

9.3 LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA CONVENCIONAL

A partir del EDT que se estableció para el proyecto, se obtiene la línea base del alcance para la alternativa convencional, en la cual se observa que el mayor peso para cumplir el alcance está centrado en el grupo de “construcción” dando como conclusión una mayor rigurosidad para el subgrupo de “construcción de redes de uso final”.

TABLA 7. LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA CONVENCIONAL

LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA CONVENCIONAL	
PRECONSTRUCCIÓN	
Campamento	
Centro de acopio de materiales	
Preliminares	
CONSTRUCCÓN	
Construcción sistema de alimentación	
Construcción de la subestación	
Iluminación externa	

Construcción de canalización Cableado Instalación de postes de e iluminación Construcción de las redes de uso final Instalación de tableros Construcción de canalizaciones internas cableado Instalación de aparatos e iluminación
--

COMISIONAMIENTO
Pruebas de suplencia de energía Pruebas de Iluminación

OPERACION Y MANTENIMIENTO
Mantenimientos anuales

Fuente. Propia.

9.4 LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA MIXTA

En el caso de las alternativas mixtas, se genera la línea base respecto al EDT del proyecto, a diferencia de la alternativa convencional, se incorporan dos actividades que son fundamentales para cumplir con el alcance las cuales son: Construcción de la planta de energía solar (Fase de construcción) y Mantenimiento de la planta de energía solar (Fase de operatividad).

Cabe resaltar y de acuerdo a lo mencionado anteriormente, las dos alternativas mixtas mantienen la misma línea base, diferencia entre las dos es más relevante en la gestión del costo.

TABLA 8 LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA MIXTA

LÍNEA BASE DEL ALCANCE ALTERNATIVA MIXTA
PRECONSTRUCCIÓN
Campamento Centro de acopio de materiales Preliminares
CONSTRUCCÓN
Construcción sistema de alimentación Construcción de la subestación Construcción de la planta de energía solar Iluminación externa

<p>Construcción de canalización Cableado Instalación de postes de e iluminación</p>
<p>Construcción de las redes de uso final</p>
<p>Instalación de tableros Construcción de canalizaciones internas cableado Instalación de aparatos e iluminación</p>

<p>COMISIONAMIENTO</p>
<p>Pruebas de suplencia de energía Pruebas de Iluminación</p>

<p>OPERACION Y MANTENIMIENTO</p>
<p>Mantenimientos anuales Mantenimientos planta de energía solar</p>

Fuente. Propia.

10 FASE 3 GESTIÓN DEL CRONOGRAMA

10.1 ESTIMACIÓN DE TIEMPO POR ACTIVIDAD Y PREDECESORAS

Al tener un EDT definido, y la línea base establecida para cada alternativa, se procedió a realizar la estimación y la duración de las actividades enmarcadas para cada línea base. Esta duración se realizó por medio de estación paramétrica y juicio de expertos, teniendo como referencia proyectos similares que ha desarrollado la entidad, como pabellones carcelarios en sistemas convencionales con áreas aproximadas a la que se va a intervenir.

Al definir el listado de las actividades y realizar la estimación de la duración, se realiza una organización coherente y acorde al desarrollo de las mismas, teniendo presente cuales preceden o anteceden a las demás, de esta manera se configuro la siguiente tabla para cada alternativa.

TABLA 9 TABLA DE ACTIVIDADES, DURACIÓN Y PREDECESORAS - CONVENCIONAL

No. ACTIVIDAD	ACTIVIDADES	DURACION	PREDECESORAS
2	PLANEACIÓN Y GESTIÓN		
3	Adecuación del campamento	5	
4	Centro de acopio de materiales	5	
5	Finalización de los preliminares	0	3;4
6	SISTEMA CONVENCIONAL		
7	Construcción de la subestación	40	5
11	ILUMINACIÓN EXTERNA		
12	Construcción de la canalización	30	5
13	Cableado	15	12
14	Instalación de postes de iluminación	10	13
15	CONSTRUCCIÓN DE REDES DE USO FINAL		
16	Construcción de canalizaciones internas	30	5
17	Cableado	15	16
18	Instalación y conexión de tableros	10	12;17
19	Puesta en servicio de tableros eléctricos	0	18
20	Instalaciones de iluminación	8	17

21	Instalación de tomacorrientes y aparatos	8	17
22	Finalización de instalación de luminarias, tomacorrientes y aparatos	0	20;21
23	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
24	Pruebas de iluminación	2	14;10;19;22

Fuente. Propia.

TABLA 10 TABLA DE ACTIVIDADES, DURACIÓN Y PREDECESORAS - MIXTA

No. ACTIVIDAD	ACTIVIDADES	DURACION	PREDECESORAS
2	PLANEACIÓN Y GESTIÓN		
3	Adecuación del campamento	5	
4	Centro de acopio de materiales	5	
5	Finalización de los preliminares	0	3;4
6	SISTEMA CONVENCIONAL		
7	Construcción de la subestación	40	5
8	CONSTRUCCIÓN PLANTA FOTOVOLTAICA		
9	Construcción de la planta fotovoltaica	40	5
10	Finalización de subestación y/o planta fotovoltaica		7;9
11	ILUMINACIÓN EXTERNA		
12	Construcción de la canalización	30	5
13	Cableado	15	12
14	Instalación de postes de iluminación	10	13
15	CONSTRUCCIÓN DE REDES DE USO FINAL		
16	Construcción de canalizaciones internas	30	5
17	Cableado	15	16
18	Instalación y conexión de tableros	10	12;17
19	Puesta en servicio de tableros eléctricos	0	18
20	Instalaciones de iluminación	8	17
21	Instalación de tomacorrientes y aparatos	8	17
22	Finalización de instalación de luminarias, tomacorrientes y aparatos	0	20;21

23	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
24	Pruebas de iluminación	2	14;10;19;22
25	Pruebas de suplencia de energía (Planta eléctrica)	2	24

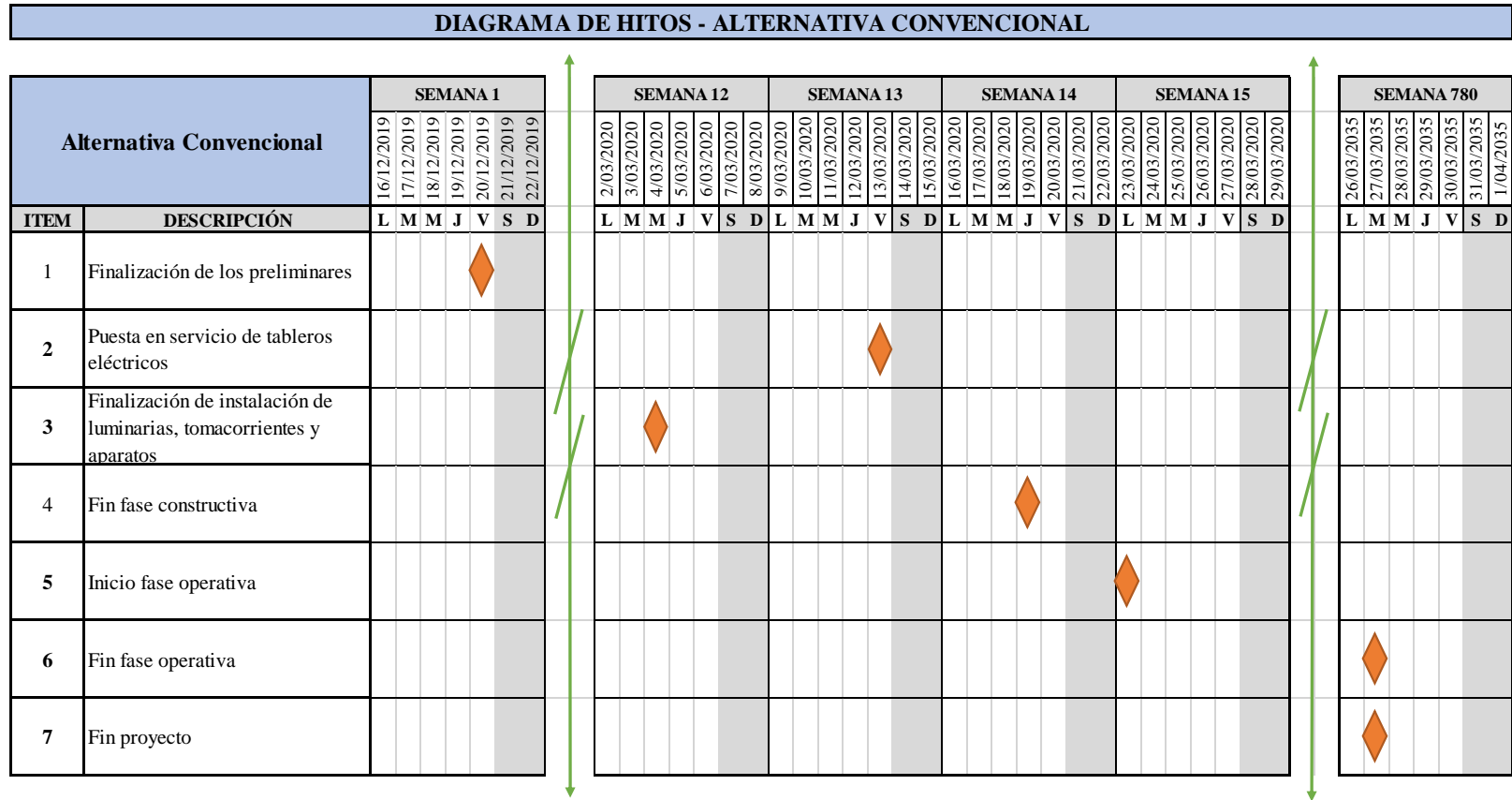
Fuente: Propia.

10.2 DIAGRAMA DE HITOS

Partiendo de la lista de actividades planteada anteriormente, se establecen los hitos, los cuales serán fechas de control y evaluación del desarrollo que presente la ejecución del proyecto.

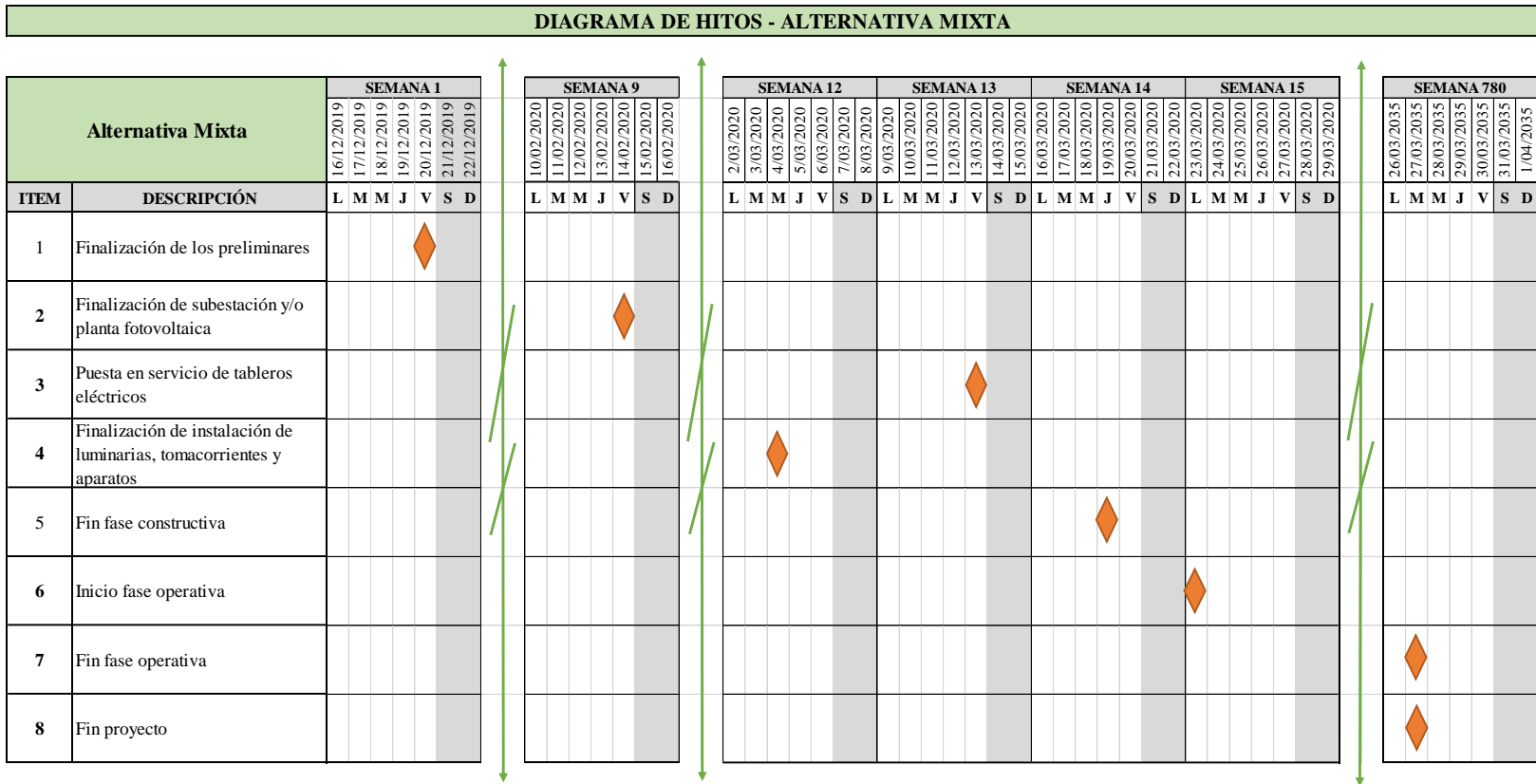
De esta manera, para el proyecto se establecen hitos como finalización de cada grupo de actividades o capítulos del listado anterior.

GRÁFICA 19 DIAGRAMA DE HITOS – ALTERNATIVA CONVENCIONAL



Fuente: Propia.

GRÁFICA 20 DIAGRAMA DE HITOS – ALTERNATIVA MIXTA



FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

Con relación a los diagramas presentados, se puede notar que la diferencia entre las dos alternativas reside el segundo hito, ya que la alternativa mixta, incluye un hito el cual controla la construcción de la planta fotovoltaica. Los demás hitos se mantienen exactos entre ambas alternativas.

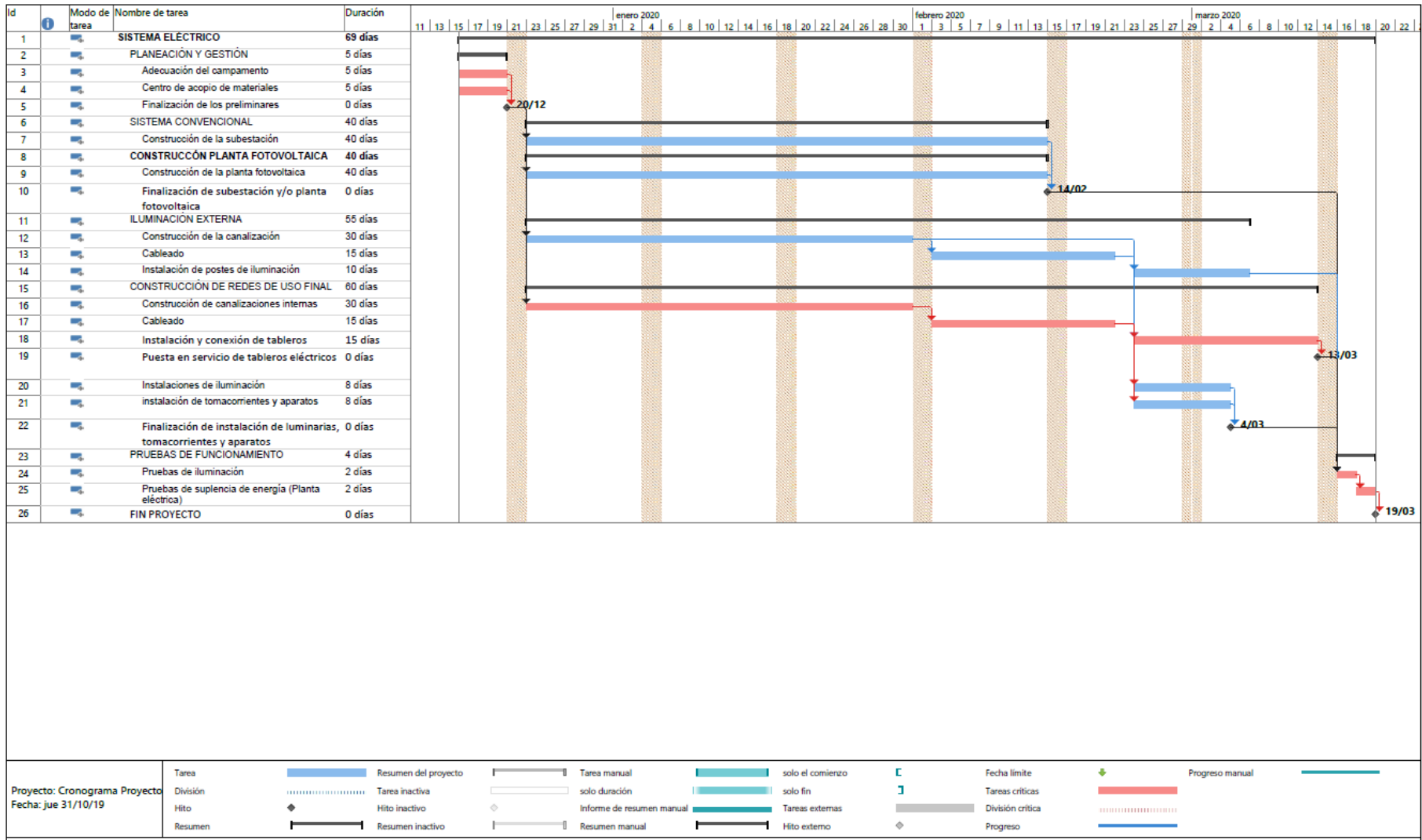
10.3 PROGRAMACIÓN Y RUTA CRÍTICA DEL PROYECTO

Una vez realizada la organización de las actividades por predecesoras y sucesoras, confirmada la duración de las actividades y fijados los hitos necesarios para el proyecto, se conformó la programación por medio del software Project, herramienta que permite consolidar la línea base del cronograma (tiempo) para conocer la duración exacta del proyecto, la ruta crítica y visualización de la jerarquización de las actividades a ejecutar.

Al conformar la programación, permite llevar un control más exacto sobre los tiempos de ejecución, de igual manera saber las actividades que requieren mayor seguimiento, control y que en caso de un retraso afectaran la fecha final (ruta crítica).

Por tal razón para el desarrollo del proyecto se realizó la programación, más sin embargo se debe resaltar que como se ha visto anteriormente, la diferencia entre alternativas recae solamente sobre la actividad (construcción planta fotovoltaica), es decir que analizando y de acuerdo a lo observado, no tiene gran relevancia sobre las fechas finales del proyecto; acorde a esto, se decidió presentar una sola programación.

GRÁFICA 21 PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO



FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

En la programación presentada solo se observa el comportamiento de la fase de construcción, ya que la fase operativa es por 15 años, lo cual dificulta el tema visual y de presentación para el documento. Sin embargo, cabe resaltar que durante la fase de operación solo se proyectan mantenimientos anuales.

La programación permite identificar los capítulos y actividades que se encuentran enmarcadas en la ruta crítica, las cuales son:

- Planeación y gestión, ya que es, el capítulo de partida para las demás actividades.
- Construcción de redes de uso final, desde el EDT se ha observado que en este capítulo se encuentra el mayor número de actividades, adicionalmente son las de mayor peso y duración para el proyecto. Al ser confirmado por la ruta crítica; este capítulo es fundamental y muy importante, por lo tanto, el director de proyectos deberá prestar más atención y cuidado en el momento de abarcar las actividades que allí se encuentran.

Como se mencionó anteriormente, la actividad que marca la diferencia entre las alternativas (convencional y mixta), no tiene gran relevancia en términos de **tiempo** para el proyecto, ya que esta actividad se puede trabajar en paralelo (como se evidencia en el cronograma) y darle un manejo adecuado desde el capítulo 2, lo que indica que no tendrá mayor influencia sobre el tiempo de ejecución.

11 FASE 4. EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL COSTO

11.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Siguiendo un orden metodológico coherente, se procedió a dar un valor en términos de costo para cada una de las actividades que anteriormente se estipularon y se han designado para el proyecto.

De esta manera se implementa un costo unitario el cual es la base para calcular los costos totales por actividad y de esta manera identificar el **costo directo** para las dos alternativas planteadas. Por medio de esta metodología se da origen al presupuesto del proyecto, el cual se presenta a continuación.

TABLA 11 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA DEL PABELLÓN CARCELARIO		RED CONVENCIONAL	RED CONVENCIONAL + PLANTA FOTOVOLTAICA
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VR. PARCIAL	VR. PARCIAL
CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN			
	CANALIZACIONES PARA CABLEADO ELÉCTRICO MEDIA TENSIÓN.	\$ 2.978.592	\$ 2.978.592
	PUESTA A TIERRA GENERAL Y OTRAS.	\$ 2.495.976	\$ 2.495.976
	ADECUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA MEDIA TENSIÓN.	\$ 28.734.635	\$ 28.734.635
	EQUIPOS SUBESTACIÓN Y MEDIA TENSIÓN.	\$ 16.505.653	\$ 16.505.653
	EQUIPOS TRANSFERENCIAS AUTOMATICAS	\$ 5.843.415	\$ 5.843.415
	EQUIPOS PLANTAS ELECTRICAS	\$ 52.579.227	\$ 52.579.227
	SUBTOTAL CAPITULO	\$ 109.137.498	\$ 109.137.498
CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE ENERGÍA SOLAR			
	PLANTA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA		\$ 462.739.200
CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ILUMINACIÓN EXTERNA			
	SALIDAS DE ALUMBRADO.	\$ 4.289.361	\$ 4.289.361
	LUMINARIAS DE URBANISMO Y ZONAS EXTERIORES.	\$ 26.024.586	\$ 26.024.586
	SUBTOTAL CAPITULO	\$ 30.313.947	\$ 30.313.947
CONSTRUCCIÓN DE REDES DE USO FINAL			
	CANALIZACIONES PARA CABLEADO ELÉCTRICO BT.	\$ 39.669.020	\$ 39.669.020
	ACOMETIDAS Y CABLEADOS BT.	\$ 27.003.250	\$ 27.003.250
	TABLEROS BT.	\$ 13.766.665	\$ 13.766.665
	INTERRUPTORES Y PROTECCIONES BT.	\$ 4.164.360	\$ 4.164.360
	SALIDAS DE TOMAS NORMALES Y REGULADAS.	\$ 1.912.392	\$ 1.912.392
	APARATOS ELÉCTRICOS.	\$ 298.488	\$ 298.488
	LUMINARIAS LÁMPARAS.	\$ 38.869.424	\$ 38.869.424

SUBTOTAL CAPITULO		\$ 125.683.599	\$ 125.683.599
TOTAL COSTOS DIRECTOS		\$ 265.135.044	\$ 727.874.244
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$ 68.802.544	\$ 188.883.366
ADMINISTRACIÓN	15%	\$ 39.770.257	\$ 109.181.137
IMPREVISTOS	5%	\$ 13.256.752	\$ 36.393.712
UTILIDAD	5%	\$ 13.256.752	\$ 36.393.712
I.V.A. / UTILIDAD	19%	\$ 2.518.783	\$ 6.914.805
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		\$ 333.937.588	\$ 916.757.610

Fuente: Propia.

Los costos presentados en la tabla anterior fueron tomados de las bases de costos de la Entidad utilizada para los procesos públicos de contratación. Se aclara que el presupuesto presentado solamente corresponde a la fase de construcción, en la fase de operación solo se proyectan mantenimientos anuales con un costo estimado de:

Alternativa convencional: Un valor de \$ 8.348.440 y un incremento anual del 4.69%

Alternativa mixta

- **Opción 1.** Un valor de \$ 8.348.440 y un incremento anual del 4.69% mas \$ 1.124.294 con un incremento del 2 % anual.
- **Opción 2.** Un valor de \$ 8.348.440 y un incremento anual del 4.69% (No se tiene en cuenta la planta debido al convenio)

Al definir el presupuesto del proyecto se puede identificar una primera diferencia en costo entre las alternativas. Esta diferencia es de \$ 582.820.022, generada principalmente por incluir la planta de energía solar fotovoltaica. Partiendo de esta perspectiva a simple vista, ya se percibe una desventaja para la alternativa mixta, sin embargo, en el análisis financiero se observará a detalle las implicaciones a tener en cuenta en cada caso.

A partir de las alternativas planteadas en la sección 7, se determinó el presupuesto basados en los análisis de datos encontrados en el mercado se determinaron los presupuestos para cada una de las alternativas en un escenario de construcción y operación del sistema eléctrico a 15 años.

11.2 CONTEXTO GENERAL DE ANÁLISIS.

Para una comparación paramétrica de los costos del proyecto en cada una de las alternativas planteadas se plantea un escenario el en cuál el proyecto (la totalidad de la red eléctrica) se construirá desde ceros, y se evaluará su operación durante quince (15) años, este tiempo es un dato esperado de la duración de la infraestructura modular en un estado operativo.

11.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE UN SISTEMA CONVENCIONAL

En esta alternativa se tiene un valor por la inversión de la red convencional (sistema de subestación en Poste), un costo asociado al mantenimiento anual y una estimación de los costos generados por el consumo de energía anual proyectado. Para determinar los costos de consumo se tomaron datos conocidos del Establecimiento EPMSC Cartago existente actualmente.

VARIABLES DE ANÁLISIS:

- Inversión Inicial: \$ 333.937.588
- Valor año 1 kWh: \$ 448
- Incremento del valor de la energía eléctrica (anual): 6%
- Inflación anual asociada al mantenimiento: 4,69%, tomada como un promedio de la variación de la inflación en el país durante los 5 años anteriores (2014-2018).

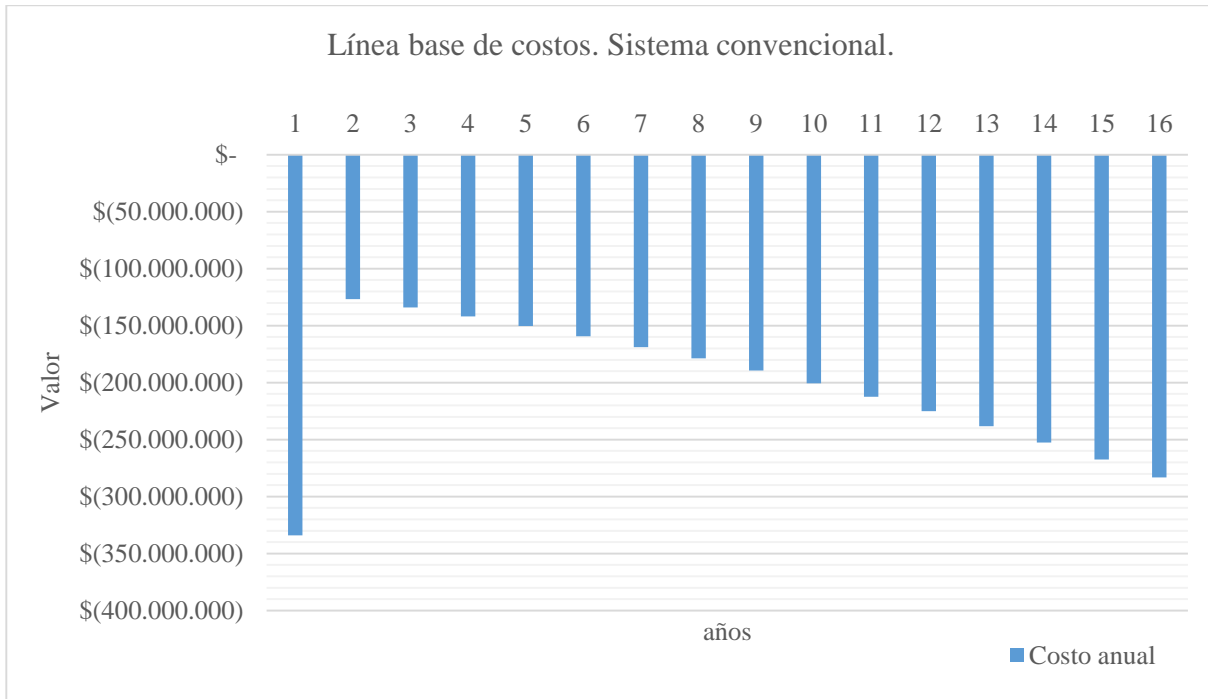
TABLA 12. SISTEMA CONVENCIONAL. ANÁLISIS DE COSTOS EN EL TIEMPO.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA CONVENCIONAL							
INVERSIÓN		CONSUMO ANUAL	VALOR KWH AÑO	VALOR CONSUMO ANUAL	VALOR MANTENIMIENTO	VALOR ACUMULADO	FLUJO ANUAL
Unidades		kWh	\$	\$	\$	\$	\$
\$333.937.588	AÑO 0	0					
	AÑO 1	264.000	\$ 448	-\$ 118.272.000	-\$ 8.348.440	-\$ 460.558.028	-\$ 126.620.440
	AÑO 2	264.000	\$ 475	-\$ 125.368.320	-\$ 8.739.982	-\$ 594.666.329	-\$ 134.108.302
	AÑO 3	264.000	\$ 503	-\$ 132.890.419	-\$ 9.149.887	-\$ 736.706.635	-\$ 142.040.306
	AÑO 4	264.000	\$ 534	-\$ 140.863.844	-\$ 9.579.016	-\$ 887.149.496	-\$ 150.442.861
	AÑO 5	264.000	\$ 566	-\$ 149.315.675	-\$ 10.028.272	-\$ 1.046.493.443	-\$ 159.343.947
	AÑO 6	264.000	\$ 600	-\$ 158.274.616	-\$ 10.498.598	-\$ 1.215.266.657	-\$ 168.773.214
	AÑO 7	264.000	\$ 635	-\$ 167.771.092	-\$ 10.990.982	-\$ 1.394.028.732	-\$ 178.762.075
	AÑO 8	264.000	\$ 674	-\$ 177.837.358	-\$ 11.506.460	-\$ 1.583.372.549	-\$ 189.343.817
	AÑO 9	264.000	\$ 714	-\$ 188.507.599	-\$ 12.046.112	-\$ 1.783.926.261	-\$ 200.553.712
	AÑO 10	264.000	\$ 757	-\$ 199.818.055	-\$ 12.611.075	-\$ 1.996.355.392	-\$ 212.429.131
	AÑO 11	264.000	\$ 802	-\$ 211.807.139	-\$ 13.202.535	-\$ 2.221.365.065	-\$ 225.009.673
	AÑO 12	264.000	\$ 850	-\$ 224.515.567	-\$ 13.821.733	-\$ 2.459.702.365	-\$ 238.337.301
	AÑO 13	264.000	\$ 901	-\$ 237.986.501	-\$ 14.469.973	-\$ 2.712.158.839	-\$ 252.456.474
	AÑO 14	264.000	\$ 956	-\$ 252.265.691	-\$ 15.148.614	-\$ 2.979.573.145	-\$ 267.414.306
	AÑO 15	264.000	\$ 1.013	-\$ 267.401.633	-\$ 15.859.084	-\$ 3.262.833.862	-\$ 283.260.717
VALORES TOTALES				-\$ 2.752.895.510	-\$ 176.000.764	-\$ 3.262.833.862	-\$ 3.262.833.862

Fuente: Propia.

A partir del flujo anual se tiene la línea base de costos para la Alternativa de construcción y consumo de energía de un sistema convencional.

GRÁFICA 22. SISTEMA CONVENCIONAL. LÍNEA BASE DE COSTOS



Fuente. Propia.

11.4 ANÁLISIS DE COSTOS DE UN SISTEMA MIXTO CON COMPRA DE PLANTA DE ENERGÍA SOLAR.

En esta alternativa tenemos un valor por la inversión de la red convencional más una planta de energía solar (sistema de subestación en Poste más planta solar a base de paneles solares), un costo asociado al mantenimiento anual de toda la infraestructura eléctrica (sistema convencional y planta de energía solar) y una estimación de los costos generados por el consumo de energía anual proyectado con un ahorro de energía por la generación en sitio de la planta de energía solar.

Variables de análisis:

- Inversión Inicial: $\$ 333.937.588 + \$ 462.739.200 = \$ 796.676.788$ (Red convencional

más planta eléctrica).

- Valor año 1 kWh: \$ 448
- Incremento del valor de la energía eléctrica (anual): 6%
- Inflación anual asociada al mantenimiento: 4,69%, tomada como un promedio de la variación de la inflación en el país durante los 5 años anteriores (2014-2018).
- Un valor por el mantenimiento de la planta eléctrica anual.
- Un ahorro de energía del 52,47%.

Pará el análisis del ahorro proyectado una empresa interesada en la instalación de este tipo de tecnología en el establecimiento realizó un estudio del consumo y tipo de consumo eléctrico y con base en la radiación promedio anual del sitio geográfico determinó el porcentaje de energía que puede suplir el sistema de paneles solares.

TABLA 13. SISTEMA MIXTO, OPCIÓN POR COMPRA DE PLANTA DE ENERGÍA SOLAR.

SISTEMA MIXTO. RED ELECTRICA CONVENCIONAL Y PLANTA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA							
VALOR INVERSIÓN	CONSUMO RED ANUAL	VALOR CONSUMO ANUAL (RED)	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RED	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA	VALOR ACUMULADO	FLUJO ANUAL	AHORRO VS RED
	kWh	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$ 796.676.788					-\$ 796.676.788	-\$ 796.676.788	-\$ 462.739.200
	125.479	-\$ 56.214.682	-\$ 8.348.440	-\$ 1.124.294	-\$ 862.364.203	-\$ 65.687.415	\$ 60.933.025
	125.479	-\$ 59.587.562	-\$ 8.739.982	-\$ 1.191.751	-\$ 931.883.498	-\$ 69.519.295	\$ 64.589.006
	125.479	-\$ 63.162.816	-\$ 9.149.887	-\$ 1.263.256	-\$ 1.005.459.457	-\$ 73.575.959	\$ 68.464.347
	125.479	-\$ 66.952.585	-\$ 9.579.016	-\$ 1.339.052	-\$ 1.083.330.111	-\$ 77.870.653	\$ 72.572.207
	125.479	-\$ 70.969.740	-\$ 10.028.272	-\$ 1.419.395	-\$ 1.165.747.518	-\$ 82.417.407	\$ 76.926.540
	125.479	-\$ 75.227.925	-\$ 10.498.598	-\$ 1.504.558	-\$ 1.252.978.599	-\$ 87.231.081	\$ 81.542.132
	125.479	-\$ 79.741.600	-\$ 10.990.982	-\$ 1.594.832	-\$ 1.345.306.014	-\$ 92.327.415	\$ 86.434.660
	125.479	-\$ 84.526.096	-\$ 11.506.460	-\$ 1.690.522	-\$ 1.443.029.092	-\$ 97.723.078	\$ 91.620.740
	125.479	-\$ 89.597.662	-\$ 12.046.112	-\$ 1.791.953	-\$ 1.546.464.820	-\$ 103.435.728	\$ 97.117.984
	125.479	-\$ 94.973.522	-\$ 12.611.075	-\$ 1.899.470	-\$ 1.655.948.887	-\$ 109.484.067	\$ 102.945.063
	125.479	-\$ 100.671.933	-\$ 13.202.535	-\$ 2.013.439	-\$ 1.771.836.793	-\$ 115.887.906	\$ 109.121.767
	125.479	-\$ 106.712.249	-\$ 13.821.733	-\$ 2.134.245	-\$ 1.894.505.021	-\$ 122.668.227	\$ 115.669.073
	125.479	-\$ 113.114.984	-\$ 14.469.973	-\$ 2.262.300	-\$ 2.024.352.277	-\$ 129.847.256	\$ 122.609.217
	125.479	-\$ 119.901.883	-\$ 15.148.614	-\$ 2.398.038	-\$ 2.161.800.812	-\$ 137.448.535	\$ 129.965.771
	125.479	-\$ 127.095.996	-\$ 15.859.084	-\$ 2.541.920	-\$ 2.307.297.812	-\$ 145.497.000	\$ 137.763.717
		-\$ 1.308.451.236		-\$ 26.169.025	-\$ 2.307.297.812	-\$ 2.307.297.812	\$ 955.536.050

Fuente. Propia.

A partir del flujo anual se tiene la línea base de costos para la Alternativa de construcción y consumo de energía con un sistema mixto de red eléctrico convencional más la adquisición y construcción de una planta de energía solar.

GRÁFICA 23. SISTEMA MIXTO OPCIÓN POR COMPRA DE PLANTA SOLAR. LÍNEA BASE DE COSTOS



Fuente. Propia.

11.5 ANÁLISIS DE COSTOS DE UN SISTEMA MIXTO CON ALIANZA PÚBLICO PRIVADA APP.

En esta alternativa tenemos un valor por la inversión de la red convencional, el valor por la instalación de la planta eléctrica es asumido en su totalidad por el contratista encargado del suministro, así como el costo por su operación y mantenimiento. El mantenimiento de la red convencional queda a cargo del Establecimiento. Se manejan dos costos para el consumo de la energía generada por la planta solar y la red convencional.

Variables de análisis:

- Inversión Inicial: \$ 333.937.588
- Valor año 1 kwh: \$ 448
- Incremento del valor de la energía eléctrica (anual): 6%
- Inflación anual asociada al mantenimiento: 4,69%, tomada como un promedio de la variación de la inflación en el país durante los 5 años anteriores (2014-2018).
- Un valor por el mantenimiento de la planta eléctrica anual.
- Un ahorro de energía del 52,47%.

TABLA 14. SISTEMA MIXTO, OPCIÓN POR APP.

SISTEMA MIXTO. RED ELECTRICA CONVENCIONAL Y PLANTA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA MEDIANTE COMPRA DE LA ENERGÍA PRODUCIDA									
INVERSIÓN	CONSUMO RED ANUAL	CONSUMO PLANTA SOLAR	VALOR CONSUMO KWH PLANTA	VALOR CONSUMO ANUAL RED	VALOR CONSUMO PLANTA	OPERACIÓN Y MTTO RED.	FLUJO ANUAL ACUMULADO	FLUJO ANUAL	AHORRO VS RED
\$ 333.937.588							-\$ 333.937.588	-\$ 333.937.588	\$ -
125.479	138.521	\$ 359	-\$ 56.214.682	-\$ 49.728.967	-\$ 8.348.440	-\$ 448.229.677	-\$ 114.292.089	\$ 12.328.351	
125.479	138.521	\$ 381	-\$ 59.587.562	-\$ 52.712.705	-\$ 8.739.982	-\$ 569.269.926	-\$ 121.040.249	\$ 13.068.052	
125.479	138.521	\$ 403	-\$ 63.162.816	-\$ 55.875.468	-\$ 9.149.887	-\$ 697.458.096	-\$ 128.188.170	\$ 13.852.135	
125.479	138.521	\$ 428	-\$ 66.952.585	-\$ 59.227.996	-\$ 9.579.016	-\$ 833.217.693	-\$ 135.759.597	\$ 14.683.264	
125.479	138.521	\$ 453	-\$ 70.969.740	-\$ 62.781.675	-\$ 10.028.272	-\$ 976.997.381	-\$ 143.779.688	\$ 15.564.259	
125.479	138.521	\$ 480	-\$ 75.227.925	-\$ 66.548.576	-\$ 10.498.598	-\$ 1.129.272.480	-\$ 152.275.099	\$ 16.498.115	
125.479	138.521	\$ 509	-\$ 79.741.600	-\$ 70.541.490	-\$ 10.990.982	-\$ 1.290.546.553	-\$ 161.274.073	\$ 17.488.002	
125.479	138.521	\$ 540	-\$ 84.526.096	-\$ 74.773.980	-\$ 11.506.460	-\$ 1.461.353.089	-\$ 170.806.536	\$ 18.537.282	
125.479	138.521	\$ 572	-\$ 89.597.662	-\$ 79.260.419	-\$ 12.046.112	-\$ 1.642.257.282	-\$ 180.904.193	\$ 19.649.519	
125.479	138.521	\$ 607	-\$ 94.973.522	-\$ 84.016.044	-\$ 12.611.075	-\$ 1.833.857.922	-\$ 191.600.641	\$ 20.828.490	
125.479	138.521	\$ 643	-\$ 100.671.933	-\$ 89.057.006	-\$ 13.202.535	-\$ 2.036.789.396	-\$ 202.931.474	\$ 22.078.199	
125.479	138.521	\$ 681	-\$ 106.712.249	-\$ 94.400.427	-\$ 13.821.733	-\$ 2.251.723.806	-\$ 214.934.409	\$ 23.402.891	
125.479	138.521	\$ 722	-\$ 113.114.984	-\$ 100.064.452	-\$ 14.469.973	-\$ 2.479.373.215	-\$ 227.649.409	\$ 24.807.065	
125.479	138.521	\$ 766	-\$ 119.901.883	-\$ 106.068.319	-\$ 15.148.614	-\$ 2.720.492.032	-\$ 241.118.817	\$ 26.295.489	
125.479	138.521	\$ 812	-\$ 127.095.996	-\$ 112.432.419	-\$ 15.859.084	-\$ 2.975.879.531	-\$ 255.387.499	\$ 27.873.218	
			-\$1.308.451.236	-\$1.157.489.943	-\$176.000.764	-\$ 2.975.879.531	-\$2.975.879.531	\$ 286.954.331	

Fuente. Propia.

A partir del flujo anual se tiene la línea base de costos para la alternativa de construcción y consumo de energía con un sistema mixto de red eléctrico convencional, es este caso la construcción y operación de la planta de generación eléctrica por un contratista o tercero y un cobro diferencial por el consumo de energía.

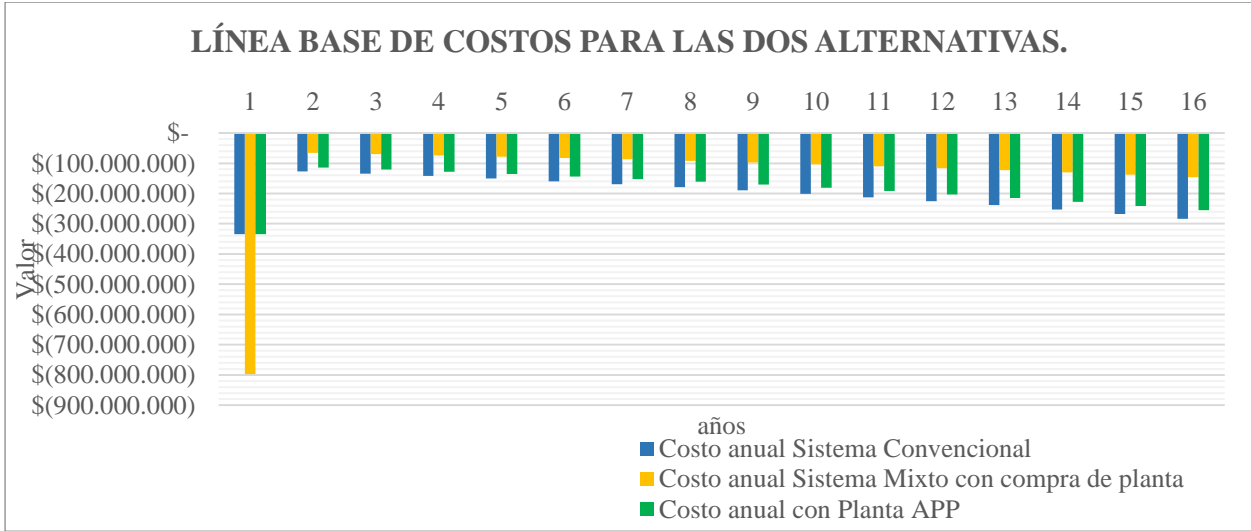
GRÁFICA 24 SISTEMA MIXTO OPCIÓN POR APP. LÍNEA BASE DE COSTOS



Fuente. Propia.

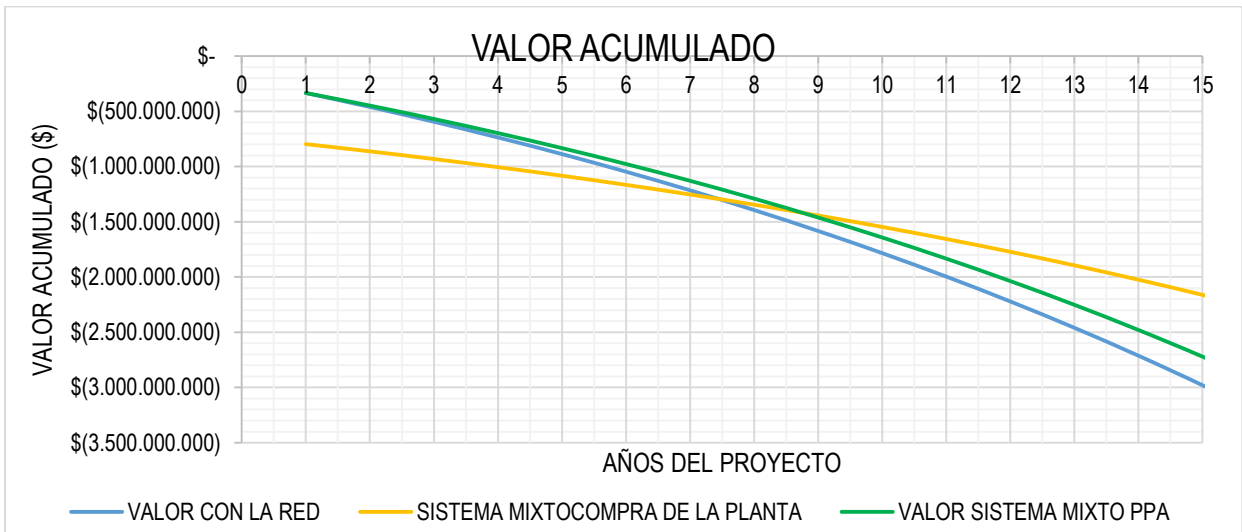
A continuación, se muestran los datos comparativos de las tres alternativas planteadas tanto en el flujo anual de costos, como en el monto acumulado.

GRÁFICA 25. LÍNEA BASE DE COSTOS PARA LAS ALTERNATIVAS.



Fuente. Propia.

GRÁFICA 26. FLUJO ACUMULADO PARA LAS ALTERNATIVAS



Fuente. Propia.

11.6 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Dado que en los casos de estudio presentados no se tiene un flujo de dinero positivo (ingresos) sino que todos los valores de análisis corresponden a un flujo negativo se realiza el análisis comparativo mediante el Valor Presente Neto de cada proyecto.

TABLA 15. VALOR PRESENTE NETO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.

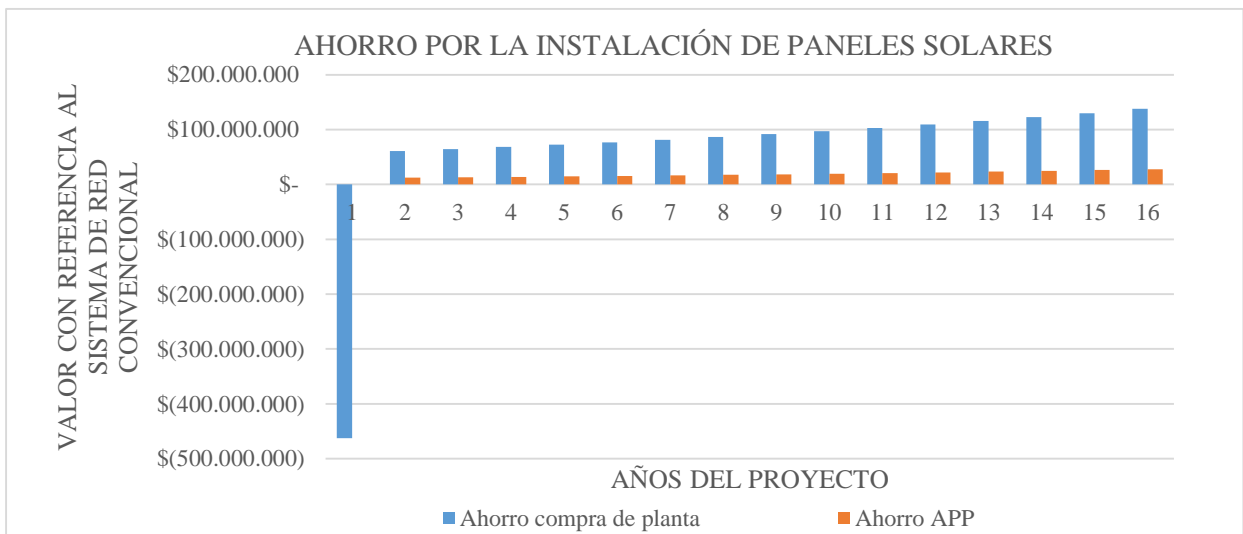
VALOR PRESENTE NETO		
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
-\$ 2.304.950.084	-\$ 1.813.861.215,52	-\$ 2.975.879.530,66

Fuente. Propia.

11.7 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS CON ENERGÍA SOLAR EN COMPARACIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL.

Como ejercicio de análisis se planteó una comparativa de las dos alternativas en las cuales se involucra el sistema de paneles solares como fuente de energía eléctrica versus el sistema convencional. En este caso se tomaron los valores obtenidos del flujo anual del sistema convencional como referencia y la diferencia a favor de los sistemas de paneles solares como un ingreso positivo. En una de las alternativas fue posible calcular la TIR como medida de análisis.

GRÁFICA 27. ANÁLISIS DEL AHORRO EN LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES



Fuente. Propia.

A partir de los consumos anuales comparativos con el sistema convencional se tienen los siguientes indicadores financieros:

TABLA 16. INDICADORES COMPARATIVOS DEL SISTEMA MIXTO VERSUS EL SISTEMA CONVENCIONAL.

INDICADORES FINANCIEROS (AHORRO)		
Valor Actual Neto VAN	\$ 491.088.868,70	\$ 192.984.468,77
Tasa Ponderada del Proyecto	4,69%	4,69%
Tasa Interna de Retorno TIR	15,56%	No aplica
Inversión inicial	-\$ 462.739.200	\$ -
Porcentaje de ahorro con respecto al sistema convencional	21,31%	8,37%
Valor Presente Flujos Positivos	\$ 953.828.068,7	\$ 192.984.468,8
Valor Presente Flujos Negativos	-\$ 462.739.200,0	\$ -
Razón Benéfico/Costo	-2,06	0,00

Fuente. Propia.

12 FASE 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

12.1 TABLAS COMPARATIVAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.

De los datos obtenidos en los capítulos anteriores se presenta a continuación un resumen de las principales características encontradas en las alternativas planteadas

TABLA 17. COMPARACIÓN DEL ALCANCE A LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.

CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA PARA UN PABELLÓN MODULAR CARCELARIO.

REQUERIMIENTOS			
Área de intervención	1500 m2 aprox.	No. Internos	100
Carga requerida por el pabellón	95 kWp	No. Pabellones	1

GESTION ALCANCE				
Descripción	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
Objetivos				
Construcción de la red de energía eléctrica para un pabellón carcelario construido en sistema modular	x		x	
Garantizar la operación y mantenimiento de la red de energía eléctrica del pabellón por 15 años	x		x	
Realizar la ejecución del proyecto contemplando los siguientes parámetros para los recursos económicos: Construcción: \$ 950.000.000. Operación y mantenimiento (15 años): \$ 205.000.000 Valor consumo energía eléctrica (15 años): \$ 4.000.000 kwh	x		x	
Entregables				
Entregar un sistema de red de energía eléctrica para un pabellón carcelario, garantizando su funcionalidad, calidad y estabilidad	x		x	
Garantizar y mantener la correcta operación de la red de energía eléctrica del pabellón por un término de 15 años, en los cuales se debe cumplir con la normatividad técnica, legal, administrativa y financiera vigente.	x		x	

Actividades EDT				
Pre-Construcción				
Campamento	x		x	
Centro de acopio de materiales	x		x	
Preliminares	x		x	
Construcción				
Sistema de alimentación	x		x	
Iluminación externa	x		x	
Redes de uso final	x		x	
Comisionamiento				
Pruebas de suplencia de energía	x		x	
Pruebas de iluminación	x		x	
Operación y mantenimiento				
Mantenimientos Anuales de la infraestructura.	x		x	
Mantenimientos planta de energía solar			x	

Fuente. Propia.

TABLA 18. COMPARACIÓN DEL CRONOGRAMA A LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.

GESTION CRONOGRAMA				
Descripción	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
HITOS DEL PROYECTO				
Finalización de los preliminares - (20 - 12 - 2019)	x		x	
Finalización de la subestación y/o planta fotovoltaica - (14 - 02 - 2020)	x		x	
Puesta en servicio de tableros eléctricos - (13 - 03 - 2020)	x		x	
Finalización de instalación de luminarias, tomacorrientes y aparatos - (04 - 03 - 2020)	x		x	
Fin fase constructiva - (19 - 03 - 2020)	x		x	
Inicio fase operativa - (23 - 03 - 2020)	x		x	

Fin proyecto	x		x	
DURACION				
Fase de construcción (69 días)	x		x	
Fase de operación (15 años)	x		x	
<p>Nota: Las alternativas con energía solar, están pensadas para una instalación de la planta solar fotovoltaica, aledaña a los contenedores modulares, esto quiere decir, que dado el escenario donde no se cuenta con el espacio, requerido para los paneles, otra alternativa es instalarlos en las cubiertas de los contenedores. Si bien en esta alternativa, puede presentarse un aumento del tiempo de ejecución del proyecto, el pabellón puede operar en su totalidad por la red convencional, con lo cual no se afectaría fecha de entrada en operación.</p>				

Fuente. Propia

TABLA 19. COMPARACIÓN DEL COSTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.

GESTION COSTO			
Descripción	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 2	
		Opción 1	Opción 2
PRESUPUESTO			
Construcción de la subestación	\$ 109.137.498	\$ 109.137.498	\$ 109.137.498
Construcción planta de energía fotovoltaica	\$ -	\$ 462.739.200	\$ -
Construcción de la red de iluminación externa	\$ 30.313.947	\$ 30.313.947	\$ 30.313.947
Construcción de redes de uso final	\$ 125.683.599	\$ 125.683.599	\$ 125.683.599
Costo directo obra	\$ 265.135.044	\$ 727.874.244	\$ 265.135.044
Administración del 15%	\$ 39.770.257	\$ 109.181.137	\$ 39.770.257
Imprevistos del 5%	\$ 13.256.752	\$ 36.393.712	\$ 13.256.752
Utilidad del 5%	\$ 13.256.752	\$ 36.393.712	\$ 13.256.752
IVA / Utilidad del 19%	\$ 2.518.783	\$ 6.914.805	\$ 2.518.783
Presupuesto de construcción	\$ 333.937.588	\$ 916.757.610	\$ 333.937.588
Presupuesto de operación (15 años)	\$ 176.000.764	\$ 202.169.788	\$ 176.000.764

Fuente: Datos presentados en la Tabla 11

12.2 ALCANCE

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, no se evidencia un cambio significativo en las actividades a desarrollar por cada una de las alternativas analizadas, sin embargo, cabe resaltar, que la alternativa con implementación de energía alternativa requiere una actividad adicional en la construcción del sistema eléctrico que es precisamente la instalación del sistema de paneles solares.

Un beneficio encontrado en la implementación de energía solar a base de paneles fotovoltaicos es generar un sistema de respaldo ante cortes de energía en horas de luz solar. Esto disminuiría el consumo de combustible de las plantas eléctricas de respaldo

Por lo tanto, a nivel de alcance las dos alternativas son viables y cumplen con los requisitos que el proyecto establece en cuanto al área del proyecto, demanda de energía y parámetros de construcción.

12.3 TIEMPO

Teniendo presente los hitos establecidos para el proyecto, se observa que las tres alternativas analizadas, están en la capacidad de cumplir con las fechas pactadas, al igual que con los tiempos de ejecución para la fase constructiva y la fase de operación y mantenimiento.

No obstante, es importante advertir que las alternativas que cuentan con la instalación de planta fotovoltaica, de acuerdo con la nota de la Tabla 18 pueden cambiar sus tiempos de construcción, ya que esta actividad puede aumentar en un máximo de 40 días la ejecución a totalidad del proyecto.

Cabe resaltar que, aun teniendo en cuenta la posible variación del tiempo como consecuencia de la planta fotovoltaica, el proyecto puede comenzar su operación en la fecha establecida, y que, al ser un sistema mixto, este puede iniciar su abastecimiento por medio del sistema convencional, mientras se realiza la finalización y puesta en operación de la planta de energía fotovoltaica.

12.4 COSTO

Dado los dos sistemas planteados y las tres posibilidades económicas mostradas en el Numeral

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., se tiene que el mayor ahorro por el consumo de energía eléctrica al interior del pabellón carcelario se da bajo la alternativa de un sistema mixto en la opción de la adquisición y puesta en funcionamiento de la planta de energía solar por el Establecimiento.

La alternativa de un sistema mixto con planta de energía solar y red convencional bajo la modalidad de alianza público-privada (APP) tiene un ahorro del valor del consumo de energía menor que la alternativa de adquisición y puesta en funcionamiento de la planta de energía, un 8,37% vs un 21,31% pero no requiere inversión inicial ni inversión de recursos durante su tiempo de operación.

Se establece bajo la alternativa de un sistema mixto dos opciones de modelo económico, será una decisión de la dirección del proyecto escoger cuál de las alternativas es más favorable de acuerdo a las condiciones del proyecto.

13 ENTREGA DE RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS

13.1 APORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS

El resultado del trabajo desarrollado en este documento es una herramienta para la toma de decisión en una fase de estudio de alternativas para la ejecución de un proyecto, dado que plantea un análisis de la implementación de paneles solares para la generación de energía eléctrica en un pabellón carcelario, en este caso modular, con base en información del mercado actual colombiano, análisis de costos de inversión, mantenimiento y operación en escenarios a mediano plazo (para este caso 15 años).

De los resultados se presentan dos opciones de modelos económicos para la implementación de energías alternativas, como lo son en este caso los sistemas de generación eléctrica por medio de paneles solares, lo que le permite al director de proyectos tomar decisiones basadas en diferentes alternativas de financiación ante la implementación de este tipo de tecnología, dado que en gran medida, el desconocimiento tanto funcional como en el modelo económico de las tecnologías de energía alternativa es lo que ha retrasado la implementación de estos sistemas en mayor proporción.

Si bien, los análisis presentados se desarrollaron en un contexto de infraestructura modular carcelaria, los resultados y el modelo de análisis desarrollado puede ser escalado a muchos proyectos diferentes que involucren el consumo de energía eléctrica.

13.2 CÓMO SE RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS

¿Cuáles son los beneficios en cuanto a alcance tiempo y costo de implementar paneles solares en el suministro de energía eléctrica en un pabellón carcelario modular en comparación con el uso exclusivo de energía eléctrica convencional?

Desde el punto de vista de la triple restricción bajo la cual se desarrolló esta investigación se realiza el desglose de la pregunta de investigación en los tres aspectos base; alcance, tiempo y costo en las dos alternativas planteadas, una en la cual la energía eléctrica requerida por el pabellón carcelario sea tomada en su totalidad por una red convencional a través de un operador de red, y otra en la cual se realice la construcción de un sistema mixto que además de poseer la red

convencional también incluya un planta de generación eléctrica a partir de paneles solares

- Al comparar el alcance de las dos alternativas, se determinó que ambas alternativas cumplen con la finalidad de proveer un servicio continuo de energía al establecimiento. El beneficio adicional encontrado en la implementación de paneles solares es que puede ser utilizado como sistema de respaldo ante cortes del servicio de energía, lo que conlleva a un sistema más robusto ante contingencias.
- Desde el análisis del tiempo de ejecución del proyecto no se encontraron grandes diferencias y/o beneficios a favor de una u otra alternativa, por lo cual se concluyó que ambos sistemas cumplen en igual medida con su función en los mismos tiempos de ejecución.
- Al analizar los costos generados por las dos alternativas se encontró un ahorro del 21,31% y del 8,37% presentado en la Tabla 16, con la utilización de sistemas con paneles solares. La diferencia en el valor de ahorro corresponde a las diferentes opciones de propuesta económica de los sistemas de paneles solares.

13.3 ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

Se hace entrega del presente documento como proyecto del trabajo de grado a la Universidad Católica de Colombia con sus respectivos anexos.

Se entrega un documento tipo artículo IEEE como una presentación condensada del trabajo desarrollado.

El día 16 de noviembre de 2019 se realizará una presentación ante un jurado designado por la Universidad, quien conocerá y calificará los resultados de la investigación.

Finalmente se dejará el proyecto en formato digital en el repositorio de la biblioteca en consulta abierta para todos lo que deseen usarlo como base para desarrollo de otros proyectos similares.

14 NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO.

- Aplicación de sistemas de energía renovables como paneles solares a otro tipo edificaciones con diferentes funcionalidades, como residencial, oficinas, etc.
- Aplicación de diferentes tipos de energía no renovable para la generación de energía eléctrica requerida por una infraestructura en particular, energía por biomasa, energía eólica, energía mareomotriz, energía geotérmica, etc.
- Implementación de tecnologías de vanguardia en cuanto a eficiencia energética y modelos constructivos tipo LEED para optimización de la eficiencia de la energía eléctrica consumida por un tipo de infraestructura en particular.
- Aplicación de tecnologías que desarrollen energía sostenible, aplicada a estructuras construidas por medio de nuevas metodologías como: sistemas de entramado de acero o madera, Steel framing, autoensamble como PVC, etc.

15 CONCLUSIONES.

1. El creciente desarrollo de las energías alternativas conlleva a que cada día más la instalación y puesta en operación de sistemas de este tipo, como lo es para este documento un sistema de energía solar a partir de paneles fotovoltaicos sea factible en términos económicos para un cliente, cumpliendo adicionalmente con las características de alcance y tiempo requeridas.
2. Un sistema de energía mixto, que involucre la implementación de paneles solares para la generación eléctrica puede ser fácilmente justificable desde el ahorro en el valor del consumo que se genera a partir de su implementación.
3. Los tiempos de implementación de un sistema de paneles solares, así como su modelo constructivo permiten que puedan ser fácilmente instalados si se tiene un área adecuada para ello, no requiere cortes de energía durante su proceso constructivo, ni una infraestructura física muy robusta.
4. Dado que en el desarrollo de un proyecto de este tipo se involucran variables externas como es la radiación solar y la cantidad de horas sol día, se requiere en caso de querer implementar un proyecto de este tipo en otra localización realizar un estudio técnico para determinar el porcentaje de energía que puede llegar a ser generada por un sistema de paneles solares. Este sería un insumo indispensable para el desarrollo del análisis comparativo llevado a cabo en este documento.
5. En medio del desarrollo de la investigación se evidencio la importancia y la utilidad que brinda la gerencia de obras por medio de la gestión de proyectos, basada en una metodología como la desarrollada en este documento; ya que inicialmente no se tenía planeada una alternativa mixta, se pensaba comparar alternativas independiente en su modalidad, pero a medida que se profundizo en el proyecto y por temas económicos de la construcción sostenible en el país, se optó por analizar una alternativa mixta que brindara una mejor propuesta a la entidad dueña del proyecto.

16 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Convencion Marco de las Naciones Unidas, *Acuerdo de Paris*, París, 2013.
- [2] XM, «Informe de operación del SIN y administración del mercado 2017,» 2017.
- [3] USPEC, «Plan de transformación y Humanización del SIstema Carcelario en Colombia.,» Bogotá, 2019.
- [4] Project Managenment Institute, Inc., Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos., Pennsylvania, EE.UU: Project Management Institute, Inc., 2017.
- [5] Instituto Penitenciario y Carcelario -INPEC-, «Informe Estadistico febrero 2019. Población reclusa a cargo del Inpec,» Oficina asesora de planeación. Grupo estadística, Bogotá, 2019.
- [6] USPEC, «USPEC. Unidad de servicios penitenciarios y carcelarios,» 22 01 2019. [En línea]. Available: www.uspec.gov.co. [Último acceso: 29 04 2019].
- [7] CEPAL; Javier Blanco, «Panorama del cambio climático en Colombia.,» Naciones Unidad, Santiago de CHile, 2013.
- [8] C. Garcia, G. Vallejo, L. H. Mary y E. Escobar, «El acuerdo de París, Así actuará Colombia frente al cambio climático.,» WWF-Colombia, Santiago de Cali, 2016.
- [9] N. E. Hernandez Rueda y A. X. Ramirez Contreras, *Estudio Sobre la Sustitución por Energías Renovables (Solar Fotovoltaica) en las Instituciones educativas de Básica Primaria y Secundaria en Colombia: Análisis y Posibilidades.*, Bogotá: Univerisidad Santo Tomás, 2015.

- [10] Colegio Oficial de Ingenieros de telecomunicación, «Energía Solar Fotovoltaica,» Colegio Oficial de ingenieros de telecomunicacion, Madrid, 2002.
- [11] H. Gruppe. [En línea]. Available: <http://www.hildebrandt.cl/principios-de-la-construccion-modular/>.
- [12] IDEAM; UPME, Atlas de radiación solar, ultravioleta y Ozono de Colombia, Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2017.
- [13] INEA, Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia., Bogotá: Ruecolor Ltda, 1996.
- [14] La energía solar. Aplicaciones prácticas, Sevilla: Progensa, 2009.
- [15] H. Rodriguez Murcia, «Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,» *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes #28*, 2008.
- [16] M. Grágeda, M. Escudero, W. Alavia, S. Ushak y V. Fthenakis, «Review and multi-criteria assessment of solar energy projects in Chile, renewable and Sustainable Energy Reviews.,» *Sciencedirect*, vol. 59, pp. 583-596, 2016.
- [17] A. Zurita, A. Castillejo-Cuberos, M. García, C. Mata-Torres, Y. Simsek, R. García, F. Antonanzas-Torres y R. A. Escobar., «State of the art and future prospects for solar PV development in Chile, renewable and Sustainable Energy Reviews.,» *Sciencedirect*, vol. 92, pp. 701-727, 2018.
- [18] M. Farhat, O. Barambones, J. A. Ramos, E. Duran y J. M. Andujar., «Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico,» *Sciencedirect*, vol.

12, pp. 476-487, 2015.

- [19] A. Sharma, «A comprehensive study of solar power in India and World,» *Sciencedirect*, vol. 15, pp. 1767-1776, 2011.
- [20] L. Fialho, R. Melicio, V. Mendes, J. Figueiredo y M. Collares-Pereira, «Effect of Shading on Series Solar Modules: Simulation and Experimental Results,» *Sciencedirect*, vol. 2014, pp. 295-302, 2014.
- [21] G. Baxter, P. Srisaeng y G. Wild, «Environmentally Sustainable Airport Energy Management Using Solar Power Technology: The Case of Adelaide Airport, Australia,» *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, pp. 81-100, 2019.
- [22] M. A. Arenas, I. Padilla, J. I. Robla, A. J. Vázquez y A. López-Delgado, «The use of concentrated solar energy for the reduction of CuO in H₂,» *Solar Energy*, vol. 180, pp. 640-647, 2019.
- [23] J. A. León, G. Montero, M. A. Coronado, C. García, H. E. Campbell, J. R. Ayala y C. A. Sagaste, «Renewable Energy Integration: Economic Assessment of Solar Energy to Produce Biodiesel at Supercritical Conditions,» *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-9, 2018.
- [24] A. Talamon, R. V. Papp, I. Vokony y B. Hartmann, «Global Solar Energy Trends and Potential of Building Sector in Hungary,» *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, vol. 17, pp. 51-57, 2019.
- [25] D. B. Hidalgo, R. J. Borges y Y. V. Nodal, «Applications of Solar Energy: History, Sociology and last Trends in Investigation,» *Producción Más Limpia*, vol. 13, pp. 21-28, 2018.

- [26] R. Hernandez Sampieri, Metodología de la Investigación, Mexico: Mc Graw Hill, 2014.
- [27] CEPAL, «Fuentes renovables de energía en América Latina y en el Caribe.,» 2004.
- [28] L. Morinigo, C. Romero, R. Rios y A. y. B. G. Gonzalez, «Electrical Energy Supply Alternatives Analysis for an Isolated Community - Pozo Hondo, Paraguayan Chaco,» *2018 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2018*, 2019.
- [29] D. Sosa-Ibarra y R. García-Alvarado, «Architectural Shape and Photovoltaic Integration in Educational Buildings in Concepcion, Chile [Forma arquitectónica e integración fotovoltaica en edificios educacionales de Concepción, Chile,» *Scopus*, n° 24, pp. 67 - 75, 2018.
- [30] S. Volkov, I. Garipov, D. Lastochkin, A. Medyakov, E. Onuchin y A. Ostashenkov, «Study of the reliability of the power supply system based on the solar power plant,» *Scopus*, vol. 40, n° 3, p. 29, 2019.
- [31] I. M. O. Rojas, «Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia,» *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 8, pp. 169-182, 2019.