

**IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE FUENTES NO  
CONVENCIONALES DE ENERGÍA, PARA DISTRITOS TÉRMICOS EN BOGOTÁ**

**Karen Natalia Díaz Martínez**

**Estudiante Maestría en Construcción Sostenible**



**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca**

**Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

**Maestría en Construcción Sostenible**

**IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE FUENTES NO  
CONVENCIONALES DE ENERGÍA, PARA DISTRITOS TÉRMICOS EN BOGOTÁ**

**Karen Natalia Díaz Martínez**

**Estudiante Maestría en Construcción Sostenible**

**Trabajo de Grado**

**Director**

**Sergio Alfonso Ballén Zamora**

**Codirector**

**James Alberto Ortega Morales**



**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca**

**Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

**Maestría en Construcción Sostenible**

“La energía es esencial para el desarrollo,  
y la energía sostenible es esencial para el desarrollo sostenible”

Tim Wirth.

A mis padres y mi hermano, por su impagable apoyo y comprensión

A mi familia y mi novio por su amor y fortaleza

A mis directores, Sergio Ballén y James Ortega, por su labor de enseñanza, guía y apoyo  
A ACAIRE y su grupo de investigación CIDARE, en especial a Jordy López y Bolívar Monroy,  
por su acompañamiento y dedicación en el desarrollo de la investigación

A todos los docentes, compañeros de la Maestría.

Muchas gracias.

**Karen Natalia Diaz Martínez**

## Contenido

1.	15
2.	18
3.	19
4.	22
4.1.	22
4.2.	22
5.	23
5.1.	23
5.1.1.	23
5.1.2.	24
5.1.3.	24
5.1.4.	25
5.1.5.	26
5.1.6.	26
5.2.	27
5.3.	28
5.3.1.	29
5.3.2.	30
5.3.3.	36

5.3.4.	37
5.3.5.	38
5.3.6.	39
5.4.	43
5.4.1.	43
5.4.2.	44
5.4.3.	44
5.4.4.	44
5.5.	45
6.	55
7.	58
7.1.	60
7.1.1.	69
7.1.2.	75
7.1.3.	84
7.2.	88
7.3.	91
7.4.	104
7.5.	106
7.6.	136

7.7. 146

8. 158

Referencias Bibliográficas

161

## Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de recolección de información referencial - artículos científicos	58
Tabla 2. Tabla de recolección de información referencial - pdf sitios web, artículos, tesis y documentos	58
Tabla 3. Tabla de recolección de información normativa y entes nacionales y territoriales	58
Tabla 4. Consumo de energía por tipo de edificación ANEXO INF 05	89
Tabla 5. Consumo de energía, uso residencial por estrato ANEXO INF 06	89
Tabla 6. Promedios de información de las cuatro fuentes	98
Tabla 7. Diferencias de Datos	100
Tabla 8. Matriz de caracterización de potenciales clientes	109
Tabla 9. Consumo de energético anual por tipo de edificación	111
Tabla 10. Matriz potenciales clientes que NO CUMPLEN requisitos para implementar distritos térmicos por medio de FNCE	127
Tabla 11. Matriz potenciales clientes que CUMPLEN requisitos para implementar distritos térmicos por medio de FNCE	129
Tabla 12. Análisis planta sótano de distrito térmico La Alpujarra	135
Tabla 13. Análisis planta primer piso de distrito térmico La Alpujarra	136
Tabla 14. Análisis planta segundo piso de distrito térmico La Alpujarra	137
Tabla 15. Análisis planta cubierta de distrito térmico La Alpujarra	138
Tabla 16. Características de programa de necesidades y su flexibilidad	140



## Índice de Figuras

Figura 1. Distritos térmicos	28
Figura 2. Proyección de participación de energía renovable	46
Figura 3. Metodología de investigación.	57
Figura 4. Chiller electrico	62
Figura 5. Chiller de absorción	63
Figura 6. Sistema de rechazo de calor	64
Figura 7. Sistema de bombeo	65
Figura 8. Beneficios de implementar	67
Figura 9. Distritos térmicos de Ginebra, Suiza	69
Figura 10. Esquema de la instalación de DHC en Barcelona	69
Figura 11. Distritos térmicos de Olot	70
Figura 12. Distritos térmicos de Olot	71
Figura 13. Distritos térmicos de Palencia, España	71
Figura 14. Distritos térmicos San Sebastián	72
Figura 15. Distritos térmicos de Gotemburgo	73
Figura 16. Distritos térmicos en operación y desarrollo en Colombia	74
Figura 17. Distritos térmicos La Alpujarra	75
Figura 18. Distritos térmicos Nuestra Montería	76
Figura 19. Distritos térmicos Serena del Mar	77
Figura 20. Distritos térmicos Serena del Mar	77
Figura 21. Potencial de refrigeración en las principales ciudades y las posibles configuraciones de distritos térmicos. Basado en la Universidad Nacional de Colombia, 2016.	81
Figura 22. Distrito térmico de Bogotá	84
Figura 23. Carta psicométrica de Bogotá	85
Figura 24. Localidades de Bogotá	86
Figura 25. Matriz de caracterización de localidades	87
Figura 26. Consumo de energía por localidades de Bogotá	88
Figura 27. Velocidad del aire – Doc. Calidad del aire de Bogotá	90
Figura 28. Radiación solar – Doc. Calidad del aire de Bogotá	91
Figura 29. Velocidad del aire – histórico del IDEAM	92

	10
Figura 30. Radiación solar – histórico del IDEAM	93
Figura 31. Radiación solar – Universidad EIA	94
Figura 32. Velocidad del aire – Software ENAIR	96
Figura 33. Radiación solar – Software ENAIR	97
Figura 34. Contrastar fuentes	99
Figura 35. Potencial de energía eólica	102
Figura 36. Potencial de energía solar	103
Figura 37. Mapa Puente Aranda - subdivisión	105
Figura 38. Proceso estándar para conceptualizar, desarrollar y poner en marcha un distrito térmico	106
Figura 39. Zonas de alto potencial para implementar distritos térmicos	107
Figura 40. Análisis de potenciales clientes, localidad de Puente Aranda	108
Figura 40. Mapa de tratamientos localidad de Puente Aranda	110
Figura 41. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos	112
Figura 42. Cálculo de Generación energía (kWh día)	112
Figura 43. Celdas fotovoltaicas para investigación	113
Figura 44. Cálculo de potencia a la salida de generador fotovoltaico	114
Figura 45. Resumen de cargas de cada recinto Refrigeración	115
Figura 46. Cálculo de w/m <sup>2</sup> a Mbtu/m <sup>2</sup>	116
Figura 47., Cálculo de Mbtu/m <sup>2</sup> a TR/m <sup>2</sup>	116
Figura 48. Cálculo de TR por área total	117
Figura 49. Conversión de TR a kWe	117
Figura 50. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos	117
Figura 51. Resumen de cargas de cada recinto Calefacción	119
Figura 52. Cálculo de w/m <sup>2</sup> a Mbtu/m <sup>2</sup>	119
Figura 53. Cálculo de Mbtu por área total	120
Figura 54. Conversión de Mbtu a kWe	121
Figura 55. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos	121
Figura 56. Cálculo de paneles solares por m <sup>2</sup>	122
Figura 57. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda completa	123
Figura 58. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda refrigeración	123

Figura 59. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda calefacción.	123
Figura 60. Aerogenerador WIND 25.3+	125
Figura 61. Cálculo de número de aerogeneradores en m <sup>2</sup>	125
Figura 62. Items a caracterizar usuarios potenciales de un distrito térmico	131
Figura 63. Localización distrito térmico La Alpujarra	134
Figura 64. Planta sótano distrito térmico La Alpujarra	135
Figura 65. Planta primer piso distrito térmico La Alpujarra	136
Figura 66. Planta segundo piso distrito térmico La Alpujarra	137
Figura 67. Planta cubierta distrito térmico La Alpujarra	138
Figura 68. Características técnicas de La Alpujarra	139
Figura 69. Zonificación distrito térmico propuesto	140
Figura 70. Planta de cubierta, implementando energía solar	141
Figura 71. Conexión de equipos distrito térmico, uso de energía solar	141
Figura 72. Planta de cubierta, implementando energía eólica	142
Figura 73. Conexión de equipos distrito térmico, uso de energía eólica	142
Figura 74. Ficha técnica distrito térmico caso de estudio	143
Figura 75. Procedimiento para evaluar la viabilidad técnica, económica y comercial de un proyecto de distrito térmico	145
Figura 76. Comparación sobre la vida útil de 30 años del distrito térmico con sistema convencional [USD/TR], Tractebel-Hinicio (2018).	147
Figura 77. Pasos metodológicos 1 –19	152

## **Identificación del potencial energético a partir de fuentes no convencionales de energía para distritos térmicos en Bogotá**

### **Introducción**

Los distritos térmicos son alternativas energéticas que buscan, por medio la optimización de los recursos energéticos, darle una solución eficiente a las ciudades que cuentan con necesidades de climatización urbana, a través de la implementación de una central térmica de manera que permita abastecer a las edificaciones de refrigeración y calefacción.

Según datos suministrados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE y la Agencia Internacional de Energía, AIE. Para el año 2022, la implementación de distritos térmicos representa el 12% de la demanda de calor en Europa y el 30% en China (Distritos Térmicos, 2022). Esto significa un ahorro significativo, pues la distribución de energía térmica por medio de tuberías o redes de suministro, hacen que este consumo registre una reducción notable.

Por su parte, Bogotá presenta diferentes consumos energéticos, aunado al hecho de contar con condiciones climáticas diferentes dentro la ciudad, lo que permite reconocer el potencial de las energías renovables que pueden ser utilizadas como fuentes energéticas primarias de los distritos térmicos, dentro del desarrollo de la presente investigación se observa la implementación de energía fotovoltaica y energía eólica son las más favorables. Sin embargo, se deja en consideración la aplicación de otras fuentes para estudios más específicos.

Esto implica caracterizar la ciudad de tal manera que permita la implementación de un modelo replicable para distritos térmicos que integren fuentes no convencionales de energía, teniendo en cuenta las condiciones del lugar y sus potenciales energéticos, lo que podría ser una

estrategia de reducción de consumo de energía mediante la utilización de estas fuentes renovables.

Las características de este modelo dependerán de los resultados arrojados a través de la identificación de las zonas de mayor potencial energético, para establecer las tipologías de edificaciones que requieren este tipo de implementación y el modelo de distrito térmico, con el fin de caracterizar las edificaciones, y crear una metodología de reconocimiento y un modelo replicable para otras ciudades de Colombia.

**Palabras clave:** Fuentes no convencionales de energía, distritos térmicos, potencial energético, edificaciones, Bogotá

## Abstract

Thermal districts are a mechanism that seek, through energy generation, to provide an efficient solution for cities that have urban air conditioning needs, through the implementation of a centrality that allows supplying buildings through cooling and heating strategies. using power sources.

At an international level, according to data provided by the OECD and the IEA (international energy agency), the implementation of district districts represents 12% of the heat demand in Europe and 30% in China, since it represents significant savings, the same centrality is responsible for distributing thermal energy, which is required by means of pipes. This shows a notable reduction in consumption.

In cities like Bogotá with climatic conditions of solar radiation, precipitation and winds, which allow locating areas of high energy consumption for the implementation of energy generation through thermal districts and the implementation of non-conventional sources of energy in this way characterize the city in such a way that Bogotá, the implementation of a replicable model for the implementation of thermal districts through non-conventional sources of energy, taking into account the conditions of the place and its energy potentials. It could be a strategy of reducing energy consumption and the use of renewable sources.

The characteristics of this model will emerge from the results obtained by identifying the areas with the greatest energy potential, in this way establishing the types of buildings that require this type of implementation and the thermal district model, to characterize the buildings. and create a recognition methodology and a replicable model, for the 9 study cities of phase I: implementation of thermal districts Colombia

**Keywords:** Renewable energy, thermal districts, energy potential, buildings, Bogotá

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**Tema:** Distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía

**Título:** Identificación del potencial energético a partir de fuentes no convencionales de energía, para distritos térmicos en Bogotá

**Problema:**

En el desarrollo de la humanidad, las personas en sus actividades industriales, comerciales y de vivienda han generado que las ciudades representen más del 70% de uso global de energía y el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero (IDEA, 2015).

Las denominadas *megaciudades* representan hasta la mitad del consumo local de la energía por el uso de calefacción y refrigeración.

Por lo anterior, para facilitar la transición energética, la Organización de Naciones Unidas (ONU) lanzó en la Cumbre del clima de Nueva York (2014) la iniciativa global District Energy in City, como mecanismo de implementación de generación de energía sostenible por medio de distritos térmicos, la cual resulta ser una solución eficiente de menor costo y que permite reducir las emisiones en la demanda de energía primaria y climatización.

De otro lado, en Europa se encuentran los distritos térmicos más antiguos y desarrollados del mundo, el 70% de ellos implementa fuentes no convencionales de energía para reducir los gases de efecto invernadero y contribuir al cambio climático (Distritos térmicos, 2018).

Es bien sabido que, en América Latina, por sus características climáticas y los diferentes pisos térmicos, se presentan una alta demanda vigente de refrigeración y calefacción. En ella, Colombia es pionera en la implementación de estos distritos.

Según datos de la Universidad Nacional de Colombia, el 10% del consumo total de energía nacional es por sistemas de climatización, el 80% de ciudades como Bogotá, Ibagué, Medellín y Cali requieren de sistemas de climatización en sus edificaciones, los cuales representan el 8% del consumo nacional de energía (UNAL, 2019). Es decir, que es un mercado para explorar el desarrollo e implementación de distritos térmicos en el país (Distritos térmicos Colombia, 2022e).

En los últimos años se ha evidenciado un crecimiento notable de los centros urbanos. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, para 2018 ya alcanzaba el 74% de expansión, lo que representa un crecimiento de la demanda de energía para el consumo de climatización (Minambiente, 2019).

Como consecuencia, los distritos térmicos se han comenzado a adoptar en Colombia a partir de 2015 como una solución en materia de eficiencia energética y beneficios ambientales urbanos. La implementación de estos distritos es una iniciativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Embajada de Suiza y el Programa de Cooperación al Desarrollo Económico (SECO).

En este sentido, el programa de distritos térmicos Colombia desarrolló una guía metodológica que muestra los pasos para poner en marcha los mismos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). En esta guía no se contempla la implementación de fuentes no convencionales de energía, siendo Colombia un país estratégico para desarrollar este tipo de energías.

En este contexto, con el desarrollo de la fase I que se construyó en Medellín, el distrito térmico La Alpujarra que fue un caso exitoso, se evidenció la evaluación de viabilidad de las principales ciudades del país para la implementación de los distritos térmicos. Actualmente, se está



desarrollando la fase II de la implementación que busca evaluar la creación de distritos térmicos en diez ciudades del país. Teniendo en cuenta la consolidación de la implementación de la fase II, se evidencian los siguientes problemas:

- No hay una metodología para la implementación de distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía.
- Aunque existen ciertos avances, a la fecha la implementación de distritos térmicos no está del todo consolidada.
- No se ha determinado las tipologías de edificación a implementar.

Como caso de estudio dentro de las ciudades de implementación de la fase II, se seleccionó la ciudad de Bogotá, toda vez que presenta mayor demanda energética, por su superficie y su alta densidad poblacional, consumo energético y climatización. En este sentido, se plantean las siguientes preguntas.

- ¿Cuáles son las fuentes no convencionales de energía más convenientes para los distritos térmicos de la ciudad?
- ¿Cuál es el potencial energético de Bogotá por localidades?
- ¿Cuáles son las zonas viables para la implementación de un distrito térmico?
- ¿Qué tipo de edificación se puede implementar?

Para desarrollarlas, se plantea como pregunta de investigación lo manifestado en el siguiente capítulo.

## **2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el potencial de generación energética a partir de fuentes no convencionales de energía para distritos térmicos en Bogotá, de acuerdo con los usos de la edificación y su ubicación en la ciudad?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación constituye una propuesta para perfeccionar el proceso de implementación de distritos térmicos en Colombia, impulsando el uso de fuentes no convencionales de energía en diferentes usos edificatorios, pues la crisis ambiental que el mundo está atravesando requiere de compromisos globales que permitan reducir impactos a la tierra.

Países como Suiza, Dinamarca, Canadá, Estados Unidos han implementado distritos térmicos a través de los años como una forma de contribuir al medio ambiente y migrar a ciudades sostenibles (Distritos térmicos Colombia, 2022e).

A eso se suma que el consumo de sistemas de calefacción y refrigeración representa el 55% del consumo mundial de energía en los edificios, y actualmente el 75% se basa en sistemas fósiles (Danfoss, s.f.).

Por tanto, la implementación de distritos térmicos es una solución eficiente que se realiza con el objetivo de contribuir al desarrollo urbano sostenible y ciudades neto cero carbono. El programa de la ONU estima que los distritos térmicos tienen la capacidad de reducir hasta el 58% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En este sentido, la descarbonización de los sistemas de calefacción y refrigeración mediante la inversión en eficiencia energética como energías renovables son una estrategia en pro de una transición energética a favor de la sostenibilidad. “La implementación de energías renovables con el fin de satisfacer la demanda térmica de climatización, países al norte de Europa han integrado las fuentes no convencionales de energía en sistemas de climatización más eficientes” (González, 2013).

Como ya se mencionó, Colombia se ha caracterizado en ser pionera en la implementación de distritos térmicos a nivel de América latina; una apuesta decidida por parte del gobierno Nacional, ya que esta planificación es un modelo de planificación urbana que se alinea en el marco de la mitigación de emisiones de GEI y la economía circular.

El tema de la climatización deja de ser un lujo para convertirse realmente en una necesidad, pues casi en el 70% de las ciudades colombianas, incluso en Bogotá, la climatización empieza a usarse de manera más frecuente. Esto implica el uso de energía y sustancias refrigerantes de alto impacto ambiental (UNAL, 2022).

Acorde a lo anterior, el proyecto de implementación de distritos térmicos en Colombia se dividió en dos fases. El primer proyecto de implementación de redes de distritos térmicos es el de La Alpujarra en Medellín, -construido por EPM. El centro comercial Nuestra Montería Celsia implantó los distritos térmicos y arrojó múltiples resultados positivos en sostenibilidad.

De igual manera, en este momento se está implementando el distrito térmico de Serena del Mar, un proyecto urbanístico en la ciudad de Cartagena con múltiples tipologías de edificación (Distritos térmicos Colombia, 2022e).

De igual manera, la propuesta del Plan Nacional de Desarrollo tendiente a involucrar este tipo de sistemas para un desarrollo sostenible busca que por medio de los sectores productivos, se adopten políticas para generar acciones sostenibles y permitan la reducción de consumo, lo cual busca garantizar la reducción del 100% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Donde se evidenciaría que la utilización de los sistemas de distritos térmicos traería beneficios en cuanto a eficiencia de recursos.

Por lo anterior, es importante para los entes gubernamentales la ejecución de este tipo de sistemas, la evaluación y metodología para la implementación de distritos térmicos en planes de

desarrollo, la elaboración de mapas energéticos, zonificación e identificación de las edificaciones de mayor o menor consumo de energía destinada a la calefacción y la refrigeración para proyectar el proceso de construcción de la central térmica y redes de distribución.

Para el caso de Bogotá no hay estudios ni implementación de mapas energéticos para determinar las zonas de mayor o menor consumo energético. Por eso es importante establecer una metodología para conocer en qué zonas y qué tipo de edificaciones son las de mayor consumo energético. De igual manera, formular estrategias para la implementación de fuentes no convencionales de energía para que estas sean las fuentes de energía para los distritos térmicos.

Por lo anterior, es importante conocer las condiciones climáticas para la formulación adecuada de las fuentes no convencionales de energía y diseñar un modelo teórico replicable para la implementación de distritos térmicos en Bogotá, a partir de estas fuentes para las edificaciones de mayor consumo energético.

## 4. OBJETIVOS

Para dar respuesta a la pregunta de investigación se plantea el objetivo general y los objetivos específicos para el desarrollo de la investigación.

### 4.1. Objetivo General

Identificar el potencial energético a partir de fuentes no convencionales de energía, para la implementación de distritos térmicos en Bogotá, de acuerdo con los usos y su ubicación en la ciudad.

### 4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el consumo energético de las localidades de Bogotá.
- Identificar el potencial de generación de energía a partir del análisis climático de Bogotá.
- Caracterizar las fuentes no convencionales de energía para la ciudad de Bogotá.
- Proponer un modelo teórico de distrito térmico para aplicar en Bogotá.
- Identificar posibles zonas de ubicación de distritos térmicos en Bogotá, a partir de los potenciales energéticos de las fuentes no convencionales de energía y los usos edificatorios

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. Marco conceptual

#### 5.1.1. Cambio climático

El cambio climático es una modificación del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y se evalúa a largo plazo ( $\geq 30$  años), mientras que la ‘variabilidad climática’ es atribuida a causas naturales y se evalúa en el corto y mediano plazo (días a  $\leq 30$  años) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022)

El cambio climático es generado por las actividades humanas a través del tiempo, cambios que están especialmente relacionados con el calentamiento global. Esta elevación en la temperatura global tiene efectos catastróficos como fuertes tormentas, sequía, incendios, inundaciones, derretimiento de los polos y el incremento en el nivel del mar.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC, el desarrollo de la humanidad, las personas en sus actividades industriales, comerciales y de vivienda han incrementado el calentamiento global, a niveles de 0,8 - 1,2 C . Esto genera que el consumo energético de calor y frío en la actualidad vaya en aumento a nivel mundial (IPCC en español , 2022).

Colombia, por su parte, presenta afectaciones por el aumento en el nivel del mar en las costas y crecimiento en la temperatura promedio, lo que permitiría la propagación de incendios. Estas afectaciones se verán notoriamente en los ecosistemas y cultivos, pues son los más afectados por el cambio climático.

En este sentido, Bogotá es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que evidencia una probabilidad de desastres y riesgos a nivel urbano y poblacional. El Plan de Acción Climática, PAC, de Bogotá ¿?

[...] busca reducir en 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero, alcanzar la neutralidad en carbono en 2050 de la mano del reglamento de ecourbanismo y construcción donde articula la implementación de distritos térmicos como estrategia de disminución de gases de efecto invernadero (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022a).

### **5.1.2. Gases de efecto invernadero**

En el transcurso de los años, la atmósfera ha incrementado la concentración de gases de efecto invernadero debido al aumento significativo de la temperatura a nivel mundial.

De acuerdo, con el ‘Inventario de gases de efecto invernadero en Colombia, 2012’ (IDEAM, 2012) los gases de efecto invernadero con mayor tiempo de residencia en la atmosfera son: el dióxido de carbono con más de 100 años, el metano con 12 años, el óxido nitroso con 121 años y los clorofluorocarbonados que duran entre 45 y 1.020 años.

A nivel mundial, se promueve la mitigación de gases de efecto invernadero, buscando con ello reducir los niveles de emisiones hacia la atmósfera.

Las fuentes de mayor contaminación son la ganadería, la industria, la deforestación, el transporte; por ende, se implementan políticas de gestión para orientar a disminuir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), de acuerdo con el Convención Marco de Naciones Unidas, CMNUCC, con el fin de plantear metas de reducción (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

### **5.1.3. Eficiencia energética**

La eficiencia energética se define como



[...] la razón entre la energía útil y la energía final. La primera corresponde a la energía requerida para disponer un servicio energético al usuario, ejemplo: iluminar un espacio, refrigerar los alimentos, acondicionar un espacio, transportarse de un lugar a otro, etc. La energía final hace referencia al consumo, es decir, la cantidad de energía que el usuario final paga y que depende del equipo que se utilice para prestar el servicio energético. (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2022).

Es un recurso energético que contribuye al desafío de abastecer una demanda creciente, con el fin de aliviar las necesidades energéticas de explotar los recursos y satisfacer los consumos que requieren la edificación, lo que permite la articulación de fuentes no convencionales de energía de una manera sostenible.

Dentro del marco del PAI PROURE 2017 – 2022, Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía del Ministerio de Minas y Energía, (UPME, 2022) un lineamiento de política pública para promover el mejor uso de los recursos energéticos, y desde su producción hasta su consumo en los diferentes sectores y actividades de la economía, se analizaron los sectores de edificaciones, distritos térmicos, generación termoeléctrica y almacenamiento de calor, ya que estos sectores presentan el 10% del consumo del escenario tendencial para Colombia. Los distritos térmicos participan con el 0,002%; es decir, que aún no aportan un porcentaje elevado de ahorro energético para Colombia.

#### **5.1.4. Climatización**

“Acción y efecto de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas” (Españeira, 2020).

### **5.1.5. Enfriamiento**

En climatización, el proceso de enfriamiento busca reducir la temperatura de un espacio mediante el intercambio de calor entre el aire del espacio a acondicionar y una batería de enfriamiento. Durante este proceso se reduce el calor sensible (disminución de temperatura) y calor latente (disminución de humedad) (Escuela Técnica Superior de Arquitectura, s.f.).

En climatización, proceso que controla solamente la temperatura del aire de los espacios con carga térmica positiva.

La unidad de medida para cuantificar la carga térmica de enfriamiento es toneladas de refrigeración (TR), que permite la extracción de calor de equipos de máquinas frigoríficas y de aire acondicionado.

### **5.1.6. Calefacción**

En climatización, el proceso de calefacción busca aumentar la temperatura de un espacio mediante el intercambio de calor entre el aire del espacio a acondicionar y una batería de calentamiento. Durante este proceso se realiza un aporte de calor sensible (aumento de temperatura) y calor latente (aumento de humedad).

Proceso por el que se controla solamente la temperatura del aire de los espacios con carga térmica negativa o pérdida de calor. La calefacción en distritos térmicos “consiste en proveer y distribuir, desde una planta central, calefacción a un área circundante (distrito) de inquilinos o clientes (residencias, empresas comerciales o sitios institucionales)” (Ministerio de Minas y Energía, s.f.).

La unidad de medida para calcular la demanda de calefacción es Btu, derivada de *British thermal unit* (unidad térmica británica), y sirve para calcular el calor para aire acondicionado.

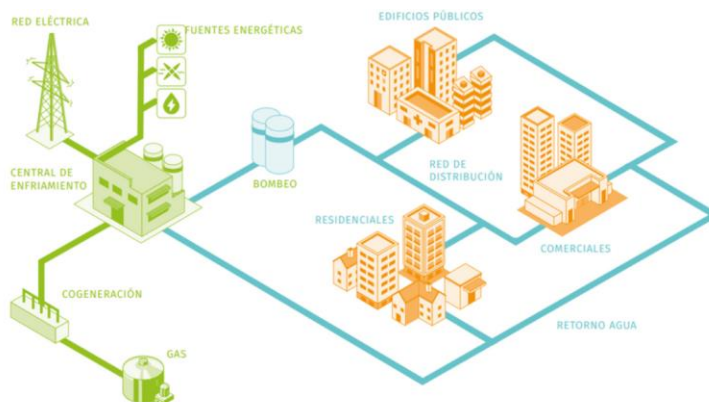
## 5.2. Distritos térmicos

Un Distrito térmico es una red de distribución urbana que produce distintos tipos de energía, tales como vapor, agua caliente y agua helada – a partir de una planta central y la transporta por tuberías subterráneas a los edificios que lo conforman, con el fin de calentar espacios, agua doméstica y/o para producir aire acondicionado (Celsia, 2017), como se evidencia en la Figura 1.

Los distritos térmicos ofrecen una solución de generación de energía para la climatización sostenible de las ciudades bajo el concepto de eficiencia energética, sin renunciar al confort ni a la rentabilidad como negocio. Según un estudio realizado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, pueden ahorrar entre un 30% y un 50% del consumo de energía primaria, lo que da cuenta de la importancia de buscar alternativas sostenibles para sistemas de aire acondicionado en ciudades (Celsia, 2017).

A nivel internacional existen 45 ciudades pioneras en la implementación de distritos térmicos; ya que es una alternativa a la producción de calor y frío por central térmica, permitiendo la transferencia de energía a través de la red hacia entornos urbanos, residenciales, industriales y comerciales. Estos sistemas brindan una variedad de ventajas económicas, de planificación urbana y de confiabilidad que pueden tener un impacto positivo y significativo en las comunidades (ONU,2021)

Europa cuenta con los distritos térmicos más antiguos y desarrollado en el mundo, de los cuales el 70% ya está implementado, y en desarrollo el uso de fuentes no convencionales de energía, para reducir las emisiones de gases efecto invernadero y contribuir a la disminución cambio climático (Distritos térmicos, 2018).



*Figura 1. Distritos térmicos*

*Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2022f)*

Dependiendo del proyecto, los distritos térmicos pueden ser de dos tipos:

- **Extramurales:** Son plantas de generación de energía térmica que atienden la demanda de múltiples edificios. Están ubicados en predios independientes o en los clientes finales y trabajan bajo el concepto de “energía térmica como servicio público”. Están en capacidad de ofrecer agua helada y agua caliente, para procesos de aire acondicionado y calefacción.
- **Intramurales:** Son plantas de generación de energía térmica que inicialmente atienden la demanda de un solo edificio. Están ubicados al interior del mismo proyecto al que sirven y sus equipos se localizan normalmente en cuartos o cubiertas técnicas. Están en capacidad de ofrecer agua helada para aire acondicionado, agua caliente para calefacción y energía eléctrica (CELSIA, s.f.).

### **5.3. Energías renovables**

Las energías renovables son fuentes que producen energía constantemente, de forma que se renueva continuamente, y su utilización se considera ilimitada (Sardón, 2003).

Las fuentes renovables de energía pueden clasificarse en dos categorías, las no contaminantes o limpias tales como: la energía solar (térmica y termoeléctrica), la eólica, la

hidráulica, la mareomotriz y la geotérmica, y otras potencialmente contaminantes como las que se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, por la emisión de dióxido de carbono, y la obtenida mediante los residuos sólidos urbanos que emiten material particulado y residuos no calcinables.

### **5.3.1. Fuentes no convencionales de energía en Colombia**

Colombia, en los últimos años, ha tenido un avance en el sector energético, ha impulsado el desarrollo de proyectos en esta área, puesto que tiene todas las condiciones para desarrollar diferentes proyectos de energías renovables o alternativas a lo largo de todo su territorio, como la generación de parques, que está compuesta principalmente por proyectos de generación de energías no convencionales, tales como las plantas hidroeléctricas y térmicas, siendo las primeras las más abundantes.

La participación de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER), típicamente ha sido minoritaria; no obstante, gracias a las políticas públicas del gobierno nacional, se ha venido incrementando significativamente en los últimos años la participación de proyectos solares, pequeñas centrales hidroeléctricas, de biomasa, eólicos, entre otros.

Algunas de las características que favorecen estas tecnologías en el país son:

- Colombia es uno de los países con mejor radiación
- promedios de radiación solar son de gran predominancia a nivel de América Latina.
- La biomasa es otra energía alternativa con potencia en las regiones Caribe, Andina y Orinoquía. Consiste en producir energía a partir de material orgánico.
- El país también podría desarrollar energía geotérmica y de los océanos. La primera proviene del calor del centro de la tierra, por lo que hay potencial en los volcanes y la

segunda de la mecánica a partir de las olas, por lo que se podría llevar a cabo en todas las costas (Monterrosa, 2018).

### **5.3.2. Energía fotovoltaica**

La energía solar representa hoy la segunda fuente avanzada de energía renovable de mayor penetración en el mundo, después de la eólica, con una producción que equivale a entre 0.85% y 1% de la demanda mundial de electricidad (IEA 2014c), lograda a través de una capacidad instalada de 139 GW a 2013 (UPME, 2015)

Según la UPME Integración de energías renovables (UPME, 2015), se evidencia el creciente aporte de la utilización de la alternativa en disminución de consumo, costos a largo plazo, ya que se sabe que es una inversión que se debe adoptar al proyecto si se quiere implementar los paneles fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V a 36V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

La energía solar, como fuente de suministro para distritos térmicos, tiene grandes beneficios como la producción de agua helada, a un costo menor y costos decedentes de la tecnología ya que tienen una vida útil de 20 años.

De igual manera, tiene desafíos en la disponibilidad del lugar y el área a implementar; requiere una planta de almacenamiento de energía 24/7 y una inversión para la línea de transmisión.

Los distritos térmicos pueden utilizar energía solar para reducir el consumo de los energéticos primarios ya descritos. Existen dos maneras con las que se pueden

aprovechar este recurso: 1) a través de sistemas fotovoltaicos (generación de energía eléctrica para alimentar equipos eléctricos); 2) o a través de sistemas solares térmicos (generan agua caliente entre 40 y 70 °C, cuyo calor puede ser utilizado directamente como apoyo a la generación térmica). Si bien el recurso solar de Colombia es bajo en comparación con países de América Latina como Chile o Perú, es mayor al promedio mundial de 1423 kWh/m<sup>2</sup> y al de países europeos como Alemania, donde se ha desarrollado la industria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

#### **5.3.2.1. Paneles fotovoltaicos**

Son dispositivos formados de material semiconductor, normalmente de silicio, que son capaces de transformar los rayos del sol en energía eléctrica. Aunque el silicio es el material más abundante en la tierra después del oxígeno, ya que se encuentra en casi todas las rocas, para la fabricación de las células fotovoltaicas se necesita en su forma cristalina y sin imperfecciones, haciendo el proceso es complejo y costoso (Fernández, 2008).

Existen múltiples opciones que dependerán de factores como cuánta energía se necesita y de cuánto espacio se dispone para instalar el autoconsumo fotovoltaico. Antes de elegir un modelo comercial de panel y comprobar que cumple con todos los requisitos se debe optar por un panel policristalino, con paneles entre 60 o 72 células. Ambos tipos son grandes, los primeros de 1,6 m<sup>2</sup> y 19- 20 kg, y los segundos cerca de los 2 m<sup>2</sup> y 22-23 kg. Si se eligen paneles de 60 células habrá que colocar mayor número para llegar a la misma potencia, pero el costo total será parecido (Ladrón de Guevara, 2018).

- **Método para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos**

Es importante resaltar que para dimensionar un sistema solar fotovoltaico se debe determinar las cargas a partir de la radiación solar disponible en la ubicación.

Existen actualmente diferentes métodos de predimensionamiento de sistemas fotovoltaicos de manera autónoma o tecnológica con programas específicos para mayor aproximación. En las etapas de diseño para establecer una idea aproximada de la instalación de paneles fotovoltaicos (Ortiz, 2019).

Según Aguilera & Hontoria, (2011) en el estudio ‘Dimensionado de sistemas fotovoltaicos Autónomos’, el método para dimensionar el número de paneles fotovoltaicos requeridos para la implementación sistemas solares, incluye el cálculo de cuantos paneles fotovoltaicos se requiere para las cargas del diseño y las condiciones climáticas, se especifica a continuación:

- Paso 1. Estimación del consumo
- Paso 2. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles
- Paso 3. Dimensionado del generador fotovoltaico
- Paso 4. Dimensionado del sistema de acumulación
- Paso 5. Dimensionado del regulador
- Paso 6. Dimensionado del inversor
- Paso 7. Dimensionado del cableado

### **Estimación del consumo**

Con relación a la estimación del consumo, se recomienda calcular el consumo de energía eléctrica de cada uno de los edificios, identificando ya sea por medio de recibos de servicios públicos o de manera específica identificando los aparatos electrónicos, las potencias y tiempos de uso. Se puede realizar los cálculos de la energía, por medio de la siguiente fórmula (Aguilera & Hontoria, 2011):

$$EAC = \Sigma P(AC)_i \cdot t_{di}$$

$$EDC = \Sigma P(DC)_i \cdot t_{di}$$



Siendo:

EAC: Energía consumida en AC (Wh)

AC: convierte la electricidad generada por los paneles solares en la electricidad de corriente alterna (Celsia, 2018).

EDC: Energía consumida en DC (Wh)

DC: Convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (Celsia, 2018).

Pi: Potencia Nominal (W)

tdi: Tiempo diario de uso (h)

De otro lado, para calcular el consumo total, se tendrán en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión:

$$ET = EDC / \eta_{BAT} + EAC / (\eta_{BAT} \cdot \eta_{INV})$$

Donde:

- ET: Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh)
- $\eta_{BAT}$  : Rendimiento de la batería
- $\eta_{INV}$  : Rendimiento del inversor

La energía real requerida ET, refleja la energía que el sistema demanda en su conjunto en un día, y es un dato importante a la hora de dimensionar el generador fotovoltaico (Aguilera & Hontoria, 2011)

### **Determinar la radiación incidente**

Para determinar la radiación incidente se debe tener en cuenta el promedio mensual de radiación solar de la ubicación del proyecto, con el fin de garantizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico en las condiciones más favorables y desfavorables. Este análisis se realiza

por medio de los datos de fuentes confiables como el atlas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia.

### **Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos**

Para el cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos fotovoltaicos de la instalación es necesario conocer la radiación solar incidente en el lugar a instalar.

Se asume que para buscar el óptimo de posición de los módulos, éstos estarán orientados al sur, y sólo habrá que calcular la radiación incidente a diferentes inclinaciones. A modo de resumen se presentan las siguientes ecuaciones que pueden servir para realizar los cálculos de radiación solar incidente a diferentes inclinaciones

El módulo fotovoltaico deberá contar con una orientación e inclinación particularmente adaptadas al lugar y a la aplicación. Nuevamente, la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur. Sin embargo, la inclinación depende ahora, no sólo de la latitud sino también del perfil del consumo (Aguilera & Hontoria, 2011).

Según Perpiñán, (2020) para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, el objetivo es maximizar la radiación en los meses de menor radiación y por tanto la inclinación debe ser:

$$\beta = |\varnothing| + 10 \quad (4)$$

Donde  $\varnothing$  es la latitud del lugar.

Para instalaciones con consumo menor en los meses de baja radiación se busca maximizar la radiación en los equinoccios, por lo tanto:

$$\beta = |\varnothing| \quad (5)$$

Finalmente, para instalaciones con uso predominante en verano conviene emplear un ángulo inferior a la latitud:

$$\beta = |\phi| - 10 \text{ (6) (Ortiz, 2019)}$$

### **Dimensionado del generador.**

Según Aguilera & Hontoria, (2011), el número total de módulos fotovoltaicos que se deben instalar se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$NT = ET / (Pp * Gmb * PG)$$

- ET: Energía real requerida (Wh)
- Pp: Potencia Pico del Módulo (W / kW / m<sup>2</sup>)
- Gm<sup>®</sup>: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo <sup>®</sup> (kWh /m<sup>2</sup>)
- PG: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Conociendo el número de total de paneles que forman el generador fotovoltaico y la tensión nominal de la batería, que coincide con la tensión nominal de la instalación, se puede determinar si es necesario agrupar los módulos en serie y en paralelo. El número de módulos que habrá que conectar en serie, se calcula así:

$$Ns = VBat / Vm \text{ (17)}$$

Donde:

- Ns : número de módulos en serie por rama
- VBat: tensión nominal de la batería (V)
- Vm: tensión nominal de los módulos (V)

Y el número de ramas en paralelo a conectar para suministrar la potencia necesaria, viene dado por:

$$Np = NT / Ns$$

Siendo  $N_p$  el número de módulos a conectar en ramas paralelo.

Siguiendo la metodología propuesta por Chapman, (1989), acorde con lo indicado en diferentes investigaciones, se puede calcular la cantidad de paneles solares dependiendo del diseño y las condiciones climáticas del lugar.

### **5.3.3. Energía eólica**

El movimiento de las masas de aire, otra fuente no convencional de energía renovable, es la fuerza que convierte la energía mecánica en energía eléctrica cuando las aspas de los aerogeneradores accionan una turbina que está sujeta a un generador eléctrico (Universidad Veracruzana, 2022).

Actualmente se ven diferentes avances tecnológicos que permiten generar energía por la fuerza del viento a través de aerogeneradores y mini turbinas, que se encuentran conectadas al rotor; este movimiento es transmitido al aerogenerador para acelerar la rotación a gran velocidad.

Dentro de los beneficios de la energía eólica está el mínimo impacto ambiental, es una fuente inagotable y de fácil acceso puesto que se genera por medio del viento.

La energía eólica en Colombia representa el 0,1% de la producción de energía nacional, esta proviene del Parque eólico Jepirachi, localizado en el municipio de Uribí, La Guajira. Dentro del plan de generación energética de Colombia se plantea la realización de 16 parques eólicos para ser epicentro eólico del país en la Guajira (Lecciona, 2022).

#### **5.3.3.1. Aerogeneradores**

Una turbina eólica es una turbomáquina que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje que, mediante un generador, se transforma en electricidad. A lo largo de la historia, se han ideado infinidad de diseños para aprovechar el recurso eólico dependiendo del tamaño, el lugar etc. (Talavera, 2017).

Existen múltiples opciones de proveedores y aparatos dependiendo de su necesidad, eso si el factor final de decisión, y la característica principal es la potencia (P) de la máquina. La cual depende de varios factores como la densidad del aire ( $\rho$ ), el área de barrido del rotor; es decir, de su diámetro (A) y la velocidad del viento (v).

Para calcular la potencia real del aerogenerador se debe desarrollar la siguiente formula:

$$P = (Cp * \epsilon_g * \epsilon_m) \frac{1}{2} \rho A v^3$$

- P: Potencia real
- Cp: Es el Coeficiente de Potencia
- Eg: es la eficiencia del generador eléctrico
- Em: es la eficiencia mecánica

De todos ellos, el único valor que se puede escoger es el área del rotor, y cuanto mayor sea, más potencia nominal tendrá la turbina (Talavera, 2017).

#### **5.3.4. Biomasa**

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta.

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua. (Fernández, 2015, citado por Cardona & Sepúlveda, 2016, p. 17)

Los residuos sólidos urbanos a menudo son excelentes fuentes de energía no aprovechada, la cual puede ser obtenida a partir de procesos como biodigestión aerobia, biodigestión anaerobia o incineración. En Suiza el aprovechamiento térmico de la energía contenida en los residuos sólidos urbanos constituye la fuente principal de energía no convencional para los distritos térmicos. Los proyectos de aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos son de alta complejidad, no solo por el aspecto técnico (estudios de caracterización de los residuos e ingeniería del sistema), sino también en cuanto a permisos ambientales y de sensibilización de las comunidades. Evaluar su factibilidad es casi tan complejo como evaluar la del distrito térmico en sí, por lo cual se recomienda su estudio como un proyecto independiente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

### **5.3.5. Energía Geotérmica**

Esta energía es obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en el calor que yace del subsuelo terrestre. Es una fuente de energía inagotable y se puede aplicar de manera versátil para la generación de energía.

Representa el 0.4% del total de generación de energía eléctrica mundial, están se explotan por medio de sistemas hidrotermales a muy alta temperatura, aunque actualmente existen sistemas más efectivos para aprovecharlas.

En Colombia, la geotermia ya hace parte de la generación energética por medio de fuentes no convencionales de energía, como eje de la reactivación sostenible en Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

El método para diseñar el sondeo geotérmico necesita conocer la temperatura máxima y mínima que tendrá el suelo a la profundidad media en donde se encontrará el sondeo. Además,

estas temperaturas, también se utilizan para el balance de las cargas térmicas del edificio hacia o desde el suelo (IDAE, 2012).

Para poder estimar la temperatura de un suelo homogéneo con propiedades constantes se puede utilizar la expresión descrita por Kusuda y Achenbech.

$$T(z,t) = T_0 - A_0 * e^{-z * \sqrt{\pi * 365 * \alpha}} * \cos(2 * \pi * 365 * (t - t_0 - z^2 * \sqrt{\pi * 365 * \alpha}))$$

$$T_{min}(z) = T_0 - A_0 * e^{-z * \sqrt{\pi * 365 * \alpha}} \quad (\text{Ecuación 3}) \quad T_{max}(z)$$

$$= T_0 + A_0 * e^{-z * \sqrt{\pi * 365 * \alpha}}$$

- $T(z,t)$ , es la temperatura del terreno en función de la profundidad “z” en metros, y el día del año “t”.
- $T_0$ , es la temperatura media anual del terreno en °C que corresponde con la temperatura media anual del aire ambiente sobre la superficie del terreno.
- $A_0$ , corresponde a la máxima diferencia de temperatura anual del aire sobre la superficie del terreno.
- $\alpha$ , es la difusividad térmica del terreno en  $m^2$  /día, depende del tipo de suelo y el contenido en agua.
- $t_0$ , es el desfase en días, se refiere al desplazamiento de la temperatura superficial con la profundidad; un valor típico de este parámetro es 35-10 + según el análisis de Kusuda.

Con todos estos parámetros ya calculados, se calculan todas las temperaturas máximas y mínimas  $T(z)$  de medio metro en medio metro.

### 5.3.6. Energía de los mares

Esta fuente No convencional de energía renovable comprende fenómenos naturales marinos como las mareas, el oleaje, las corrientes marinas, los gradientes térmicos oceánicos y

los gradientes de salinidad, entre otros posibles, para transformar energía mecánica en energía eléctrica.

Colombia cuenta con “Cinco fuentes de potencial energético marino en Colombia (las cuales)<sup>1</sup> ayudarían a comunidades costeras aisladas: las mareas, las olas, las corrientes, los gradientes termales –diferencia térmica entre la superficie y el fondo del mar– y salinos, y la energía eólica en el mar” (Agronet, 2021).

El distrito térmico de Bocagrande, que articula los hoteles Intercontinental y Almirante, y el Centro Comercial NAO, desarrolló un sistema de climatización para el uso de agua de mar para el circuito de condensación de la estructura con el objetivo de proyectar un 10% de ahorro de energía (Minambiente, 2022)

El enfriamiento con agua de mar o *Seawater Air Conditioning* (SWAC) consiste en utilizar el agua del océano de baja temperatura, que usualmente se encuentra a gran profundidad, para suministrar enfriamiento sin el uso de enfriadores o con un número limitado de ellos. El principal beneficio del sistema es la alta eficiencia energética que se puede obtener. Sin embargo, presenta altos costos de inversión, es dependiente de la geografía específica del sitio y presenta barreras ambientales por la construcción y operación de una aducción y descarga de agua de mar. El hecho de contar con un distrito térmico cerca al mar no garantiza la viabilidad técnica y económica de un sistema SWAC, razón por la que debe realizarse un estudio detallado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

La energía mareomotriz se obtiene de tres formas:

---

<sup>1</sup> Complemento del Autor



- *Presa de Marea*: Estas presas son como diques que se construyen en la boca de un estuario, cuya función es usar el agua que fluye dentro y fuera de la cuenca, el cual es provocado por la diferencia de alturas entre las mareas altas y bajas; es decir se instalan turbinas en las compuertas que se encargan de retener el agua en marea alta y se abren en marea baja, haciendo mover las hélices de la turbina el cual tiene acoplado por medio de un eje a un generador eléctrico el cual se encarga de producir electricidad (Gonzales, 2021)
- *Generador de corriente de marea*: Este tipo de tecnología usa turbinas para capturar la energía cinética de la corriente marina, las cuales están conectadas a un alternador el cual genera la energía eléctrica. Estos generadores deben ser colocados en fuertes corrientes de agua, donde los flujos naturales de corriente se encuentran entre obstrucciones, por ejemplo, en la entrada de bahías o ríos alrededor de puntos rocosos o entre islas (Gonzales, 2021).
- *Energía mareomotriz dinámica* Este tipo de energía, se obtiene del aprovechamiento de la energía potencial y cinética en conjunto, mediante la implementación de presas, que se construyen desde la costa hacia afuera del mar o el océano, sin encerrar un área, esto con la finalidad de aprovechar el cambio diferencial de alturas y movimientos de las mismas (Gonzales, 2021).

### **Calcular la energía generada**

Para calcular la energía generada se emplea la siguiente fórmula práctica para el cálculo de potencia de generación hidráulica:  $P \text{ kW} = 7,5 \cdot Q \text{ m}^3 / \text{s} \cdot h \text{ m}$ , donde Q es el caudal y h la diferencia de alturas entre dentro y fuera.

Debe tenerse en cuenta que la altura del agua en la bahía va aumentando según se va llenando, de forma que tendremos  $h_i = h_{oi} + Q S t$  Por tanto la altura y la potencia de generación irán variando con el tiempo. Entonces para obtener la energía generada no hay más que integrar temporalmente la expresión de la potencia hasta que la altura del agua en el interior iguale a la del mar exterior  $h_e$ .

$$E(\text{kJ}) = \int_0^{t_{\text{llenado}}} P dt = \int_0^{\frac{h_e - h_{oi}}{Q}} \frac{h_e - h_{oi}}{Q} S \left[ 7,5Q \left( h_e - h_{oi} - \frac{Q}{S} t \right) \right] dt = \frac{7,5}{2} S (h_e - h_{oi})^2$$

Ahora se cierran nuevamente las compuertas, y el agua permanece en el interior de la bahía, mientras la altura del mar exterior decrece hasta la bajamar. Nuevamente se abren las compuertas, pasando ahora el agua de dentro a fuera y generando energía eléctrica. (Universidad de Cantabria, s.f.).

Como conclusión del capítulo 5.3, se evidencia el avance de la integración de las FNCER en la ciudad en términos de potencia de los proyectos vigentes de generación de energía, que se han implementado en Bogotá y que se encuentren registrados ante la UPME y/o ENEL – CODENSA, una empresa de distribución y comercialización de energía eléctrica desde el año 2012 (año en que se tienen el primer proyecto registrado ante la UPME), además de aquellos proyectos que se han implementado sin registro alguno por parte de las organizaciones participantes en el Plan de Gestión Ambiental (PGA) de la Secretaría Distrital de Ambiente SDA, identificando, el recurso utilizado para la generación de energía en cada uno de los proyectos (Solar, Hidráulico, eólico, térmico, biomasa) (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

## **5.4. Marco Referencial**

### **5.4.1. Político**

Colombia está desarrollando políticas en diferentes ciudades del país en pro del cambio climático, los retos frente a la sostenibilidad y la neutralidad neto cero carbono. La climatización se convirtió en una necesidad, de hecho, 70% de las ciudades lo requieren, ya que ésta implica el uso de sustancias refrigerantes de alto impacto ambiental y el uso excesivo de energía.

La implementación de distritos térmicos permite mitigar los impactos del cambio climático y su eficiencia energética para alcanzar un desarrollo sostenible de las ciudades en pro del medio ambiente, mientras que el Programa de Naciones Unidas fomenta la implementación de distritos térmicos como una alternativa para la climatización sostenible.

Los distritos térmicos están contemplados por el Estado a través de políticas públicas como la economía circular y el desarrollo urbano sostenible, la política pública de eficiencia energética y desarrollo por medio de la Resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016 (Ministerio de Minas y Energías, 2016), la adopción del Plan de acción indicativo (PAI), 2017 – 2022, herramientas que impulsan medidas para que las ciudades contribuyan a la mitigación de gases de efecto invernadero; las cuales buscan

[...] promover la implementación de distritos térmicos en Colombia para mejorar la eficiencia energética de los edificios y sustituir los enfriadores que funcionan con sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y sustancias de alto impacto ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

De igual manera, las diferentes ciudades que implementan los distritos térmicos dentro de su Plan de Ordenamiento Territorial, POT, vinculan la implementación de distritos térmicos para entes públicos y privados en pro de la eficiencia energética.

### **5.4.2. Económico**

Colombia se proyecta a ser pionero en la implementación de distritos térmicos en Latinoamérica, en el marco de la economía circular, con el propósito de mitigar las sustancias de alto impacto ambiental e impulsar la eficiencia energética.

Dentro de los beneficios en términos económicos, los distritos térmicos están abriendo mercado en negocios verdes rentables, con beneficios tributarios exentos de IVA por el impacto positivo que estos generan, pues permiten la conectividad de diferentes usos edificatorios para distribuir calor o frío de manera eficiente, y logran la sustitución de aparatos viejos de climatización. Esto permite reducir costos de inversión y mantenimiento.

La articulación de fuentes no convencionales a los distritos térmicos permite una reducción de consumo energético e impulsa a la reducción de emisiones. Aunque se tiene en cuenta que su costo es elevado en su inversión inicial, con el pasar de los años se verán reflejados los beneficios.

### **5.4.3. Social – Cultural**

En Colombia la implementación de distritos térmicos a nivel social cuenta con beneficios a corto, mediano y largo plazo, lo que se puede ver reflejado en materia financiera, de medio ambiente y de confiabilidad en el servicio.

De lo que se deduce que entre las ventajas que presentan los distritos térmicos está la reducción a largo plazo de la facturación de calefacción y acondicionamiento de espacios, el aumento de la seguridad energética, la facilidad de operaciones simplificadas en edificaciones, los servicios de energía de alta confiabilidad, el uso de espacios, la reducción de gastos en reparación y mantenimiento, además de la reducción en el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono.

#### **5.4.4. Ecológico – Ambiental**

La implementación de los distritos térmicos tiene dos beneficios ambientales: la eliminación del uso de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) en sistemas de acondicionamiento convencionales (beneficio directo) y la reducción en el consumo de electricidad o gas para producir energía térmica, con menores emisiones de CO<sub>2</sub> (beneficio indirecto). El beneficio de la eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) se produce en la medida en que se reemplazan sistemas de enfriamiento convencional que emplean refrigerantes de alto impacto ambiental (Tejero, 2012).

Los distritos térmicos permiten el suministro de múltiples servicios energéticos a partir de un único sistema, lo que aumenta la eficiencia en los procesos y en la calidad del servicio. Esto representa ahorros económicos y energéticos en los edificios que usan la energía térmica (Tejero, 2012)

Finalmente, la implementación de distritos térmicos permite la articulación de fuentes no convencionales de energía para abrir oportunidades de generación de energía más limpia.

#### **5.5. Marco Normativo**

En el marco normativo del desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta.

La ley 1715 de 2014 (El Congreso de Colombia, 2014) que tiene como finalidad servir como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del suministro energético a través de la integración al mercado eléctrico, la participación en áreas no interconectadas y otros usos de la energía.

Frente a las ventajas sociales, económicas y ambientales se proponen estrategias que ayuden al medio ambiente; las soluciones sostenibles actualmente son una alternativa de gran

impacto hacia la metamorfosis energética y la descarbonización de la división fortalecedora (Moriarty, 2012) con el uso de fuentes no convencionales de energía.

En países latinoamericanos se evidencia la presencia de equipamientos que articulan la sostenibilidad y los distritos térmicos, aún se encuentran dificultades en ponerse en frente a la implementación. En 2019 el troquel energético colombiana presentó un 15% de unificación de fuentes no convencionales de petróleo (ver Figura 2) y un aumento en igual proporción con el año previo de las fuentes renovables no convencionales, irrelevantes en el troquel de consumo gubernativo (Corredor, 2018).



Figura 2. Proyección de participación de energía renovable

Fuente: (Latin Energy Group, 2022)

De acuerdo con CELSIA, (s.f.), el 70% de la energía generada en el mundo es consumida en las ciudades; de ella, el 50% del consumo energético se usa para la calefacción, enfriamiento o agua caliente.

En el caso de Colombia, el 75% de la población vive en los centros urbanos, más del 70% de ellos están por debajo de 1.500 msnm, por lo que requieren el uso de sistemas de refrigeración en aire acondicionado. Según el inventario del Ministerio de Ambiente, a 2018, el 65% del uso del refrigerante se encuentra en los sistemas de aire acondicionado para edificios públicos,

edificios, hoteles, clínicas y uso residencial. Por esa razón, el proyecto de Distritos Térmicos Colombia promueve la reducción del uso de refrigerantes en las principales áreas donde los usuarios requieren de aire acondicionado a nivel nacional.

El proyecto Distritos Térmicos - Colombia es parte de la aplicación de estrategias relacionadas con la protección de la capa de ozono y el sistema global del clima, en el marco de los compromisos que asume Colombia a la Convención de Viena y el Protocolo de Montreal y el Marco Público de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto.

Su objetivo es cumplir con el proceso de eliminación del uso y las emisiones de refrigerantes son sustancias agotadas de la capa de ozono y / o los gases de efecto invernadero para los sistemas de aire acondicionado en edificios adyacentes ubicados en áreas de desarrollo urbano, de manera que se adapte a la estrategia colombiana de disminución de emisiones de carbono.

De manera similar, para cumplir con los objetivos del milenio y los objetivos especiales para la base conceptual de la *ciudad sostenible*, forma parte de la política, la gestión ambiental urbana que tiene como objetivo armonizar la industria de la gestión y la política y fortalecer el espacio de comunicación y la participación ciudadana, contribuyendo a la sostenibilidad del entorno y la calidad urbana de la vida de sus residentes.

El fortalecimiento de las instituciones, así como la interacción con los actores privados, permitirán agencias territoriales de orden nacional y local, reconocer los problemas ambientales y energéticos del uso de sistemas de refrigeración, así como las fuerzas especiales para llevar a cabo los distritos térmicos en sus áreas influyentes. La recopilación de estas acciones proporcionará la línea base para calcular por medio del estándar Ashrae 60.1 el cual especifica las tasas mínimas de ventilación y otras medidas para proporcionar una Calidad de Aire Interior

(IAQ), adecuada para la ocupación humana, y proporciona las herramientas para calcular el campo del aire acondicionado en Colombia y la política de gestión ambiental urbana.

La normativa colombiana en relación con el tema de fuentes no convencionales de energía está sujeta desde la constitución política de Colombia de 1991 hasta actualmente el plan de Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia, a continuación, se referencia este tema con la normativa.

En la República de Colombia, la Constitución Política es la norma que rige la estructura legal del país, y en esta se incluyen dos artículos referentes al medio ambiente, los cuales son los siguientes:

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines (Gómez, 2007, pág. 58)

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas (p. 59)

En 2001, por medio de la Ley 697 de 2001, se declara el uso racional y eficiente de la energía como asunto de interés social entre otros, aprovechando de forma óptima la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, mediante la cual fomenta el uso racional y eficiente



de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones (El Congreso de Colombia, 2001).

Mediante la Resolución 5 de 2010 la comisión de regulación de energía y gas determina los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplirlos procesos de cogeneración y se regula esta actividad (Comisión de regulación de energía y gas, 2010).

De otro lado, la Ley 1715 de 2014, regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético, esta promueve el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, promueve la participación de usos energéticos y el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el abastecimiento energético (El Congreso de Colombia, 2014)

El Ministerio de Ambiente, durante el año 2015, mediante el Decreto único ambiental 1076 de 2015 decretó el licenciamiento ambiental. En el capítulo 3, Licencias ambientales, sección 1, artículos 2.2.2.3.2.2 y 2.2.2.3.2.3 indican las actividades sujetas a licencia. Los proyectos de Distritos Térmicos no están sujetos a procesos de licenciamiento ambiental, aunque se debe considerar las características de diseño (Minambiente, 2015)

La UPME (unidad de planeación minero energético), establece el procedimiento para evaluar y emitir concepto sobre proyectos evaluados y certificar el beneficio ambiental para proyectos de eficiencia energética y acceder al beneficio tributario establecido en el Decreto 1625 de 2016 de Minambiente, por la cual se establece el procedimiento para conceptuar sobre los proyectos de eficiencia energética/gestión eficiente de la energía que se presenten para acceder al beneficio tributario de exclusión del IVA (UPME, 2018).

La Comisión de Regulación de Energía y Gas, por medio de la Resolución 020 de 2018, regula aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a

pequeña escala y la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

El Gobierno Nacional presentó, también en 2019, el Plan Nacional de Energía (PNE) 2050, el cual fue identificado como un "modelo sustentable que asegure nuestra transición energética (sic)", el quinto de los cuales es lograr "la eficiencia energética como pilar fundamental del crecimiento económico y el bienestar de las personas " (UPME, 2019).

Posteriormente, la Presidencia de la República generó la ley 2099 de 2021 (El Congreso de la República, 2021) que tiene como objeto modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y, en general dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible.

También está la Resolución 000196 de 2020 "Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios de descuento en el impuesto de renta y deducción de renta y reducción de IVA para proyectos de gestión de la eficiencia energética" (UPME, 2020)

Dentro del apartado número 9, se relacionan los distritos térmicos como red urbana de climatización, en ella enmarca el alcance del proyecto en sus diferentes fases para que este sea susceptible de los beneficios.

El Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas – RETSIT (Ministerio de Minas y Energía, s.f.) plantea los lineamientos generales para instalaciones de producción y distribución de energía térmica por medio de distritos térmicos, en los procesos de diseño e instalación, pruebas, mantenimiento y operación.

La ley 2169 de 2021 (El Congreso de Colombia, 2021), Ley de acción climática establece las medidas mínimas para alcanzar la carbono-neutralidad, la resiliencia climática, y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo. Define la necesidad de incorporar en los instrumentos sectoriales de planificación, acciones para consolidar diversas medidas, entre ellas, para la masificación y promoción de distritos térmicos como fuente centralizada de energía.

De igual manera, La Secretaría Distrital de Ambiente, por medio del Decreto 555 por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.

Medidas de mitigación del cambio climático. Las medidas de mitigación están enfocadas a la gestión que busca reducir los niveles de emisiones de Gases Efecto Invernadero –GEI– en la atmósfera, a través de la limitación o disminución de las fuentes de emisiones de GEI y el aumento o mejora de los sumideros y reservas de estos gases.

Medida 6. Eficiencia energética e infraestructura para fuentes no convencionales.

Estrategia 6: Promoción de distritos térmicos para la sustitución de sistemas de enfriamiento en ciudades: Eficiencia energética, Reserva de suelo para la localización y establecimiento de los distritos térmicos (La Alcaldesa Mayor de Bogotá, D. C., 2021).

El Departamento Nacional de Planeación, crea el documento CONPES 4075 de 2022 con el fin de presentar la Política de transición energética donde plantea los lineamientos y estrategias para incrementar la seguridad energética: incentivar el conocimiento y la innovación en transición energética; generar mayor competitividad y desarrollo económico desde el sector energético, y desarrollar un sistema energético con bajas emisiones (DNP, 2022)

Así mismo, vincula los trazados de la implementación de distritos térmicos y los interrogantes que ha generado dentro de la planificación de la integración de los distritos en edificaciones territoriales.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible evaluará estrategias para la integración de los distritos térmicos como alternativas urbanas ambiental y energéticamente sostenibles a partir de la realización de un estudio de los escenarios de referencia y de reducción del consumo energético y de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para lograr esto, se diseñarán los pliegos del estudio, se contratará su realización y se implementarán las recomendaciones. Esta acción se llevará a cabo entre el segundo semestre del 2022 y el 2024 (DNP, 2022).

En 2022, el Ministerio de Ambiente presenta ‘La Hoja de Ruta de Edificaciones Neto Cero Carbono’ (Ministerio de Ambiente, 2022) en la cual se establecen acciones a corto, mediano y largo plazo para toda la cadena del sector de la construcción: planificación urbanística, materiales, transporte y distribución, diseño, etiquetado, certificación, uso de agua y energía, gestión de residuos.

De igual forma, articula la metodología de implementación de distritos térmicos en relación con la hoja de ruta en la implementación y el desarrollo de distritos térmicos y otras soluciones de climatización y/o generación de energía sostenible (distritos energéticos) y los trazos para 2030 a 2050, con el fin de lograr que el 100% de las ciudades se han implementados distritos térmicos u otras soluciones de climatización y/o generación de energía sostenible (distritos energéticos).

La Unidad de Planificación Energética, Energía y Explotación, UPME, informa en su último boletín estadístico (2018) que en 2017 se registraron 70 proyectos de generación eléctrica, con un total de 1.062,28 megavatios (MW 11 empresas están relacionadas con la producción de

biomasa con un potencial de 35,5 MW, 17 están relacionadas con la energía eólica con un potencial de producción de 2.285 MW y 325 son solares, con 3.729 MW. UPME advirtió que las 'incertidumbres globales importantes' para el sector eléctrico en 2019 fueron el crecimiento de la economía, el avance de las reservas energéticas, los precios de las materias primas y la cantidad de Incrementar la urbanización, mientras que las acciones prioritarias son el crecimiento económico de China, las tendencias de los precios en la economía, los subsidios al consumo de energía, la eficiencia energética y las fuentes de energía renovables.

La reducción de gases efecto invernadero se dará en los principales sectores económicos del país, sobre todo en energía, promoviendo la eficiencia energética en todos los sectores de la producción por medio de energías renovables no convencionales y una gestión más eficiente de la energía (UPME, 2015)

Por su parte, la Autoridad de licencias ambientales ha expedido términos para:

- 10 proyectos de energía eólica
- un proyecto de energía solar
- un proyecto de biomasa
- tres geotérmicos

En Colombia, la transición energética ya comenzó con un premio de energía renovable ganado en 2019 y un cronograma propuesto para los próximos años; sin embargo, se le debe otorgar un papel más importante.

Al tenor de que el potencial para aprovechar los recursos energéticos renovables únicos de este país es muy alto, debido a sus condiciones climáticas y geográficas, el Gobierno ha creado una serie de documentos para el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), que proporcionan una hoja de ruta para navegar las políticas nacionales.

Los más relevantes para este trabajo son los documentos CONPES 3934 (DNP, 2018a) sobre crecimiento verde, el 3918, sobre implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia (DNP, 2018b) y 3919 sobre edificaciones sostenibles (DNP, 2018c).

Los últimos establecen objetivos relacionados con la movilización de recursos para el 2030 para aumentar la inversión en infraestructura, cooperación internacional, investigación y tecnología relacionadas con la energía limpia, incluidas las fuentes renovables.

Para los edificios, se recomiendan medidas para incrementar la producción de energía limpia bajo lo establecido en la Ley 1715 de 2014 (El Congreso de Colombia, 2014), señalando que el potencial de ahorro en el uso de energías alternativas en las instalaciones de la entidad gubernamental para instalaciones es de 2.7%.

El CONPES 3934 (DNP, 2018a) sobre la Política de Crecimiento Verde establece con más detalle una descripción general de la implementación y estimación del potencial de energía renovable, incluidos 1.886 MW de energía solar y eólica en la costa norte del país. 20.000 MW, biomasa (entre residuos agrícolas y animales) 151.098 TJ / año y geotermia de 1.000 a 2.000 MW.

Estos sistemas incluyen la capacidad efectiva neta de energía eólica (18 MW), solar (10 MW) y la refinería Al-Qasab (113 MW) e incluyen pequeñas centrales hidroeléctricas (216 MW).

Dentro del proyecto de Distrito térmico fase II: Bogotá por medio del Decreto 555 de 2021 por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. (La Alcaldesa Mayor de Bogotá, D. C., 2021) y dentro del Reglamento ecourbanismo y construcción sostenible se implementa el uso de distritos térmicos, como una alternativa a la construcción sostenible y a la reducción de emisiones a la capa de ozono.

## 6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación, como se evidencia en la Figura 3, se realizó una revisión bibliográfica alrededor de los temas a tratar tales como: distritos térmicos, fuentes no convencionales de energía, tipos de edificación y consumo energético de Bogotá.

La realización de esta investigación tiene como caso de estudio la ciudad de Bogotá. Inicialmente, para abordar el objetivo uno, se realizó la caracterización de la ciudad de Bogotá y el consumo energético por cada una de sus localidades; con la matriz de análisis y la información suministrada por la Secretaría Distrital de Planeación, se identificaron los consumos y coberturas de cada una de ellas.

Para el desarrollo del objetivo dos, se realizó la identificación de generación de energía por medio de las condiciones climáticas de Bogotá. Este análisis se hizo con cuatro fuentes de investigación con el fin de ser contrastadas.

Se evaluó el documento de calidad del aire, el histórico del IDEAM, el software de la Universidad EIA y el software ENAIR. Teniendo en cuenta los datos suministrados de cada una de las fuentes, se tomó en consideración la velocidad del aire y la radiación solar.

La selección de los softwares para la investigación se hizo por su precisión y la accesibilidad de los resultados que arrojan, ya que la demanda es amplia para evaluar la velocidad de aire y radiación solar, pero son acceso con pago. Por esto se comparan dos softwares con documentos oficiales de Bogotá.

El objetivo número tres tiene como finalidad identificar las fuentes no convencionales de energía evaluadas, energía solar y energía eólica en cada una de las localidades con el propósito

de caracterizar los potenciales energéticos máximos y mínimos con los resultados obtenidos del análisis anterior.

Para desarrollar el objetivo número cuatro, que corresponde a proponer el modelo teórico, se tuvieron en cuenta las localidades de máximo potencial de fuentes no convencionales de energía, para analizar la localidad y ubicar los posibles clientes, evaluar la cantidad TR y MBtu requerida y conocer la capacidad de cada uno de los distritos, reconociendo si es un distrito térmico extramural o intramural, utilizando un radio de 200 metros para ubicar cada uno de ellos.

Así mismo, se determinó la capacidad de fuentes no convencionales de energía y su cantidad para cada distrito; se propuso la ubicación y un programa de necesidades del distrito térmico. De igual manera, se plantearon diferentes especificaciones técnicas de equipos que se pueden utilizar dentro de los distritos, teniendo en cuenta las condiciones de la localidad. Para este análisis en particular, se partió de un estudio de caso.

Así mismo, se planteó una matriz de evaluación de distritos térmicos con base en su localización y tipo. Se hizo un aproximado de costo teniendo en cuenta estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera, propuesto por el equipo de distritos térmicos Colombia, para identificar la viabilidad en la implementación.

Para abordar el quinto objetivo, que corresponde a la identificación de posibles zonas de ubicación de distritos térmicos en la ciudad, a partir de potenciales energéticos de fuentes no convencionales de energía y los usos edificatorios, se realizó la combinación de las fuentes para determinar las localidades con mayor potencial, y se plantearon los usos edificatorios para implementar los distritos térmicos, con el fin de generar una cartilla metodológica para la implementación de distritos térmicos, por medio de fuentes no convencionales de energía en Bogotá, guía que se espera replique en las demás ciudades



La Figura 4 muestra la Metodología de investigación implementada en la investigación.

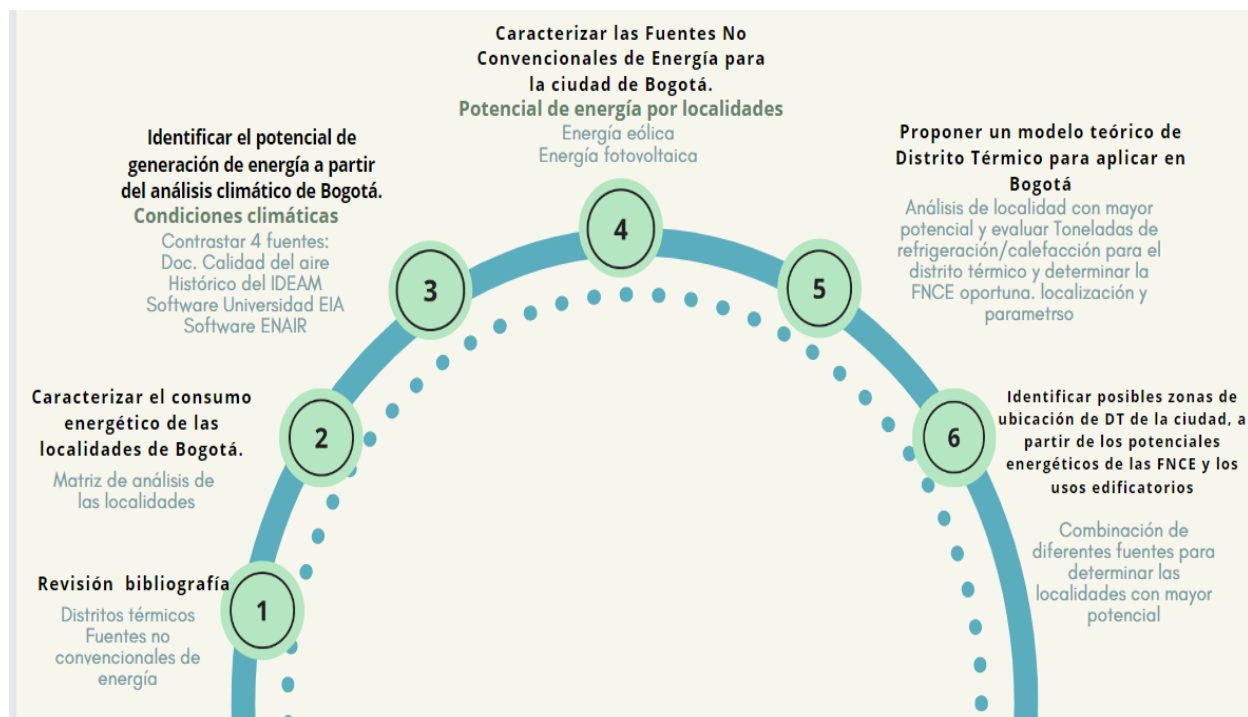


Figura 3. Metodología de investigación.

Fuente: Elaboración propia

## 7. RECOLECCIÓN DE DATOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Para la conceptualización de la información y control de la bibliografía revisada se realizaron unas matrices de control de acuerdo de acuerdo con las variables del proyecto, se presenta en el ANEXO INF 01-INF 02-03 ANEXOS

- Matriz inf 1- que se evidencia en la tabla 1 de recolección de información referencial - artículos científicos, donde se realizó una conceptualización y control de información.

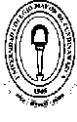
Tabla 1. Tabla de recolección de información referencial - artículos científicos

CATEGORÍA	TÍTULO	AÑO	AUTORES	FUENTE	PALABRAS CLAVES	APOORTE	Código: INF-01
							ARCHIVO
<b>PROYECTO: POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA PARA DISTRITOS TÉRMICOS EN BOGOTÁ</b>							
1	Densidad de calor (No peso)	2021	Su, Cheng Da; Gryn, John R; Lu, Jiguo	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096980471400158X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096980471400158X</a>	Densidad de calor, no peso, distritos de calor, calefacción, sistema de información geográfica, fuentes de calefacción, emisiones	Identificación de zonas de calor dentro de los límites urbanos - Geolocalización de potencia térmica - Muestreo de calefacción por medio de distritos.	PDF MENDELEY
2	Densidad de calor (No peso)	2021	Vaizi, Saib; Mahanna, Saib; Habibi, Kyoanna	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5462">https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5462</a>	Modelado de energía térmica, no peso de energía, eficiencia energética, potencial energético	Identificación de potencial energético por medio de mapeo energético, evaluación energética térmica de diferentes tipos de edificación, edificaciones, identificación de densidad de energía. Caracterización energética y generación para evaluar estrategias	PDF MENDELEY
3	Planificación de energía de distritos	2020	Polly, Ben; Pless, Shari; Houssainy, Samir; Torcellini, Paul; Livingston, William; Zareki, Saib; Jiang, Li; Saib; Hootman, Tom; Craig, Mindy	<a href="https://www.nrel.gov/docs/techrep/staffdocs/2020/2020-0231.html">https://www.nrel.gov/docs/techrep/staffdocs/2020/2020-0231.html</a>	Eficiencia energética, energías renovables, distritos térmicos	Marco de referencia y guía para la implementación de distritos por medio de planificación técnica, financiera para identificar el mejor rendimiento energético para los distritos de energía e implementado fuentes renovables, promoviendo los objetivos de energía cero, carbono neutro y sostenibilidad. Permite a los distritos de energía con mayor rendimiento	PDF MENDELEY
4	Densidad de calor (No peso)	2019	Chambers, Jonathan; Nairala, Kapil; Subbar, Matthias; Patel, Martin K.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263886919300381">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263886919300381</a>	Densidad térmica, no peso de potencial de calefacción, emisiones de ahorro, red, generación de distrito	Como mapear un mapa de potencial de energía térmica, métodos de densidad, identificación de calor, estrategia de distrito para una red de calefacción y refrigeración según climatología, atlas térmico	PDF MENDELEY
5	Densidad de calor sostenibles	2022	Jodetiri, A. M.; Goldsworthy, M. J.; Buffa, S.; Corzani, M.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000248">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000248</a>	Almacenamiento de energía, calefacción urbana, fuentes no convencionales de energía, distritos, sistemas de energía sostenible	Retos para la integración de fuentes de calor a sistemas de distritos de bajo consumo y energía sostenible, la implementación de fuentes no convencionales de energía en exploración	PDF MENDELEY
6	Impactos / energía gas	2021	Musa, Abel; Koy, Muhammed	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442072030917X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442072030917X</a>	Impactos potenciales, fuentes no convencionales, desarrollo sostenible, gas	Recursos de gas para el mercado, fuente de ingresos y ahorros, la implementación de fuentes no convencionales para la mitigación de impactos y generar estrategias energéticas de transición de energía.	PDF MENDELEY
7	Fotovoltaica en Colombia (potencia)	2020	López, Andrés; Ruiz; Krawiec, Aleksandra; Schmittlocher, Lukas; Barandt, Thorsten; Moysa, Felipe; Corral; Oberlander, Marina; Qui, Paola	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804719301597">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804719301597</a>	Energía fotovoltaica, transición energética, fuentes renovables	La implementación de fuentes no convencionales de energía es importante para la transición energética, la formulación de fotovoltaica a diferentes escalas, marcos regulatorios y financieros y revisar el potencial energético para la implementación	PDF MENDELEY
8	Distritos térmicos	2021	Reidt, Johannes; Holler, Stefan; Pesson, Urban	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804720301284">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804720301284</a>	Atlas de calefacción, desarrollo, potencial	Métrica para el sistema de calefacción y refrigeración, energía térmica a través de calefacción urbana	PDF MENDELEY
9	Calefacción urbana	2022	Finkebeath, Matthias; Faber, Till; Behrens, Fabian; Leiprecht, Stefan	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263886922000592">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263886922000592</a>	Carga térmica, calefacción urbana, planta red	La optimización de instalación de red de calefacción y refrigeración, electricidad renovable	PDF MENDELEY
10	Fuentes no convencionales de energía	2012	Mariary, Patrick; Hoarey, Damon	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111009246">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111009246</a>	Energía renovable, potencial	Análisis energético, densidad, energías renovables, potencial energético a nivel global y la formulación de proyectos con energías renovables	PDF MENDELEY
11	Distritos térmicos	2021	Silou, Etienne; Candanedo, José A.		energía solar, distritos térmicos, calefacción	Optimización y control de distritos de calefacción, sistemas para la generación de conocimientos	PDF MENDELEY
12	Distritos térmicos	2021	Cipriotti, Paola; Ferla, Giulio; Bellandi, Marco; Giorgianni, Nerio		distritos térmicos	escenarios de evaluación de la implementación de distritos de calefacción, información de interés para estudio referencial	PDF MENDELEY

Fuente: Elaboración propia

- Matriz inf 2- se evidencia en tabla 2 la recolección de información referencial - pdf sitios web, artículos, tesis y documentos, que se realizó para el desarrollo de la investigación.


Tabla 2. Tabla de recolección de información referencial - pdf sitios web, artículos, tesis y documentos

		TABLA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN REFERENCIAL - PDF SITIOS WEB, ARTICULOS, TESIS Y DOCUMENTOS						Código: INF - 02
		PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ						VERSIÓN: 01
CATEGORIA	TITULO	AÑO	AUTORES	PAG WEB	PALABRAS CLAVES	APORTE	ARCHIVO	
1	Distritos termicos	2019	Ministerio de ambiente y desarrollo	<a href="https://www.districtoenergetico.com/distritos-termicos-guia-metodologica/">https://www.districtoenergetico.com/distritos-termicos-guia-metodologica/</a>	distritos termicos	Guia para la implementación, estructuración de cada uno de los distritos termicos, sus fases y procesos para el desarrollo	PDF MENDELEY	
2	Distritos termicos	2020	Mayorga, Natalia	2nd Regional Conference on SWAC, OTEC and District Cooling Technologies in Latin America and the Caribbean	Distritos termicos, proyectos, cooperacion infraestructura	terminos, tipos de distritos termicos, proyectos de implementacion de distritos termicos en colombia, marco nacional	PDF MENDELEY	
3	Distritos termicos	2015	Empresas Públicas de Medellín [EPM]	PDF MENDELEY	Distritos termicos, sostenibilidad, desarrollo, proyectos y ciudades de implementación	Marco referencial del proyecto de implementación de fuentes no convencionales de energía, el desarrollo del distrito termico la alpujarra	PDF MENDELEY	
4	Distritos termicos	2020	Distritos termicos colombia, TRACTEBEL, HINIIGO	PDF MENDELEY	Distritos termicos, caracterizacion, demanda estimada, fuentes de energia, impactos	Propuesta inicial del planteamiento de un distrito termico en Bogota, analisis ambiental, economico y tecnico de una zona especifica, planteamiento de especificaciones tecnicas	PDF MENDELEY	
5	Distritos termicos	2020	Daniel Barrera Navaro	Universidad del norte	Distritos termico, sistema acondicionado, energia electrica, sistemas de refrigeracion	La formulacion de distritos termicos en ciudades en colombia, teniendo las condiciones climaticas y cargas termicas	PDF MENDELEY	
6	Energias renovaves	2019	Julieth, JIMENEZ AREVALO leidy		energias renovables, desarrollo sostenible, agenda 2030, energia hidroelectrica y energia asequible	Fomentar la implementación de fuentes renovables y limpias para la reducción de impactos de los gases de efecto invernadero, la evolución en Colombia y como se articula a la agenda 2030	PDF MENDELEY	
7	Análisis energetico /sistema acondicionado	2022	Daniel Moreno Gaviria Jennifer Andrea Garzón Prada Trabajo	Universidad de Antiquia	Acondicionamiento de aire, análisis energetico y simulacion	analisis energetico de un sistema acondicionado por medio de fuentes no convencionales de energia en diferentes zonas climaticas	PDF MENDELEY	
8	Potencial termico	2020	Ávila Briceño, Dario Alejandro	Universidad los andes	Potencial eotermico, bombas de calor, nivel estatico	Estimacion de potencial geotermico de algunas zonas de la periferia de bogota, areas potenciales para la implementacion de fuentes renovables de energia	PDF MENDELEY	

Fuente: Elaboración propia

- Matriz inf 3- tabla 3 se realizó la recolección de información normativa y entes nacionales y territoriales

Tabla 3. Tabla de recolección de información normativa y entes nacionales y territoriales

		TABLA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN NORMATIVA Y ENTES NACIONALES Y TERRITORIALES					Código: INF - 03
		PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ					VERSIÓN: 01
CATEGORIA	TITULO	AÑO	AUTORES	PALABRAS CLAVES	APORTE	ARCHIVO	
1	Fuentes no convencionales de energía	Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia	2015	UPME Y Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	fuentes renovables, energía, política de integración como generación energética	La integración de las energías renovables para la mitigación de impactos, la formulación de proyectos integradores y generación de conciencia	PDF MENDELEY
2	Fuentes no convencionales de energía	Decreto 1076 26 de mayo de 2015	2015	Congreso de la república	Recursos renovables, ambiente, ordenamiento, energía, aprovechamiento	Regula la utilización de fuentes no convencionales de energía como forma de recuperación ambiental, para el manejo, uso y aprovechamiento de energía en todo el país	PDF MENDELEY
3	Fuentes no convencionales de energía	PROURE plan de uso racional de energía	2019	UPME Y Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Energía, renovable	Es una guía para el uso racional y eficiente de la energía, la implementación de fuentes no convencionales y estrategias para la reducción	PDF MENDELEY
4	Fuentes no convencionales de energía	ley 1715 2014	2014	Congreso de la república	Fuentes no convencionales de energía, energía	la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional	PDF MENDELEY
5	Ordenamiento territorial	Plan de Ordenamiento Territorial "Bogotá Verdece" 2022-2035	2022	Secretaría Distrital de Planeación	pot, territorio, energía, agua y infraestructura	El POT es la oportunidad para definir la hoja de ruta del desarrollo de Bogotá del 2022 al 2035. es la normativa vigente y la fuente de información	PDF MENDELEY
6	Indicadores de consumo	Informe de resultados sobre los indicadores de consumo de agua y energía eléctrica en Bogotá 2012 - 2019	2019	Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Planeación	POT, consumo, energía, agua	Información para revisar los consumos energéticos de las zonas de mayor radiación, IMPORTANTE	PDF MENDELEY

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la recolección de datos, se desarrolló el panorama de los distritos térmicos en los diferentes ámbitos conceptual, internacional, nacional, local y Bogotá. Con el fin de conocer desde diferentes autores, contextos, países el desarrollo y la implementación de distritos térmicos y fuentes no convencionales de energía.

### 7.1. Panorama de distritos térmicos

Los primeros vestigios de la industria de los distritos térmicos comenzaron a mediados del siglo XIX, siendo el más antiguo el construido en Nueva York, con cerca de 140 años. Desde ese momento se ha dado un crecimiento del desarrollo y de las implementaciones de la industria donde se busca minimizar las pérdidas de energía térmica y crear comodidad dentro de los edificios a través de sistemas en red monitoreados centralmente.

La iniciativa de la implementación de los distritos térmicos es promover el desarrollo urbano sostenible. Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO). Aumentar la eficiencia energética. Permitir el uso de energías renovables. Apoyar el desarrollo sostenible del sector de climatización en Colombia (EPM, 2015)

Los tipos de usos urbanos susceptibles de implementar distritos térmicos, durante la fase de planeación, la selección de la zona o localidad de desarrollo, deben obedecer a un proceso sistemático que permita establecer y cuantificar la relación entre la oferta de energéticos primarios y la demanda de energía térmica. En general, una zona debe reunir las siguientes características para considerarse como atractiva para implementar un distrito térmico:

- Edificaciones de alto consumo energético.
- Alta densidad de construcción.
- Baja presencia de obstáculos geográficos.
- Conocimiento de redes preexistentes de servicios públicos.
- Edificaciones con sistemas de climatización que hayan superado al menos el 60% de su vida útil.
- Diversidad de clientes potenciales.
- Consumo de energía térmica relativamente constante.
- Acceso a recursos energéticos de bajo costo (Distritos Térmicos Colombia, 2022c).

Los distritos térmicos urbanos también proporcionan beneficios significativos a las ciudades donde se construyen, particularmente por tratarse de una infraestructura que entraría a prestar servicio a la ciudad, dando una ventaja competitiva para atraer nuevos

desarrollos sobre otras ciudades que no tienen sistemas centralizados de distribución de frío/calor (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022b, pág. 164).

La implementación de la tecnología en los procesos de climatización se realiza por medio de plantas de enfriamiento que permiten tener un sistema más eficiente que los *chiller* por aire, estos permiten enfriar el agua mucho más rápido y alrededor de un 80% más eficiente que un aire acondicionado residencial estándar.

La reducción de costos de capital para constructores y propietarios de edificaciones, al conectarse a un distrito térmico, evita la necesidad y el valor de construcción de una planta generadora de frío/calor en cada edificación, a la vez que libera espacio en m<sup>2</sup> para otros usos edificatorios, permitiendo reducir de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022b, pág. 164).

Los sistemas de enfriamiento centralizados tienen un riesgo considerablemente reducido de fugas de refrigerantes. Adicionalmente, hay una oportunidad de utilizar refrigerantes naturales y nuevas mezclas de refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global que, debido a su toxicidad o problemas de inflamabilidad pueden ser menos aceptables para uso en equipos distribuidos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022, p. 163)

Para el funcionamiento de un distrito térmico se requiere de una centralidad térmica, una red de distribución y subestaciones de transmisión térmica en cada uno de los edificios, estos permiten el acceso a diferentes fuentes de energía renovable o residual, lo que los convierte en una alternativa de producción de energía con bajo impacto ambiental (Distritos térmicos Colombia, 2021).

**La central térmica** es una tipología para la generación de calor o frío a partir de energías primarias como electricidad, gas y combustibles. Existen previos análisis de la incorporación de

fuentes no convencionales de energía como fuente de energía para la central térmica. Esta tiende a ubicarse adyacente a los puntos de conexión y tiene una infraestructura propia para su funcionamiento, en esta se sitúan todos los aparatos para la generación de calor y frío por medio de *chillers* y máquinas de bombeo, que permiten la impulsión de calor o frío para cada uno de los clientes.

La tecnología hace parte de la central térmica toda vez que está controlada de manera digital, dependiendo de su consumo y demanda.

El ciclo termodinámico de refrigeración en el 5 que se basa en este tipo de *chiller* es el ciclo por compresión se encarga de comprimir un gas refrigerante que, “al condensarse, emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior. Para mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica” (Arnabat, 2007).

Utiliza una fuente de energía eléctrica que alimenta al compresor, el cual usa como sustancia de trabajo un gas refrigerante. Dentro de los *chillers* eléctricos hay otra subclasificación que consiste en los *chillers* enfriados por agua y los enfriados por aire (Mejía & Salazar, 2020, p. 5)

Los *chiller* de este tipo implementan diferente tecnología de compresión de tornillo, desplazamiento, de pistos y centrífugo (Distritos Térmicos Colombia, 2022a). En la Figura 4 se relaciona un *chiller* eléctrico.



*Figura 4. Chiller eléctrico*

*Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2022a)*

- *Chiller* por absorción:

El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso como se observa en la Figura 5. El ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tal como el agua, en fase de vapor (Equipos y Laboratorio de Colombia, s.f.).

Estos requieren de una fuente “de alta temperatura que puede tomarse de energía residual de procesos industriales (agua caliente de proceso, gases de combustión de turbinas o motores a gas y vapor excedente de una caldera, entre otros) o pueden usar agua caliente proveniente de colectores solares” (Distritos Térmicos Colombia, 2022a).





*Figura 5. Chiller de absorción*  
*Fuente (Distritos Térmicos Colombia, 2022a)*

- Sistema de rechazo de calor:

En el sistema de rechazo de calor se recomienda que las torres de enfriamiento se seleccionen de manera que estén en capacidad de trabajar con cualquier enfriador en la central, de modo que cualquier torre pueda atender a algún enfriador en caso de que una unidad esté fuera de línea (Distritos Térmicos Colombia, 2022a). En la Figura 6 se puede observar las torres de enfriamiento de un distrito térmico.

Adicionalmente, el uso de sumideros naturales de calor, como ríos o lagos, elimina el uso de torres de enfriamiento y debe considerarse su utilización, siempre que la concepción técnica del distrito y la regulación ambiental local lo permita (Distritos Térmicos Colombia, 2022a).



*Figura 6. Sistema de rechazo de calor*

*Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2022a)*

- Instrumentación:

La central de producción de energía térmica debe contar con un amplio abanico de medidores y elementos que completan el balance de la planta, esta instrumentación debe abarcar lo siguiente:

- Medidores de temperatura
  - Medidores de presión
  - Flujómetros
  - Interruptores de estado sólido
  - Válvulas y actuadores
- Sistema de bombeo primario:

Existen dos tipologías posibles para el sistema de bombeo primario hacia los enfriadores:

1) bombeo dedicado a cada enfriador; 2) bombeo a la línea principal que distribuye a todos los equipos como se evidencia en la Figura 7. La selección de uno u otro esquema depende de la realización de un análisis de costo/beneficio (Distritos Térmicos Colombia, 2022a).



*Figura 7. Sistema de bombeo*

*Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2022a)*

La red de distribución se puede diseñar de acuerdo con tres tipologías, según el esquema de bombeo:

- Bombeo centralizado en la línea principal de agua de suministro.
- Bombeo distribuido a cada estación de transferencia.
- Hibridación de ambos.

Los componentes esenciales de la central térmica son los enfriadores o *chiller* de agua, los que permiten la generación de frío dentro del sistema. Actualmente existen dos tecnologías, por compresión de vapor y absorción.

- *Chiller* por compresión de vapor: utilizan un compresor mecánico accionado eléctricamente para forzar un refrigerante alrededor del sistema

**La red de distribución** es la encargada de transportar a las diferentes edificaciones, estas redes son tuberías aisladas que evitan las pérdidas, aunque actualmente existen sistemas que aprovechan las redes de abastecimiento de agua, por medio de conducciones para el sistema de ida y retorno, este sistema tiene una serie de ventajas a las tuberías aisladas.

Debido a que agiliza el montaje y disminuye la mano de obra, minimiza las pérdidas térmicas, tiene una percepción de detección de fugas en la red y tiene una vida útil más prolongada y esta requiere menos mantenimiento.

- **Red ramificada:** también conocida como red de espina de pescado. “Cada edificación se conecta a una de las centrales de producción de energía térmica mediante un único tubo de suministro y retorno”. (Distritos Térmicos Colombia, 2022a)
- **Red tipo malla:** las edificaciones tienen múltiples puntos de conexión a la central de producción de energía térmica, pues la disposición de la conexión suele obedecer a un patrón de cuadrícula. En caso de tener varias centrales próximas, cada edificio puede conectarse a más de una. La confiabilidad del suministro es más alta que la de la red ramificada, pero su costo es más elevado y se justifica solo si es muy alta la disponibilidad del suministro que se necesita (Distritos Térmicos Colombia, 2022a).
- **Anillo de distribución:** es una solución híbrida entre la ramificada y la malla. Consiste en una red ramificada donde los puntos inicial y final de la red están interconectados, dando como resultado un lazo cerrado que incrementa la confiabilidad (Distritos Térmicos Colombia, 2022a).

**Las subestaciones de transmisión térmica** están localizadas en los edificios de cada cliente y está conectada por medio de la red de distribución, estas instalaciones se localizan de manera individual permitiendo un control, una regulación automática (Carmona, 2021)

Para las empresas, la implementación de distritos térmicos tiende a tener ventajas, entorno a la imagen empresarial ya que refleja valores en pro de la sostenibilidad y la eficiencia energética, esto beneficia a la imagen corporativa de las empresas que lo implementan. Para los usuarios, refleja beneficios en relación con el costo, el mantenimiento y la infraestructura útil, algunos otros beneficios se pueden observar en la Figura 8.



Figura 8. Beneficios de implementar

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.1. Distritos térmicos a nivel mundial

La implementación de distritos térmicos empezó en 1977 en Estados Unidos con la creación del sistema de vapor de Nueva York y en 1882 en Boston. En la actualidad Europa cuenta con 70.000 Km de tuberías en redes de calefacción (Carmona, 2021)

A nivel mundial han sido ejemplo de la eficiencia de la implementación de fuentes no convencionales de energía, Hay instituciones como DH&C+, Euroheat and Power (centro europeo de investigación e innovación en calefacción y refrigeración de distrito) cuyo objetivo es promover y desarrollar los District Heating/District Heating & Cooling, DH y DH&C (Mayfield, 2020, p. 23)

En informes realizados en 2011 y 2012 se definen las ventajas que supone el desarrollo e implantación de sistemas de calefacción urbana:

- Uso de fuentes no convencionales de energía locales para la implementación de redes de distribución por medio de distritos térmicos, ya sea de calor o frío, con el fin de ampliar la demanda de fuentes que resulten más eficientes y rentables, puesto que las

energías renovables pueden utilizarse de manera efectiva en la integración a los distritos térmicos

- Mayor seguridad energética, ya que el consumo de energía cada vez será mayor el proponen sistemas centralizados eficientes, reducirá notoriamente la demanda energética de fuentes primarias
- Control de contaminación, la implementación de distritos ha sido un propósito a favor de combatir el cambio climático y prever de contaminantes al medio ambiente, en pro de la sostenibilidad y la eficiencia energética.

De acuerdo con Juanes (2020), los distritos térmicos de España, Ginebra, París y Nueva York son algunos de los distritos térmicos en operación a nivel mundial:

- El Distrito térmico de Ginebra, Suiza

La implementación de distritos térmicos en Ginebra se hizo por medio de Free cooling (enfriamiento por parte del aire exterior), como se evidencia en la Figura 9, este utiliza el agua fría del lago de Ginebra que permitía el acondicionamiento de los edificios durante el verano, por medio de la red de distribución al distrito. Cuenta con un funcionamiento dual, ya que permite la transferencia de calor en invierno y frío en veran.

Cada una de las edificaciones cuenta con una bomba que permiten la distribución. Este distrito térmico lleva funcionando hace más 30 de años aproximadamente y se ha convertido en un modelo de negocio, ya que emplea un mecanismo para el ahorro de agua potable, y permite el retorno del agua al lago.

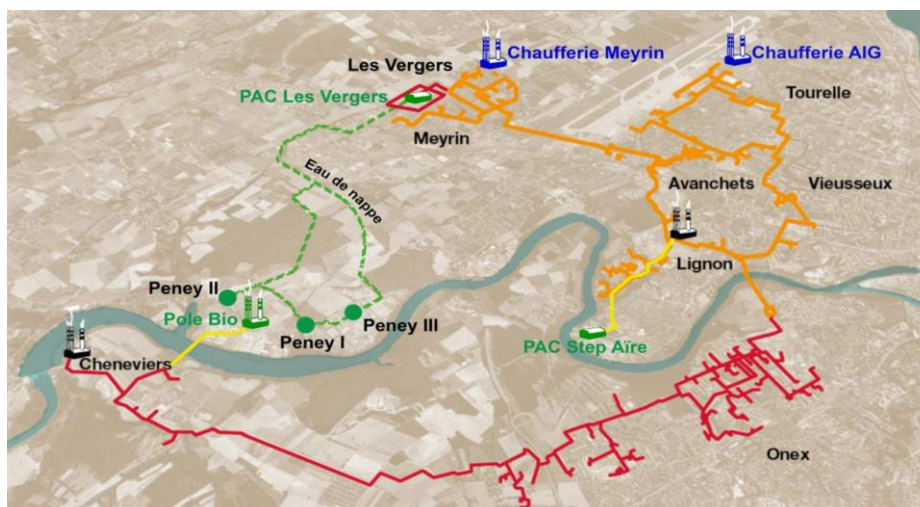


Figura 9. Distritos térmicos de Ginebra, Suiza

Fuente: (District heating and Cooling, 2017)

- El distrito térmico de Barcelona, España:

El distrito térmico de Barcelona es un modelo público-privado; permite un crecimiento de la red comunicada a las diferentes centrales para la producción de energía térmica. Actualmente, cuenta con tres subsistemas de producción de frío como se evidencia en la Figura 10 (Gobierno de España, s.f.).

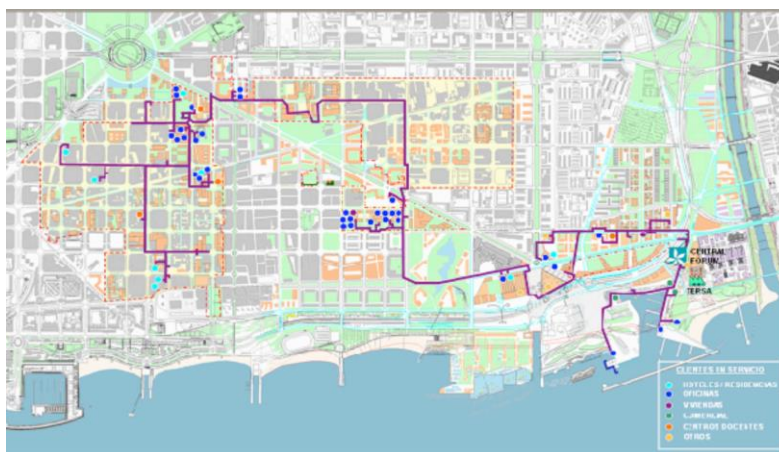


Figura 10. Esquema de la instalación de DHC en Barcelona

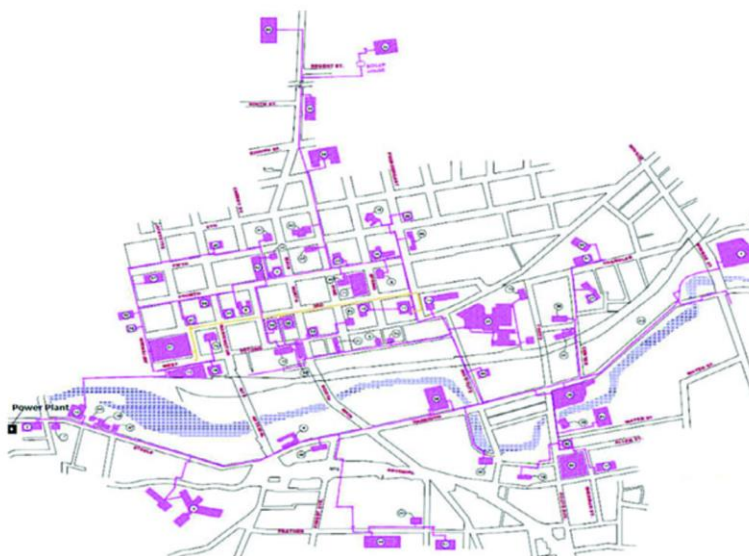
Fuente: (AIGUASOL, 2011)

- El distrito térmico de Lisboa, Portugal:

Inicialmente este distrito se implantó como uso particular y privado para sustituir la energía térmica de edificios y pabellones para la feria mundial de 1998. Pero al pasar de los años se convirtió en un avance público y privado para la implementación de un sistema de captura de calor residual para almacenar energía, producir agua caliente, y un enfriador de absorción convierte el calor residual almacenado en frío.

- El distrito térmico Nueva York, Estados Unidos

La red de calefacción urbana se creó en 1882. Inicialmente, las primeras cinco centralidades que calentaban agua consumían petróleo, pero a mediados del 2010 se implementó el uso de gas natural para reducir la contaminación. A lo largo de los años la red se ha incrementado, como se evidencia en la Figura 11



*Figura 11. Distritos térmicos de Olot*

*Fuente: Este diagrama muestra la red de tuberías de calefacción urbana en la ciudad de Jamestown, Nueva York. Cortesía: Joseph Technology Corp.*

Distritos térmicos con Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE). Algunos países han implementado los distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía en pro de disminuir emisiones y generar energía a partir de ellas. Ciudades como:



- Olot, España: genera energía únicamente de fuentes no convencionales de energía como lo son geotermia, fotovoltaica y biomasa, es una de las ciudades con sistemas cero-carbono como se evidencia en la Figura 12



*Figura 12. Distritos térmicos de Olot*

*Fuente: (Laudy, 2016)*

- Red de calor de Palencia, España: Es una red de distribución de calor por medio de biomasa y energía solar, que permite un ahorro del 25% del consumo energético por calefacción. Palencia es una ciudad que ha promovido la implementación de redes de calor por sus condiciones climáticas, como se evidencia en la Figura 13.



*Figura 13. Distritos térmicos de Palencia, España*

*Fuente: (DH Ecoenergías, 2019)*

### San Sebastián- Donostia:

La generación de energía térmica se implementa la utilización de biomasa, que deberá suministrar como mínimo el 75% de la energía total producida, Esta energía circulará por 3 km lineales de tuberías, preaisladas, bajo tierra y que conectarán el punto de producción con cada uno de los edificios conectados al sistema. Según explican los técnicos, el factor clave de estas tuberías, además del propio acero, es el aislamiento, pues cuenta con coeficientes de transmisión muy bajos, de modo que se reduce al máximo la pérdida de energía (Distritos Térmicos Colombia, 2022b). La infraestructura del distrito térmico San Sebastián es un hito en la generación térmica a nivel mundial, como se puede observar en la Figura 14.



*Figura 14. Distritos térmicos San Sebastián*

*Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2022b)*

### Gotemburgo, Suecia

Es sistema de energía a nivel de distrito térmico que integra energía eléctrica, así como calefacción y refrigeración. Esta solución abarca distintas tecnologías para producir, consumir y almacenar energía limpia de la forma más eficiente, (Eseficiencia.es, 2020) con el fin de integrar energía solar, eólica y biomasa como generador de energía para el uso de refrigeración y

calefacción, la distribución del distrito térmico articula las fuentes renovables, como se evidencia en la Figura 15.

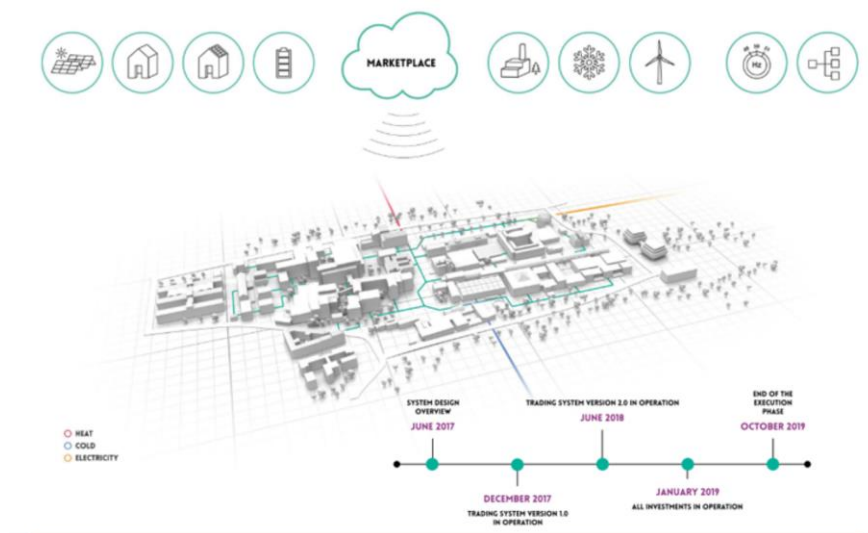


Figura 15. Distritos térmicos de Gotemburgo

Fuente: (Eseficiencia.es, 2020)

### 7.1.2. Distritos térmicos en Colombia

En Colombia, el 74% de las personas viven en ciudades y el 80% de las ciudades requieren de uso de sistemas de climatización en sus edificaciones, el 8% de la energía eléctrica se destina a la climatización en las ciudades, 350% de crecimiento en la demanda de aire acondicionado para el 2050 (Distritos térmicos Colombia, 2021)

Dentro del marco del proyecto de implementación de distritos térmicos en Colombia, en el 2013, la Unidad Técnica de Ozono (UTO) y la Dirección de Cambio Climático y Gestión del riesgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las Empresas Públicas de Medellín – EPM y la Secretaría de Estado para la Cooperación Económica y Desarrollo (SECO) de la Embajada de Suiza, iniciaron la primera fase del proyecto de Distritos Térmicos para promover el desarrollo de esta infraestructura en ciudades

colombianas, la cual busca aportar a la disminución de impactos ambientales y aumentar ahorros energéticos en el uso de sistemas de climatización en edificaciones.

Esta primera fase, que se desarrolló entre el 2013 y 2019, comprendió la construcción de un distrito térmico piloto ubicado en el centro administrativo de Medellín, y un componente institucional para su promoción en ciudades (Distritos Térmicos Colombia, 2022d).

Actualmente, se evidencia un incremento de la implementación de proyectos de distritos térmicos a nivel nacional. Colombia cuenta con cinco proyectos en operación en cinco ciudades: Tocancipá, Medellín, Cali, Cartagena y Montería, y en desarrollo, se encuentran cuatro de carácter privado: Llano gas, en Villavicencio; Aldor plasticel, en Cali; Intercontinental NAO y San Francisco, en Cartagena. Para más detalle remitirse a la Figura 16 que corresponde al plano de Colombia, ubicando los distritos térmicos en operación y en desarrollo



Figura 16. Distritos térmicos en operación y desarrollo en Colombia

Fuente: Elaboración propia

A la par, por parte del equipo de Distritos Térmicos de Colombia y ACAIRE y el Centro de Investigación y Desarrollo en Aire Acondicionado y Refrigeración, CIDARE, realizan el estudio para la implementación de los distritos térmicos propuestos en la fase II que corresponde a 10 ciudades (Distritos Térmicos, 2022).

## Distrito térmico Alpujarra

En 2013 empezó el desarrollo del distrito térmico y en 2016 entró en funcionamiento el distrito térmico de La Alpujarra en Medellín, proyecto financiado por EPM y la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos, SECO, del Gobierno de Suiza.

Con una capacidad instalada de 3.600 TR horas, el proyecto está diseñado para brindar enfriamiento a los diferentes edificios públicos de la ciudad, marcando un hito en el desarrollo sostenible de Colombia al ser el primer sistema de este tipo construido en la región.

La Zona Térmica de La Alpujarra es un sistema frigorífico ubicado en el distrito de La Alpujarra, que genera de forma centralizada el frío y lo distribuye a través de una red de suministro de agua subterránea, el denominado sistema de condensación de agua. La refrigeración generada por su central térmica se utilizará para el acondicionamiento del espacio de los edificios de la Gobernación de Antioquia y, en los próximos meses, en la Alcaldía de Medellín, el Concejo Municipal, la Asamblea Departamental, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, DIAN, como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Distritos térmicos La Alpujarra

Fuente: (Eseficiencia, 2022)

De igual forma, en 2017 comenzó la operación del segundo distrito térmico en Colombia en Montería, Córdoba, operado por Celsia, la cual permite la circularidad de agua fría para el aire acondicionado del centro comercial “Nuestra Montería” como se observa en la Figura 18, y la autogeneración de energía por medio de gas natural, mini turbinas y paneles solares que enfría el agua que es distribuida por todo el centro comercial hasta las diversas unidades encargadas de entregar el aire frío a las zonas comunes o a cada uno de los establecimientos comerciales (Celsia, 2017).



*Figura 18. Distritos térmicos Nuestra Montería*

*Fuente: (Celsia, 2017)*

Así mismo, en abril del 2018 se inauguró en Tocancipá, Cundinamarca, la planta industrial de generación múltiple de Air liquide, que presta el servicio de agua fría, vapor y energía gas carbónico a empresas del Parque Industrial Femsa, implementando la utilización de gas natural como fuente de generación de energía y vapor para su autoconsumo.

En la costa norte de Cartagena se inauguró el macroproyecto urbano Serena del mar donde permite el suministro de agua helada. Este es un macroproyecto que se cataloga como la ciudad soñada. Cuenta con proyectos de vivienda, educación, salud, recreación, comercio negocios y cultura que garantizan la mejor calidad de vida. Es un proyecto que apuesta a un desarrollo exclusivo, urbano y arquitectónico, como se observa en la implantación del proyecto en la Figura 19



*Figura 19. Distritos térmicos Serena del Mar*

*Fuente: (Builes, 2021)*

Los pilares del proyecto son la naturaleza integrada, una oportunidad para todos y la planeación al futuro. Se empezó a construir desde el año 2015 y hasta el día de hoy se ha desarrollado dos proyectos de vivienda, el equipamiento educativo que es el edificio de postgrados del Caribe de la Universidad de los Andes y el Centro Hospitalario Santa Fe. De igual manera, están en obra diferentes complejos de vivienda en todo el perímetro urbano, la central térmica de serena del mar tiene una infraestructura aislada, como se evidencia en la Figura 20



*Figura 20. Distritos térmicos Serena del Mar*

*Fuente: Karen Natalia Diaz Martínez*

El proyecto tiene una proyección hasta el año 2040 con el desarrollo urbano de:

- 18 proyectos de vivienda
- Hospital de alta complejidad
- Complejo de recreación
- Educación – Universidad de los Andes
- Comercio
- Negocios
- Club campestre
- Turismo y hotelería

El macro proyecto cuenta con la empresa CELSIA que es la comercializadora de servicios de energía eléctrica, servicios de alcantarillado, aseo, telecomunicaciones y Distrito Térmico.

Las redes del macro proyecto han sido construidas por CELSIA para garantizar, estabilidad, confiabilidad y calidad, esta red esta monitoreada y controlada desde NOVA. Las redes de energía son subterráneas, están prediseñadas antes de la construcción, con el fin de tener generar confort dentro de la edificación.

Es un distrito térmico extramural ya que cuenta con una central térmica que genera tres tipos de generación: agua helada, agua caliente y vapor, que se distribuyen por la red de distribución hacia cada uno de los proyectos

El distrito térmico Serena del mar tiene una capacidad instalada de 10.000 TR (Toneladas de refrigeración); actualmente instaladas cuentan con 1704 TR en los proyectos de Hospital Santa fe, Universidad de los Andes, proyecto Cavana, 70% conectividad este proyecto empezó



con ocho apartamentos y actualmente tiene 108 instalados, y el proyecto Altana con 100% de conectividad de la red de refrigeración (Distrito Energético, 2021).

El distrito térmico cuenta con una microturbina de 5 psi que equivale a 1 Mg (8070 kW h) que permite la generación de electricidad; de igual manera, dos *chillers* eléctricos magnéticos por agua, dos *chillers* eléctricos condensados por aire, una torre de enfriamiento de tres celdas, un *chiller* de absorción, un recuperador de calor y una caldera para agua caliente.

Cuenta con una trigeneración de energía con gas natural, generador Diesel y suministro de electricidad – intercambiador.

### **Proyecto distrito térmico fase II**

El proyecto se planteó con el fin de ser componente de conocimiento y desarrollo de capacidades, dirigido por la Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y Refrigeración ACAIRE, el Centro de Investigación y Desarrollo en Acondicionamiento de Aire y Refrigeración CIDARE y Centro de Competencias y Conocimientos en Distritos Térmicos CCDT.

Con el objetivo de Consolidar y difundir conocimiento relacionado con el Desarrollo e implementación de Distritos térmicos, formar una fuerza de trabajo competente para satisfacer las necesidades del mercado emergente de Distritos Térmicos en Colombia, fortalecer capacidades y promover la colaboración entre las partes interesadas y facilitar el intercambio de experiencias y la cooperación a nivel nacional e internacional (Jaramillo, 2021).

Además, promover diferentes servicios a las entidades y edificaciones que implementen los sistemas de distritos térmicos. De igual manera, según el Programa de Distritos Térmicos

Colombia (Jaramillo, 2021), los ejes temáticos para el desarrollo de sistemas de distritos

térmicos son:

- Avances de la estrategia de Distritos Térmicos en Colombia y Latinoamérica Mapas de energía y planeación urbana
- Del desarrollo a la ejecución: modelos de negocio y mecanismos financieros aplicables a distritos térmicos.
- La investigación como motor innovador en el desarrollo de distritos térmicos.

Los distritos térmicos son viables en Colombia para la generación de energía, a través de fuentes no convencionales.

Según los estudios planteados por el equipo de Distritos Térmicos de Colombia, se determina el uso de estas fuentes:

- **AGUAS MARINAS O FLUVIALES:** Se aprovechan los cuerpos de agua profundas, que pueden ofrecer temperaturas de aproximadamente 4°C. Este sistema bombea el agua para aprovechar su energía térmica como fuente para el distrito térmico.
- **REFRIGERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES:** Se utilizan *chillers* eléctricos por compresión de vapor y por absorción, que pueden abastecerse de energía eólica, solar fotovoltaica, calor residual, u otra fuente no convencional de energía renovable
- **COGENERACIÓN CON GAS O ENERGÍA SOLAR:** Consiste de *chillers* eléctricos por compresión de vapor y por absorción, que se abastecen a partir de una turbina que genera energía eléctrica utilizando gas natural o biogás.
- **MIXTO:** La central térmica se abastece de múltiples fuentes renovables, combinando las otras tres tipologías (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Así mismo, el potencial de refrigeración en las principales ciudades y las posibles conFiguraciones de distritos térmicos, basado en la Universidad Nacional de Colombia, (2016. citado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) y su influencia en el uso de fuentes no convencionales de energía como fuentes primarias, se muestra en la siguiente Figura 21.

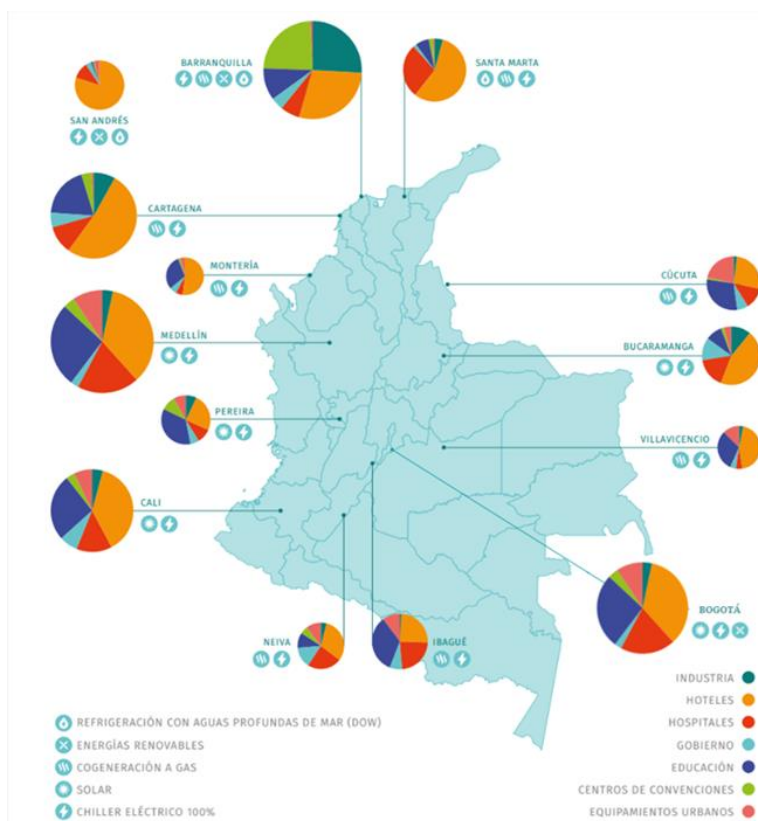


Figura 21. Potencial de refrigeración en las principales ciudades y las posibles conFiguraciones de distritos térmicos. Basado en la Universidad Nacional de Colombia, 2016.

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Dentro del planteamiento de la fase II de distritos térmicos en Colombia, se toma como caso de estudio la ciudad de BOGOTÁ ya que presenta mayor demanda energética, por su tamaño y consumo energético.

### 7.1.3. Bogotá

Bogotá, capital de la República de Colombia, está ubicada en la región de Cundinamarca en el centro del país, es el hogar del 17% de la población total del país. Es una ciudad en desarrollo y densamente poblada, con alrededor de 8.181.047 habitantes y una densidad de 5.184,44 / km<sup>2</sup>, según la previsión de 2005 de la Oficina Nacional de Estadísticas (DANE, 2005) Es el principal centro geográfico, político, industrial, económico y cultural del país, con una extensión de aproximadamente 1,587 km<sup>2</sup> por lo que también tiene la mayor demanda energética del país.

Bogotá se caracteriza por tener un clima moderadamente frío, con una temperatura promedio anual de 13.5°C. Al estar ubicada en zona Tropical, el frío se acentúa en jornadas de lluvia o de poco sol. Por otro lado, en los días muy soleados la sensación térmica puede incrementarse hasta los 23°C o más, este fenómeno permite percibir que la ciudad tiene una baja carga de refrigeración para mantener un confort dentro de las edificaciones (Colombia Travel & Vacations Group, 2022).

El indicador de consumo de energía en la zona urbana de la ciudad de Bogotá permite evidenciar qué zonas cuentan con mayor consumo, y polarizar mapas con el de potencial energético y zonificación climática.

Según la Secretaría de Planeación Distrital, el indicador de consumo de energía más alto en Bogotá alcanzó los 24.90 kilowatts-hora, consumidos por m<sup>2</sup>/año, lo que equivale aproximadamente a 1,4 veces el consumo de energía promedio para Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020).

Esto quiere decir que el consumo de energía en las edificaciones residenciales está directamente relacionado con el incremento en la densidad urbana, que se presenta por la

construcción de torres de apartamentos de cada vez mayor altura o procesos de urbanización informal en la periferia de la ciudad.

De igual manera en cuanto a la radiación solar de Bogotá, por medio de los datos suministrados por el IDEAM<sup>2</sup>, se evidencia una radiación mayor en los meses de enero a abril y de agosto a diciembre. Es importante mencionar que la radiación solar es diferente en cada una de las zonas, por eso es clave realizar el mapa de potencial energético de la ciudad.

Bogotá no posee un recurso solar abundante, con referencia a su intensidad, pero sí dispone de un promedio de radiación solar anual superior al existente en Alemania y otros países europeos, donde la energía proveniente del sol se aprovecha en gran escala y en donde las variaciones de radiación mensual, debido a la presencia de estaciones climáticas, son mucho más acentuadas. Lo anterior indica que la ciudad cumple los requerimientos para implementar sistemas fotovoltaicos interconectados, pero nada de esto es posible sin los adecuados incentivos por parte del gobierno y/o las empresas del sector eléctrico. (Hernández & Vallejo., 2010)

### **Distrito Térmico en Bogotá**

Para el caso específico de Bogotá, en la primera fase del proyecto se llevó a cabo un estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en la ciudad, el cual pudo identificar tres posibles Zonas de Alto Potencial (ZAP) para la ubicación de un Distrito Térmico urbano: las ZAP de Puente Aranda, Chicó y CAN (Distritos Térmicos Colombia, 2020)

---

<sup>2</sup> <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Distrito Térmico de Bogotá	Indicadores principales	
	<b>Sitio</b>	<b>Zona CAN – Bogotá</b> , barrio de oficinas en desarrollo con <b>9 clientes potenciales</b> principalmente oficinas, hoteleros y centro comerciales
	<b>Capacidad del distrito</b>	<b>20 MWt</b> (5714 TR) con un factor de uso anual de 1000 horas (EFLH)
	<b>TIR / Tiempo de retorno</b>	<b>11.9%</b> y 11 años (17 años actualizado)
	<b>Inversión total</b>	<b>24 m USD</b>
<b>Impacto ambiental</b>	Ahorro de <b>135 ton CO2/año</b> . Permite reemplazar ~7500kg de refrigerantes nocivos	
<b>Tarifa (sin IVA)</b>	Tarifa de conexión <b>786 USD/TR</b> Tarifa de consumo <b>0.11 USD/TRH</b> Tarifa de capacidad <b>550 USD/TR</b> por año.	

Figura 22. Distrito térmico de Bogotá

Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2020)

En su segunda fase, el proyecto de Distritos Térmicos promueve el desarrollo urbano sostenible, al apoyar la integración de infraestructura y servicios bajos en emisiones y energéticamente eficientes, con la planeación urbana.

De esta manera, se busca impulsar iniciativas que den respuesta al metabolismo urbano y la economía circular como es el caso de las zonas de renovación urbana de Bogotá, centro y estación Calle 26, identificadas como iniciativas de gran potencial en la ciudad para el establecimiento de redes energéticas de enfriamiento y calefacción eficientes.

De igual forma, los Distritos térmicos pueden aportar una solución energética alternativa basada en fuentes no convencionales de energía renovable y otras fuentes de energía como los residuos sólidos urbanos, modelo que se pretende evaluar desde el proyecto de distritos térmicos, en los futuros desarrollos del proyecto de Lagos de Torca, un mega proyecto en desarrollo.

Según la carta psicrométrica Bogotá que corresponde a la Figura 23, se requiere la implementación de estrategias sostenibles para el enfriamiento, calefacción y evaporación teniendo en cuenta las condiciones climáticas de diseño del ASHRAE 60.1.

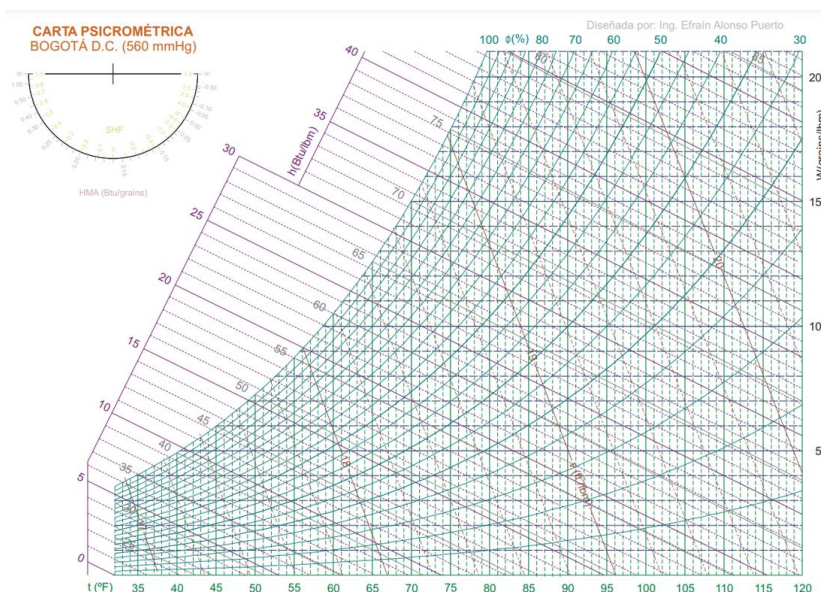


Figura 23. Carta psicrométrica de Bogotá

Fuente: (Puerto, 2011)

Pero es importante rescatar que no se ha realizado ningún estudio específico de las zonas con mayor potencial energético para la implementación de distritos térmicos. Es ahí donde la investigación traería más relevancia, en tanto permitiría establecer zonas de potencial energético que incluyan la implementación de fuentes no convencionales de energía

En el marco del proyecto de la fase II (Distritos Térmicos Colombia, 2022c), que busca fortalecer las condiciones institucionales, de conocimiento y de mercado para acelerar la difusión de los Distritos Térmicos como modelo de infraestructura urbana innovadora y eficiente, especialmente en lo que concierne al servicio de acondicionamiento del aire en entornos urbanos, y distribución de calor para aplicaciones industriales.

En Bogotá, esta investigación plantea un estudio de implementación de distritos térmicos en Bogotá teniendo en cuenta los estudios preliminares.

## 7.2. Caracterización del consumo energético de las localidades de Bogotá

En primer lugar, para abordar el objetivo número uno que corresponde a la caracterización del consumo energético de las localidades de Bogotá, se realizó la ubicación geoespacial de la ciudad de Bogotá por localidades, con el fin de caracterizarla y generar el análisis de consumo energético. En la Figura 24 se evidencia la subdivisión de Bogotá por localidades.

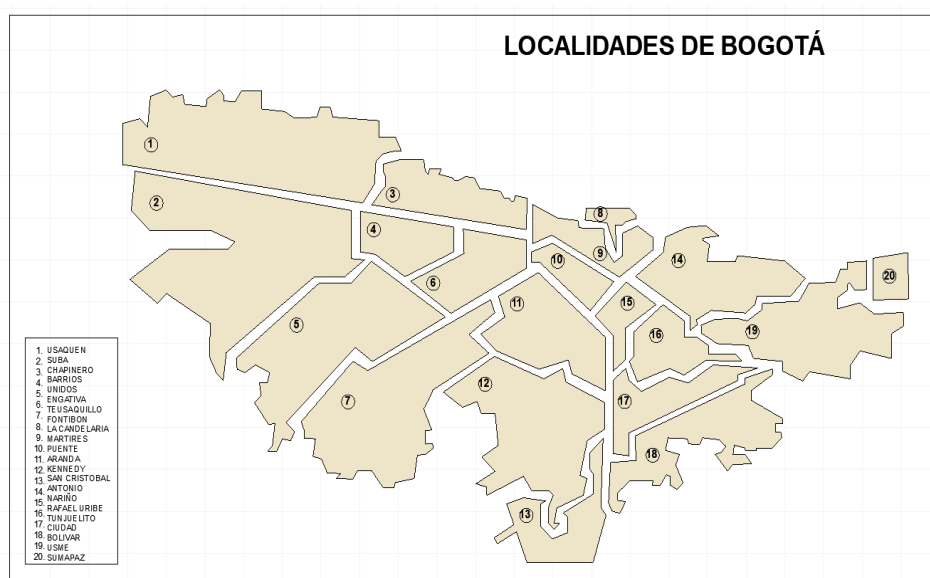


Figura 24. Localidades de Bogotá

Fuente: Elaboración propia

Se construyó una matriz que contiene los siguientes ítems: localización, área urbana, cantidad de personas, viviendas y hogares, uso, desarrollo, tasa de cobertura de energía consumo de energía kW h/mes cuya estructura y mejor análisis se puede remitir al Anexo INF 04

Este análisis se realizó de acuerdo con la información recopilada de las bases de información de la Secretaría Distrital de Planeación de cada una de las localidades (Secretaría Distrital de Planeación, 2017).



1. USAQUEN		
LOCALIZACIÓN	La localidad de Usaquén limita por el norte con Chía y Sopó, y por el oriente con La Calera 	
AREA URBANA (HEC TAREAS)	3.364,0 ha	
CANTIDAD DE PERSONAS	519.877 Ha b.	
CANTIDAD DE VIVIENDAS	193.365 Un.	
CANTIDAD DE HOGARES	199.184 Un.	
USO	COMERCIAL Y DE SERVICIOS	3,8%
	DO TACIONAL	1,8%
	INDUSTRIA	0,0%
	RESIDENCIAL	86,0%
	AREA URBANA INTEGRAL	6,3%
	SIN CLASIFICAR	1,6%
DESARROLLO	SUELO DE PRO TECT ION	0,5%
	URBANO	52%
	EXPANSION RURAL	44%
CONSUMO DE AGUA RESIDENCIAL (Lts/Dia/Persona)	20,14	
TASA DE COBERTURA DE ENERGIA	100%	
ENERGIA (KWH/MES)	249,62	
CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL	112,59	
Nº DE SUBESTACIONES	174	
Nº DE TRANSFORMADORES	434 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	
PO TENCIA MVA	11295,32	
INDICE DE COSTES DE ENERGIA	12,30%	

Figura 25. Matriz de caracterización de localidades

Fuente: Elaboración propia


Con la información suministrada en la matriz se puede concluir que:

- Las localidades con mayor presencia poblacional son: Usaquén, Kennedy, Fontibón, Engativá y Ciudad Bolívar.
- El uso edificatorio de las localidades con mayor consumo energético es:
  - Chapinero, donde su uso predominante se enfoca al comercio y al uso residencial.
  - La Candelaria, su uso se enfoca en el turismo histórico, académico y comercial.
  - Teusaquillo, Bosa, Kennedy, Usme y Santa fe se puede deducir que tienen un carácter industrial en el consumo energético.



industrial, por las actividades que este tipo de edificaciones realizan. En la tabla 1 se presenta el consumo de energía por tipo de edificación.


Tabla 4. Consumo de energía por tipo de edificación ANEXO INF 05

	TABLA DE CONSUMO DE ENERGIA POR TIPO DE EDIFICACIÓN		Codigo: INF - 06
	PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ		VERSIÓN: 01
TIPO DE EDIFICACION	# LOTES BOGOTÁ	#LOTES CON ENERGIA	CONSUMO DE ENERGIA Kwh/Año
CENTRO COMERCIALES	4111	302	136,641,031
OFICINAS	31,504	24,9	890,364,459
HOTELES	594	428	49,860,477
EDUCATIVOS	4,338	2,553	64,436,095
HOSPITALES	286	106	26,563,340
OTROS	119,143	25,735	1,839,620,062
<b>TOTAL</b>	<b>156,276</b>	<b>54,024</b>	<b>3,007,485,464</b>

Fuente: Elaboración propia

La ciudad presenta una gran predominancia en el uso residencial a nivel de estratificación, Tabla 2, los estratos con mayor consumo son el 2 y 3, con un consumo de energía anual supera los mil cincuenta y dos millones kW h/año.

Tabla 5. Consumo de energía, uso residencial por estrato ANEXO INF 06

	TABLA DE CONSUMO DE ENERGIA POR ESTRATO (RESIDENCIAL)			Codigo: INF - 05
	PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ			VERSIÓN: 01
ESTRATO	# LOTES BOGOTÁ	#LOTES CON ENERGIA	% LOTES CON ENERGIA	CONSUMO DE ENERGIA Kwh/Año
1	110,905	82,663	74,53%	172,718,961
2	336,848	302,471	89,79%	1,052,230,014
3	249,989	228,382	91,36%	1,086,378,530
4	32,836	30,389	92,55%	436,737,921
5	11,328	10,259	90,56%	185,360,655
6	5,907	4,726	80,01%	173,765,769
SIN ESTRATO	15,453	7,36	47,63%	92,887,736
DESCONOCIDO	N/A	94,879	100%	588,251,475
<b>TOTAL</b>	<b>763,266</b>	<b>761,129</b>	<b>99,72%</b>	<b>3,788,331,061</b>

Fuente: Elaboración propia

### 7.3. Identificar el potencial de generación de energía por medio de las condiciones climáticas de Bogotá

Para abordar el objetivo número dos, que corresponde a **Identificar el potencial de generación de energía por medio de las condiciones climáticas de Bogotá**, se realizó la caracterización climática de Bogotá con base en el documento de calidad del aire, a partir de las estaciones de estudio con las siguientes variables: ubicación, características, localidad, precipitación, temperatura, velocidad mínima, radiación solar, presión y humedad relativa, con el

fin de identificar las condiciones meteorológicas de la ciudad y conocer el potencial de generación a partir de fuentes no convencionales de energía, para realizar un análisis más detallado revisar el Anexo.INF 07 donde se encontrará la matriz de condiciones climáticas por parte del Documento de Calidad del aire.

Con base la matriz de condiciones climáticas se realizó la gráfica 27 con relación a velocidad de aire con base al documento de calidad del aire.

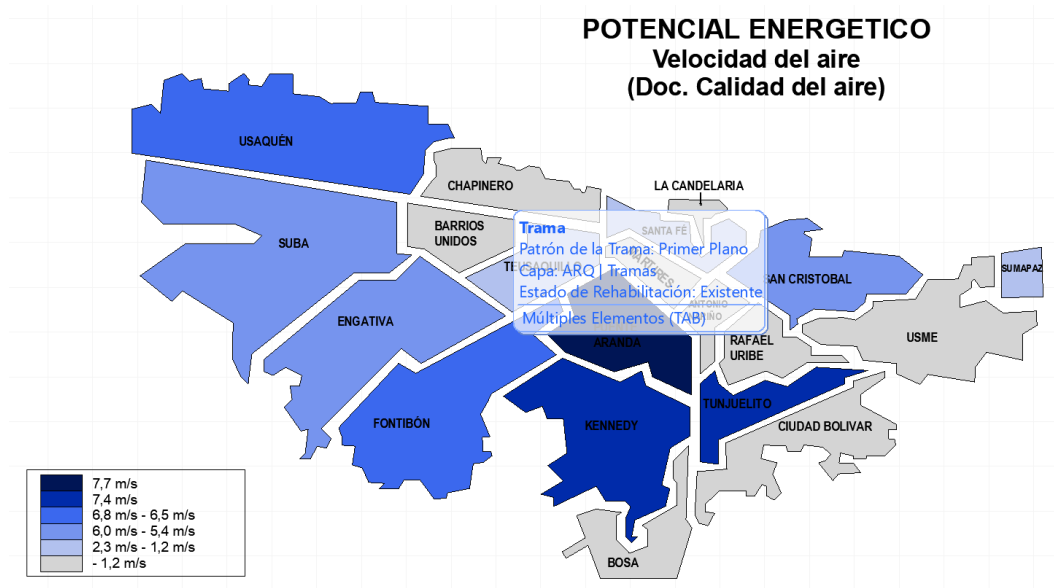


Figura 27. Velocidad del aire – Doc. Calidad del aire de Bogotá

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se evidencia que:

- La localidad de Puente Aranda presenta la mayor velocidad del aire con una velocidad promedio de 7,7 m/s
- Las localidades de Kennedy, Teusaquillo y Sumapaz presentan una velocidad del aire de 7,4 m/s.
- Las localidades de Fontibón, Usaquén presentan una velocidad de aire promedio entre 6,8 m/s y 6,5 m/s.

- La localidad de Suba, Engativá y San Cristóbal presenta una velocidad de aire promedio entre 6 m/s y 5,4 m/s.

Con base en la matriz de condiciones climáticas se realizó la Figura 28, correlacionada con la radiación solar, teniendo en cuenta el documento de calidad del aire.

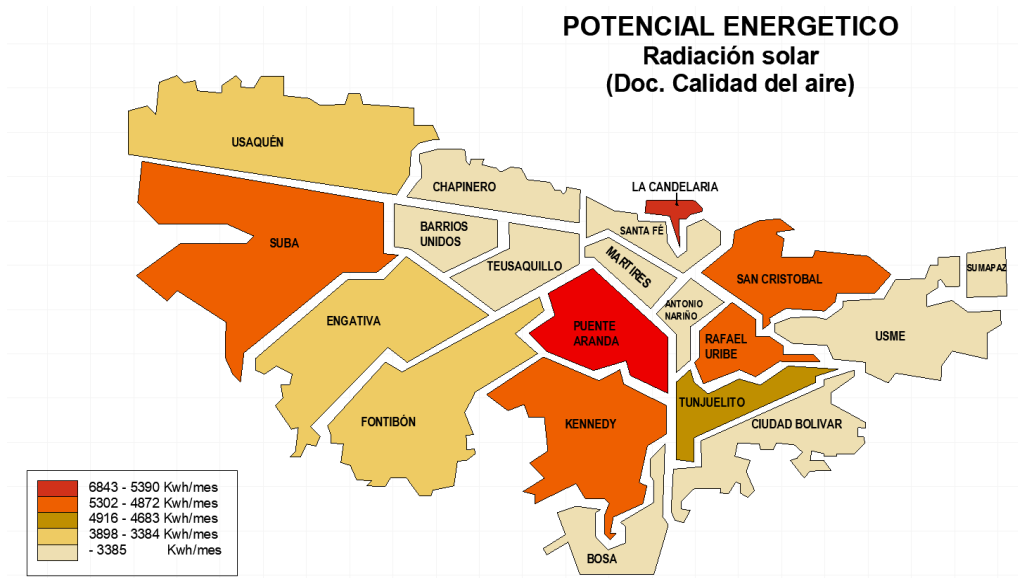


Figura 28. Radiación solar – Doc. Calidad del aire de Bogotá

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se evidencia que:

- La localidad con mayor potencial energético a partir de la radiación solar es la localidad de San Cristóbal con 53,82 kW h/mes
- Las localidades Rafael Uribe y Kennedy tienen una radiación solar entre 53,82 – 48,75 kW h.
- Suba y Teusaquillo presentan una radiación promedio de 45,83 kW h.
- Las localidades de Usaquén, Engativá y Fontibón, presentan una radiación promedio entre 38,9 – 33,84 kW h.
- Las demás localidades presentan una radiación menor a los 33, 84 kW h

En segundo lugar, se inició con la caracterización climática de Bogotá a partir de la información histórica de IDEAM donde se analizaron las condiciones climáticas de Bogotá con las siguientes variables de estudio: ubicación, características, localidad, precipitación, temperatura, velocidad mínima, radiación solar, presión y humedad relativa, con el fin de identificar las condiciones meteorológicas de la ciudad y conocer el potencial de generación a partir de fuentes no convencionales de energía, para realizar un análisis más detallado revisar el Anexo. INF 08\_ donde se encontrará la matriz de condiciones climáticas por parte del histórico del IDEAM.

Con la información obtenida de la matriz de condiciones climáticas de Bogotá del histórico del IDEAM, se evidenció que:

Con relación a la velocidad del aire como se indica en la Figura 29

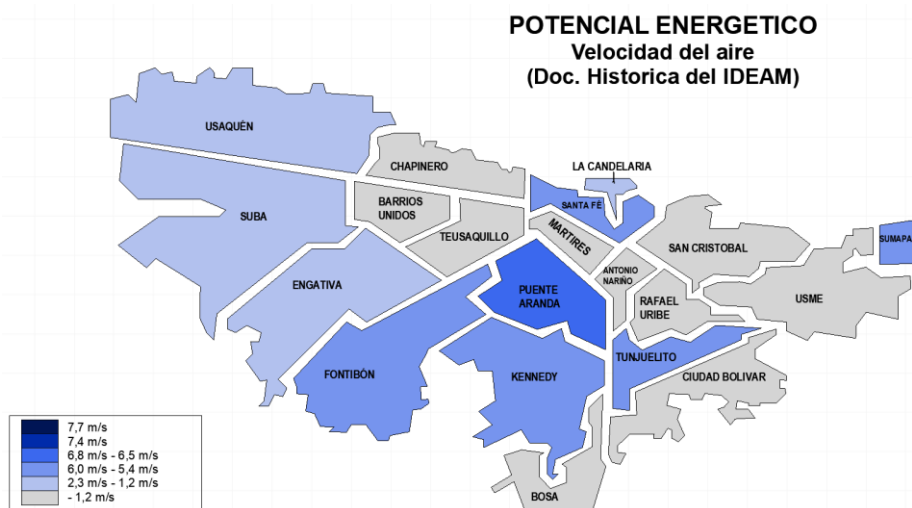


Figura 29. Velocidad del aire – histórica del IDEAM

Fuente: Elaboración propia

- La localidad de Puente Aranda presenta según el histórico del IDEAM la mayor velocidad de aire dentro de todo el perímetro de la ciudad con 6,8 m/s.

- Se evidencia que las localidades de Santa fe, Fontibón, Kennedy y Tunjuelito presentan una velocidad del aire entre 6,0 m/s y 5,4 m/s.
- Las localidades de Suba, Engativá, Chapinero, Usaquén y la Candelaria su velocidad es mínima tiene intervalos de 2,3 m/s y 1,2 m/s.
- Las demás localidades presentan una velocidad de aire menor a 1, 2 m/s estas no tienen potencial para el uso de fuentes no convencionales de energía.

Con relación a la radiación solar con base al histórico del IDEAM, como se indica en la

Figura 30.

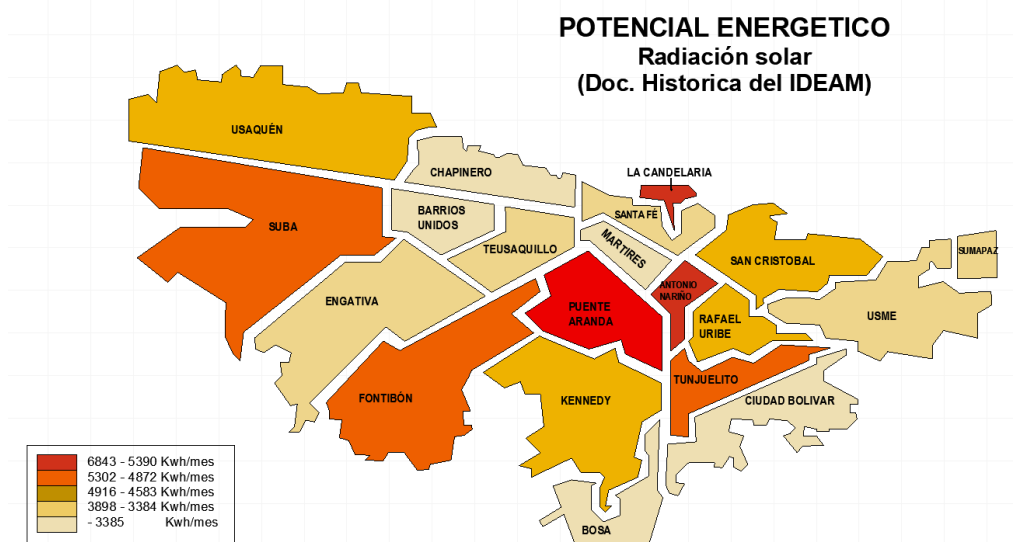


Figura 30. Radiación solar – histórico del IDEAM

Fuente: Elaboración propia

- Se identifica que las localidades de la Candelaria y Puente Aranda tienen la mayor radiación solar en toda la extensión de Bogotá.
- Las localidades de Suba, Fontibón y Tunjuelito presentan una radiación solar promedio de 5302 – 4972 kW h/mes.

- Las localidades de Usaquén, Kennedy, Antonio Nariño y Rafael Uribe presentan una radiación solar promedio al mes de 3898 y 3384 kW h/mes.
- Las localidades de Chapinero, Barrios Unidos, Mártires, San Cristóbal, Ciudad Bolívar y Usme presentan una radiación solar menor a 3385 kW h/mes.

En tercer lugar, por medio de la aplicación de radiación solar de la Universidad EIA/maps se realizó la cuantificación de datos con base a las estaciones meteorológicas de Bogotá con el fin de contrastar los datos obtenidos de las otras fuentes de información.

Los datos arrojados se pueden detallar en el Anexo INF 09 Software atlas solar - radiación Colombia/maps.

Teniendo en cuenta la información obtenida del software y la matriz de síntesis, se realizó el mapa que se presenta en la Figura 31. Se evidencia gráficamente las localidades con mayor radiación solar, con el fin de compararlas con las otras fuentes.

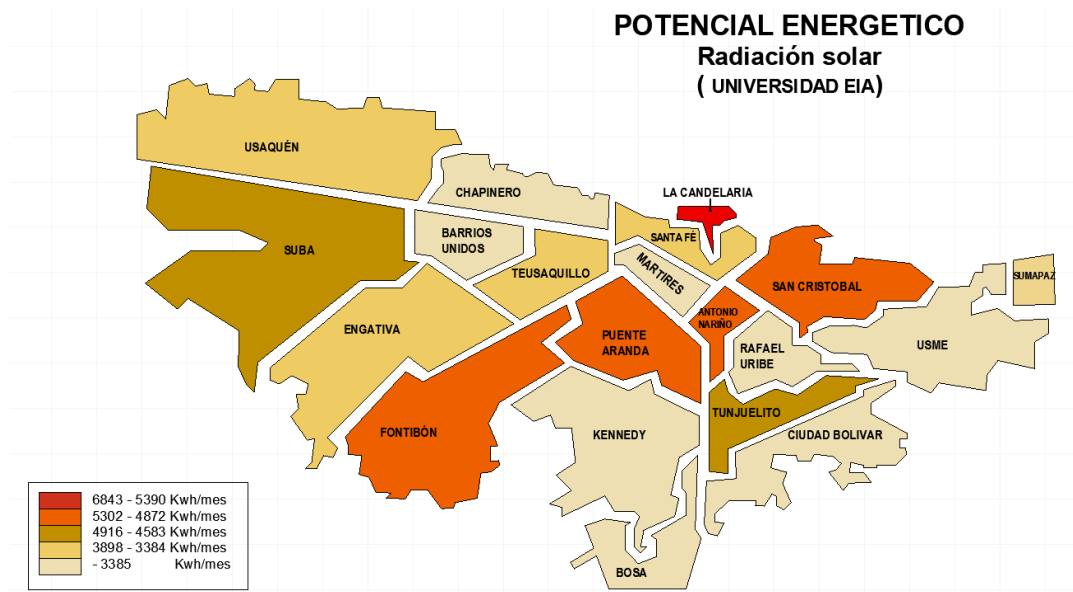


Figura 31. Radiación solar – Universidad EIA

Fuente: Elaboración propia

- Se evidencia que la localidad con mayor potencial de radiación solar en Bogotá es la Candelaria con 6843 kW h/mes.



- las localidades de San Cristóbal, Teusaquillo y Antonio Nariño tienen una radiación solar entre 5302 kW h/mes.
- Suba y Tunjuelito tienen una radiación solar entre 4016 kW h/mes y 4586 kW h/mes
- las localidades de Usaquén, Engativá, Teusaquillo y Mártires presentan una radiación de 3916 kW h/mes
- las demás localidades presentan una radiación menor es decir que no hay menor presencia de sol.

En cuarto lugar, por medio del Software ENAIR, el cual un atlas eólico y solar que combina las principales fuentes de datos internacionales, para determinar con gran exactitud los cálculos derivados del mismo.

Las fuentes consultadas son PVGIS, para energía solar y DTU, MERRA-2, VAISALA y BBDD propia, la cual parte con el origen de la NASA corregido. Estas fuentes de datos son cálculos internacionales y además de ellas para cálculos en España, se usa también en combinación la fuente de datos del CENER. No obstante, y dada la complejidad de los cálculos pueden existir márgenes de error en las medias de viento que pueden variar del 1 al 15%, también es importante considerar que no se aplican pérdidas por turbulencias de objetos cercanos (Ryse Energy, s.f.).

Se realizó la cuantificación de datos con base a las estaciones meteorológicas de Bogotá que se localizaron en el atlas.

Los datos arrojados se pueden detallar en el Anexo INF 10 Matriz de síntesis software ENAIR.

Teniendo en cuenta la información obtenida del software ENAIR y la matriz de síntesis se realizó la gráfica, en relación con la velocidad de aire.

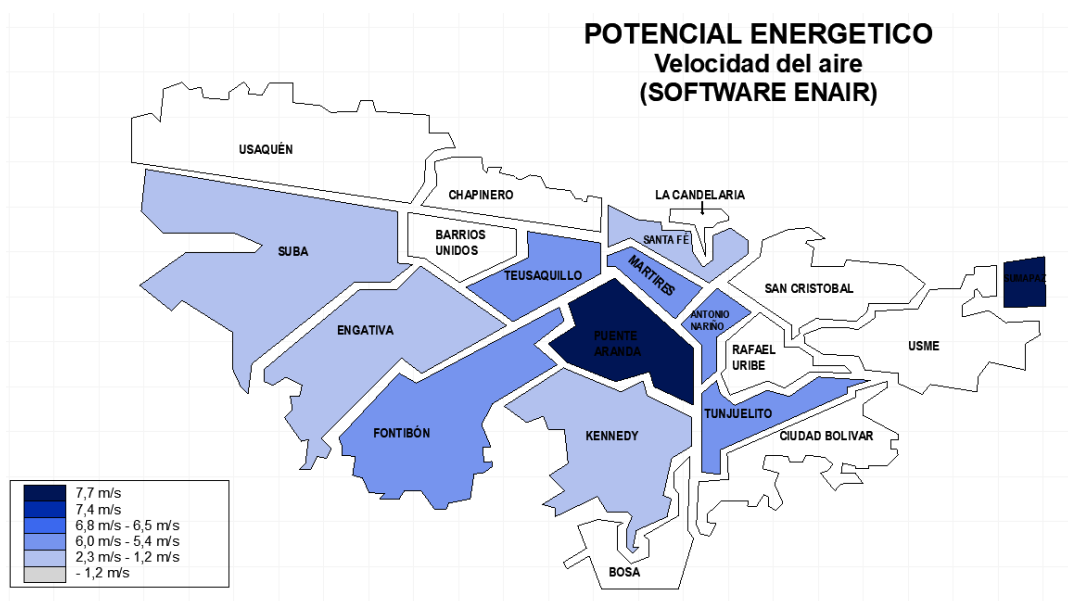


Figura 32. Velocidad del aire – Software ENAIR

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que:

- Las localidades con mayor potencial energético en relación con la velocidad del aire son Sumapaz y Puente Aranda con una velocidad promedio de 7,7 m/s.
- Las localidades de Antonio Nariño, Tunjuelito, Teusaquillo, Mártires y Fontibón presentan una velocidad del aire entre 6,0 m/s y 5,4 m/s.
- Santa fe, Suba, Engativá y Kennedy presentan una velocidad del aire entre 2,3 m/s y 1,2 m/s
- Las demás localidades presentan una velocidad promedio menor al 1,2 m/s.

Teniendo en cuenta la información obtenida del software ENAIR y la matriz de síntesis se realizó la Figura 33, con relación a Radiación solar.

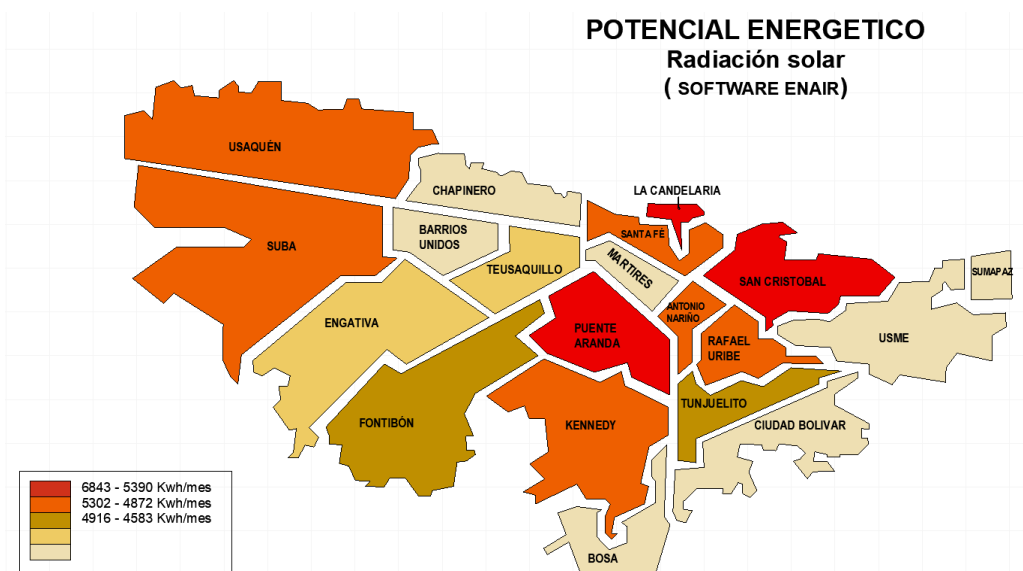


Figura 33. Radiación solar – Software ENAIR

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis se evidencia que:

- Las localidades de San Cristóbal y Mártires presentan la mayor radiación solar a nivel perimetral de la ciudad de Bogotá.
- las localidades de Usaquén, Suba, Kennedy, Santa fe, Antonio Nariño y Rafael Uribe presentan una radiación solar promedio entre 5302 kW h/mes y 4872 kW h/mes
- Las localidades de Tunjuelito, puente Aranda y Fontibón presentan una radiación solar del 4916 y 4586 kW h/mes.
- Las localidades de Engativá y Teusaquillo presentan una radiación promedio de 3364 kW h/mes.
- Las demás localidades presentan una radiación menor a 3385 kW h/mes.

Este análisis se hace con el fin de contrastar las cuatro fuentes bibliográficas y los softwares. Así mismo, generar un análisis detallado de las condiciones climáticas de Bogotá para

conocer el potencial energético de las fuentes no convencionales que se pueden utilizar en Bogotá.

Se evidencia que al contrastar las cuatro fuentes de información los datos que arrojan no son totalmente iguales, aunque se hayan tomado desde los mismos puntos que son las estaciones meteorológicas localizadas en la ciudad de Bogotá.

Tabla 6. Promedios de información de las cuatro fuentes

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA		TABLA PROMEDIO DE INFORMACIÓN DE LAS CUATRO FUENTES						Codigo: INF - 01	
		PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ						VERSIÓN: 02	
LOCALIDAD	DOCUMENTO CALIDAD DEL AIRE		HISTORICO DEL IDEAM		SOFTWARE UNIVERSIDAD	SOFTWARE ENAIR		PROMEDIO ENERGIA EOLICA	PROMEDIO ENERGIA SOLAR
	Velocidad del aire	Radiación solar	Velocidad del aire	Radiación solar	Radiación solar	Velocidad del aire	Radiación solar		
USAQUEN	6,8 m/s	3898 Kwh	2,3 m/s	3689 Kwh	3898 Kwh	6,2 m/s	5302 Kwh	6,5 m/s	4916 Kwh
SUBA	5,9 m/s	5302 Kwh	2,0 m/s	5274 Kwh	4916 Kwh	6,0 m/s	5302 Kwh	6,7 m/s	5302 Kwh
CHAPINERO	1,2 m/s	3385 Kwh	1,5 m/s	3385 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	3005 Kwh	5,3 m/s	3385 Kwh
BARRIOS UNIDOS	2,3 m/s	3005 Kwh	1,8 m/s	3385 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	2587 Kwh	6,0 m/s	3385 Kwh
TEUSAQUILLO	6,0 m/s	3385 Kwh	1,8 m/s	3076 Kwh	3898 Kwh	6,8 m/s	3385 Kwh	4,9 m/s	4916 Kwh
ENGATIVA	6,0 m/s	3385 Kwh	2,3 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	6,0 m/s	3385 Kwh	7,4 m/s	4583 Kwh
FONTIBON	6,8 m/s	3898 Kwh	6,8 m/s	5302 Kwh	3898 Kwh	6,8 m/s	4916 Kwh	6,9 m/s	3898 Kwh
SANTA FE	6,0 m/s	3385 Kwh	6,8 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	6,0 m/s	5302 Kwh	5,3 m/s	4916 Kwh
LA CANDELARIA	1,2 m/s	6843 Kwh	2,3 m/s	6543 Kwh	6243 Kwh	1,2 m/s	6843 Kwh	5,1 m/s	6843 Kwh
PUENTE ARANDA	7,7 m/s	6843 Kwh	7,4 m/s	6843 Kwh	6843 Kwh	7,7 m/s	6843 Kwh	7,7 m/s	6844 Kwh
KENNEDY	7,4 m/s	4872 Kwh	6,8 m/s	3898 Kwh	3898 Kwh	6,0 m/s	5302 Kwh	6,9 m/s	4765 Kwh
BOSA	1,2 m/s	3385 Kwh	1,8 m/s	3385 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	2587 Kwh	4,8 m/s	3987 Kwh
MARTIRES	1,2 m/s	3385 Kwh	1,8 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	6,8 m/s	2587 Kwh	6,5 m/s	2787 Kwh
CIUDAD BOLIVAR	1,2 m/s	3385 Kwh	2,0 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	2587 Kwh	6,9 m/s	2873 Kwh
TUNJUELITO	7,4 m/s	4916 Kwh	6,8 m/s	5302 Kwh	4916 Kwh	6,8 m/s	4916 Kwh	6,8 m/s	5056 Kwh
ANTONIO NARIÑO	1,2 m/s	3385 Kwh	2,0 m/s	6843 Kwh	5302 Kwh	6,8 m/s	5302 Kwh	7,5 m/s	5302 Kwh
RAFAEL URIBE	1,2 m/s	5302 Kwh	1,8 m/s	3898 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	5302 Kwh	5,3 m/s	4872 Kwh
SAN CRISTOBAL	6,0 m/s	5245 Kwh	2,1 m/s	3898 Kwh	5302 Kwh	1,2 m/s	6843 Kwh	5,8 m/s	5302 Kwh
USME	1,2 m/s	2587 Kwh	2,3 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	2587 Kwh	7,5 m/s	2587 Kwh
SUMAPAZ	6,3 m/s	3385 Kwh	6,8 m/s	2587 Kwh	3898 Kwh	1,2 m/s	2587 Kwh	7,0 m/s	3076 Kwh

Fuente: Elaboración propia

Como se presenta en la Figura 34, las condiciones de las localidades no son iguales, hay localidades con diferentes condiciones dependiendo de la fuente de información.

Es importante mencionar que el análisis se realizó con el fin de identificar las localidades de mayor potencial en este caso energía eólica y energía solar, que son fuentes no convencionales de energía que pueden ser articuladas a las metodologías de Distritos térmicos.

La fuente de información de mayor veracidad es el documento de calidad del aire de Bogotá y el histórico del IDEAM, pero con el análisis se evidenció que no son totalmente

idénticas, hay localidades que presentan diferencias notorias, contrastándolas con los software evaluados como se evidencia en la Figura 34:

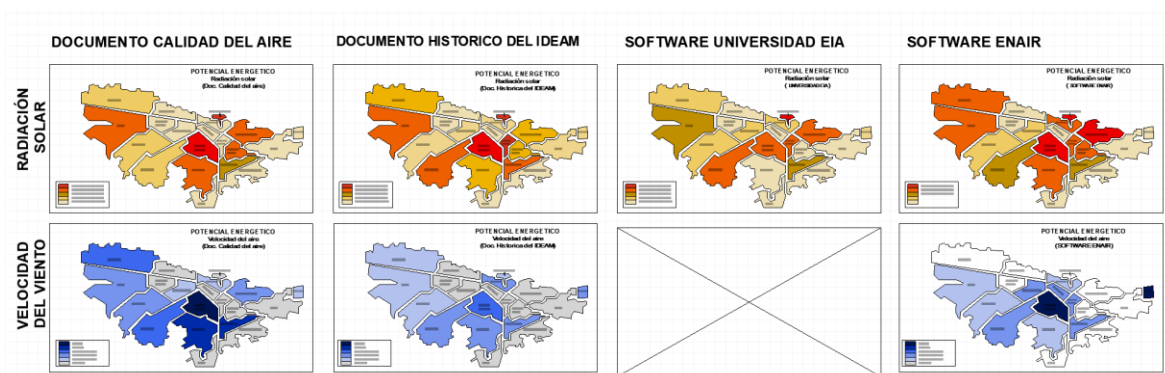


Figura 34. Contrastar fuentes

Fuente: Elaboración propia

- La localidad de Puente Aranda, con uso industrial que presenta una radiación mayor en el análisis del documento de calidad del aire y el software ENAIR en relación con el histórico del IDEAM que es 1000 kW h/mes menor, el software de la universidad EIA evidencia una radiación menor a 3384 kW h/mes.



Con relación al análisis de velocidad del aire, predomina aquella presentada en el documento de calidad del aire y el histórico del IDEAM de 6,0 m/s.

- La localidad de Fontibón presenta una radiación promedio igual en las cuatro fuentes que se contrataron con 5309 kW h/mes.

Con respecto a la velocidad del aire los datos suministrados por el documento de calidad del aire son mayor en comparación a los datos obtenidos del histórico del IDEAM y el software ENAIR con una diferencia de 2,4 m/s.

- La localidad de Suba presenta un potencial energético similar en los cuatros fuentes en relación con la radiación solar y su influencia en la localidad, con respecto a la velocidad del aire presenta un promedio de 6,0 m/s, aunque es una velocidad media, supera el límite para el uso de un aerogenerador.
- La localidad de San Cristóbal presenta 6843 kWh/mes en promedio, según el software ENAIR, en comparación con las demás fuentes que tienen la misma radiación solar en la localidad, con relación a la velocidad del aire, es mínima, con una velocidad menor a 1,2 m/s.
- La localidad de Tunjuelito presenta una radiación solar de 4019 kW h/mes en relación con los datos suministrados en el documento de calidad del aire, el software de la universidad EIA y el software ENAIR en comparación al histórico del IDEAM que presenta una radiación mayor.
- En la localidad de Antonio Nariño la radiación solar promedio no es igual en ninguna de las fuentes de información, pero arrojan una radiación mínima para el uso de la energía solar en esta localidad, con respecto a la velocidad del aire presenta 2,3 m/s la cual es mínima para ser utilizada como fuente de energía.

#### 7.4. Caracterización de las fuentes no convencionales de energía para la ciudad de Bogotá.

Como resultado del análisis del potencial energético por medio de las condiciones climáticas de Bogotá se logra desarrollar el objetivo número tres que corresponde a **Caracterizar las fuentes no convencionales de energía para la ciudad de Bogotá**, teniendo en cuenta los datos obtenidos de las fuentes se logró ubicar las localidades con mayor, medio y menor potencial energético, con relación a la utilización de energía eólica y energía solar, como se evidencia en la Figura 35.

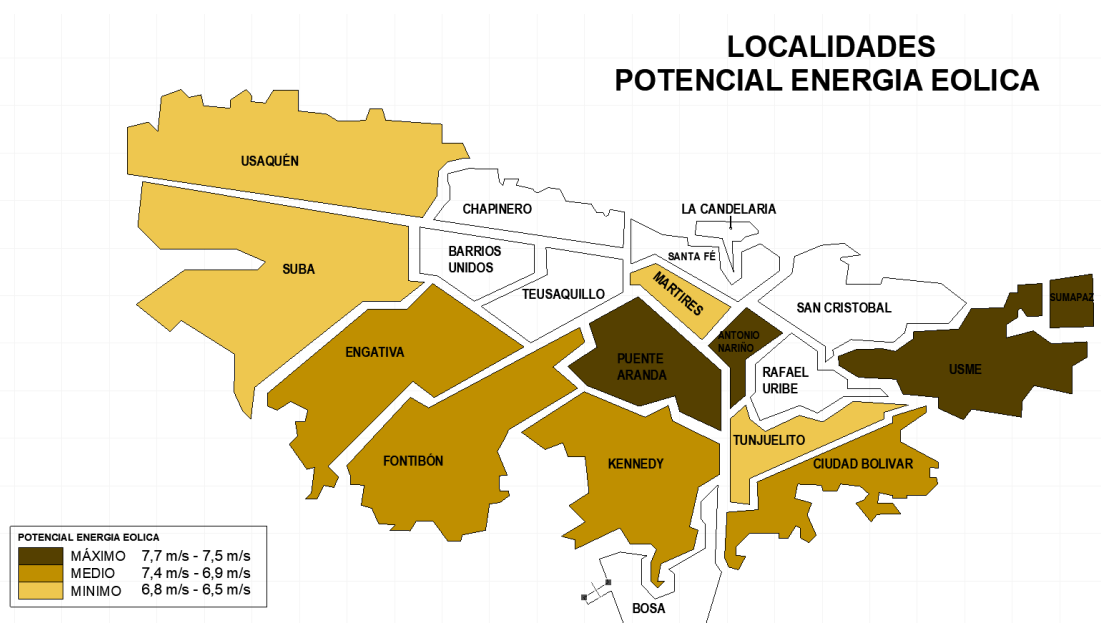


Figura 35. Potencial de energía eólica

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al resultado potencial de energía eólica, presenta mayor potencial energético de energía eólica las localidades de Puente Aranda, Antonio Nariño, Usme y Sumapaz; el potencial medio lo tiene las localidades de Ciudad Bolívar, Engativá, Kennedy y Fontibón. Mientras que las localidades con menor potencial son Tunjuelito, Usaquén, Suba y Mártires.



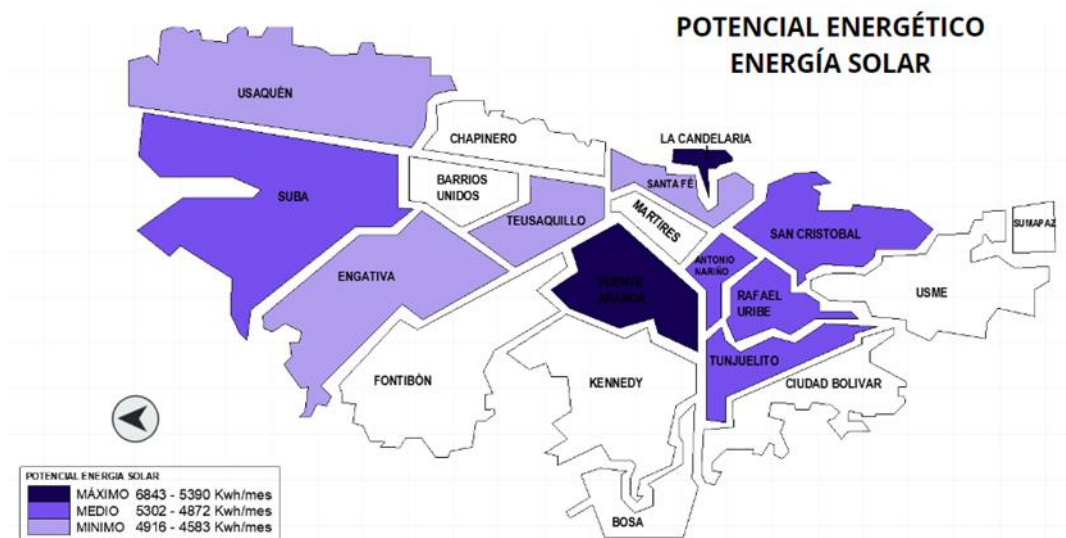


Figura 36. Potencial de energía solar

Fuente: Elaboración propia

El potencial energético solar se presenta en un máximo potencial en las localidades de Puente Aranda y La Candelaria. Las de medio potencial son Tunjuelito, Antonio Nariño, San Cristóbal, Rafael Uribe y Suba, las de menor potencial son Santa fe, Usaquén, Teusaquillo Engativá.

Reconociendo las localidades con mayor potencial energético por medio de las fuentes no convencionales de energía, en relación con energía eólica y la energía solar en la ciudad de Bogotá, se puede determinar dónde se podrían implementar los distritos térmicos, y revisar qué tipologías de la edificación cumplen con los criterios mínimos de un distrito térmico.

En la extensión de la ciudad de Bogotá se encontraron diferentes potenciales energéticos después de realizado el análisis climático, con relación a las fuentes no convencionales de energía.

Posterior a hacer el análisis climático, se decanta que, de las 20 localidades, 3 tienen máximo potencial de utilización de energía eólica, Puente Aranda, La Candelaria, Kennedy,

Fontibón y cuatro localidades con máximo potencial de utilización de energía fotovoltaica las cuales son puente Aranda, Usme, Antonio Nariño y San Cristóbal.

Como resultado de esto, se debe considerar que las localidades con mayor potencial son aquellas que se deben analizar para implementar distritos térmicos, por medio de fuentes no convencionales de energía.

### **7.5. Modelo teórico de Distrito Térmico para aplicar en Bogotá**

Para abordar el objetivo número cuarto que corresponde a Proponer un modelo teórico de Distrito Térmico para aplicar en Bogotá, se tomó un caso de estudio para analizar el modelo, en este caso se plantea una metodología con el fin de determinar un distrito térmico en una localidad dependiendo de sus características.

Dentro de la guía metodológica existente de distritos térmicos se toma en consideración los mapas energéticos que son herramientas de planeación urbana, para dimensionar y proyectar las zonas de mayor sentido para la implementación de distritos térmicos, ese análisis se realizó previamente en la investigación, se identificaron las localidades con el de mayor potencial energético con fuentes no convencionales de energía y demanda de energía eléctrica.

Se identifican las localidades con máximo potencial en relación con las fuentes no convencionales de energía evaluadas y consumo energético.

Para abordarlo, se toma como caso de estudio la localidad de Puente Aranda ya que es la localidad con máximo potencial en relación con la energía eólica, biomasa y energía fotovoltaica y consumo energético alto de aproximadamente 703,247,117 kWh/año por persona, según el Observatorio Ambiental de Bogotá, (2020).

Puente Aranda es una localidad situada en el sector central de Bogotá, limita con la avenida de las Américas, carrera 30 y la avenida carrera 68, tienen una extensión de suelo urbano

de 1731,1 ha y esta está dividida en cinco UPZ (unidades de planeación zonal) que son San Rafael, Ciudad Montes y Muzu que su uso edificatorio se clasifica en residencia consolidada, las UPZ de Zonal Industrial y Puente Aranda presentan una clasificación de uso industrial, comercial.

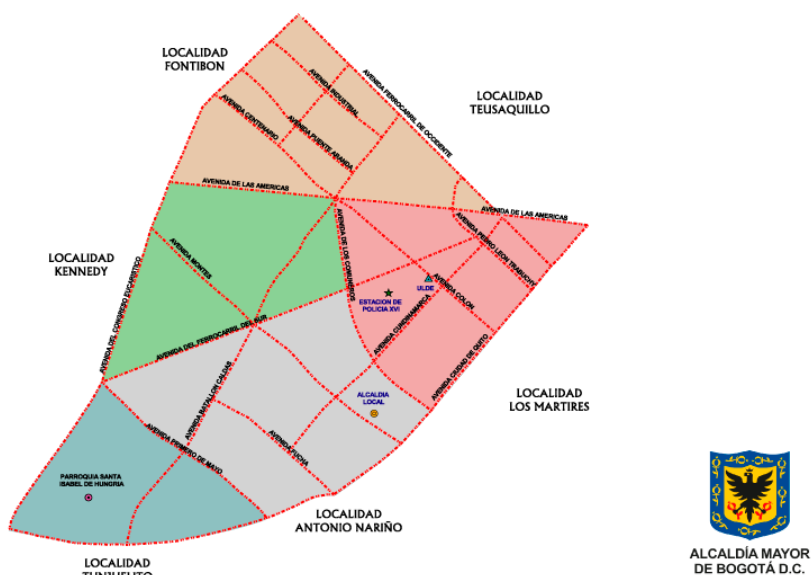


Figura 37. Mapa Puente Aranda - subdivisión

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá

Teniendo en cuenta la Guía metodológica de distritos térmicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2019), en el apartado de los pasos para poner en marcha los distritos térmicos, la ruta para implementarlos corresponde al proceso estándar para la conceptualización, desarrollar y poner un distrito térmico.

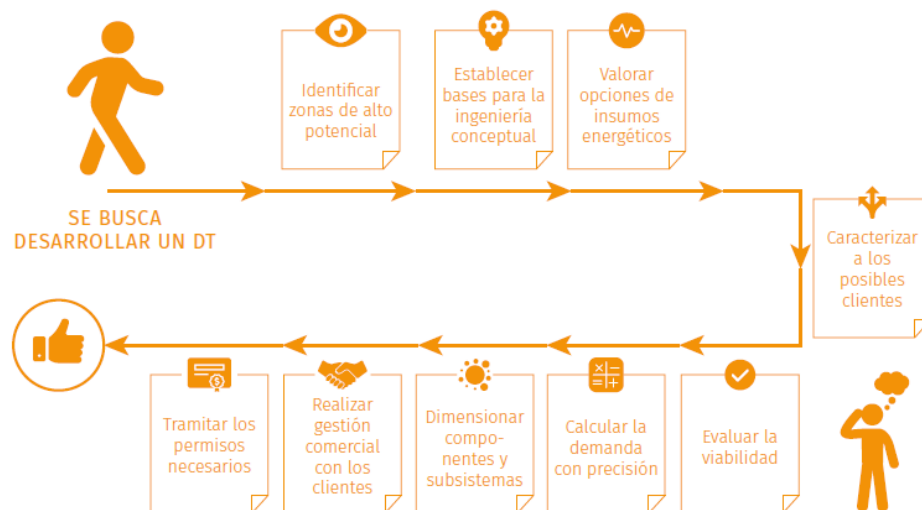


Figura 38. Proceso estándar para conceptualizar, desarrollar y poner en marcha un distrito térmico

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2019)

Dentro de este proceso se identifican las zonas de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano y dentro de la investigación se tiene en consideración las zonas de potencial para la implementación de fuentes no convencionales de energía como un parámetro más para el proceso.

En la guía para la identificación de zonas de alto potencial para el desarrollo de un distrito térmico urbano, se debe establecer y cuantificar la relación entre la oferta de energéticos primarios (electricidad) y la demanda de energía térmica.

Las zonas deben cumplir con las siguientes características: edificaciones de alto potencial de consumo energético, alta densidad de construcción, baja presencia de obstáculos geográficos, conocimiento de redes preexistente, edificaciones con sistemas que hayan superado al menos el 60% de su vida útil, diversidad de clientes potenciales, consumo de energía térmica relativamente constante (aire acondicionado), acceso a recursos energéticos de bajo costo.

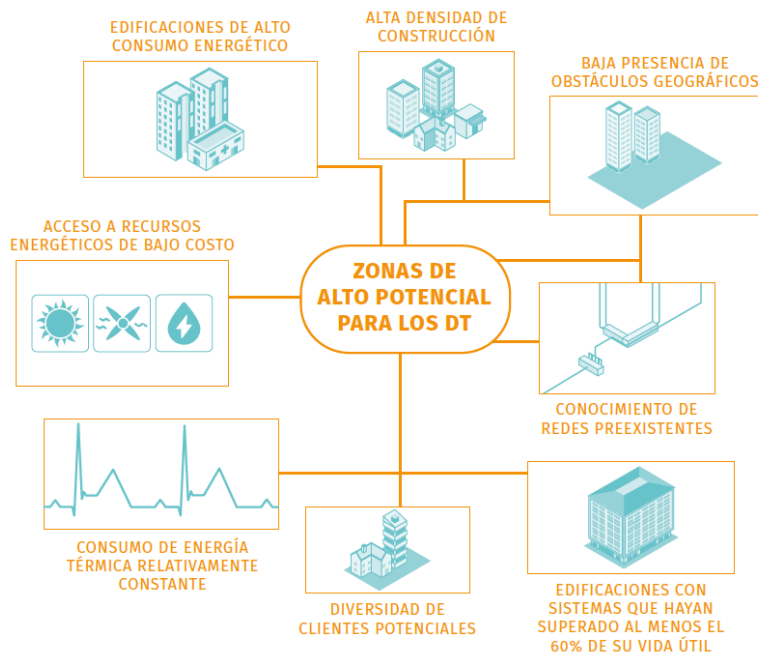


Figura 39. Zonas de alto potencial para implementar distritos térmicos

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

De igual forma, se deben considerar como foco de desarrollo las zonas de expansión, donde se plantean proyectos urbanos mixtos que se puedan implementar de manera más sencilla, toda vez que su diseño y planteamiento se hace desde la fase de planeación. Por ejemplo, el macroproyecto de Serena del Mar (Cartagena), es un desarrollo urbano donde a las edificaciones propuestas para la construcción, se incorpora la construcción del distrito térmico como una solución costo eficiente.

Para el caso de la localidad de Puente Aranda se realiza el análisis e identificación de los clientes potenciales para implementar distritos térmicos dependiendo de su uso edificatorio y que utilicen aire acondicionado y energía, teniendo en consideración las zonas mencionadas dentro de la guía de implementación.

Dentro del análisis se determinaron 26 posibles clientes para la implementación de distritos térmicos, los cuales son hoteles, 3 administrativos, 12 centros comerciales u comercio, 4 hospitales, 5 centros educativos, 1 industrias y 1 centros culturales.



*Figura 40. Análisis de potenciales clientes, localidad de Puente Aranda*

*Fuente: Elaboración propia con el software Earth*

Estos posibles clientes se localizaron por medio del software Google Earth con el fin de analizar su área y su uso, de tal manera que se pudiera determinar el uso de aire acondicionado, toneladas de refrigeración y consumo en cada una de ellas; igualmente, a través del software se trazaron radios de aproximadamente 200 metros con el fin de identificar cuáles podrían ser distritos térmicos intramurales y cuales extramurales; dentro del análisis se determinaron 7 distritos térmicos extramurales y 6 intramurales.

Para identificar los clientes pertinentes para la implementación de distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía se plantea el anexo INF 14. el cual hace el análisis detallado de cada uno de los 26 posibles clientes ya determinados, evaluados en las siguientes variables:

Tabla 8. Matriz de caracterización de potenciales clientes

	Centro Comercial Plaza Central	
PÓSIBLE CLIENTE		
UBICACIÓN	Cra. 65 #11-50, Bogotá	
TRATAMIENTO	T. Renovación	
TIPO DE EDIFICACIÓN	Centro comercial	
PISOS	3	
METROS CUADRADOS PRIMERA PLANTA	16.421,87	
M2 TOTALES	49265,61	
CONSUMO ENERGETICO KWH/AÑO X M2	1.423.973.191	
CONSUMO ENERGETICO kwh /dia	3.901.296	
DEMANDA DE AIRE ACONDICIONADO	SI	
DISTRITO TERMICO	DT INTRAMURAL	
RADIO DE INFLUENCIA	PROPIO	
DISPONIBILIDAD DE LOTES	DENTRO DE LA EDIFICACIÓN	
EFFECTO SOMBRA	SIN SOMBRA	
Numero total de paneles: NT = ET(pp* gmb* pg) Demanda completa	1300432	
TR	1401	
Consumo de refrigeracion TR A Kwe/TR	1191	
Numero total de paneles: NT = ET(pp* gmb* pg)	397	
MBtu/h	10	
Consumo de calefaccion Mbtu/h A Kwe (KWe/ Mbut/h)	673,338	
Numero total de paneles: NT = ET(pp* gmb* pg)	224	
CALIDAD DE CUBIERTA	APTA	
M2 DE CUBIERTA UTIL APROXIMADA	3645,71	
M2/PANEL FOTOVOLTAICO	1822	
% IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES CONSUMO COMPLETO	0,1401%	
% CONSUMO DE CALEFACCIÓN	100%	
% CONSUMO DE REFRIGUERACIÓN	100%	
M2/AEROGENRADOR	900	

Fuente: Elaboración propia

- **Nombre:** cliente potencial.
- **Ubicación:** nomenclatura catastral de la localización
- **Tratamientos urbanísticos:** Mapa urbano de Bogotá, se toma en consideración los tratamientos para evaluar el lote pertinente para el DT.

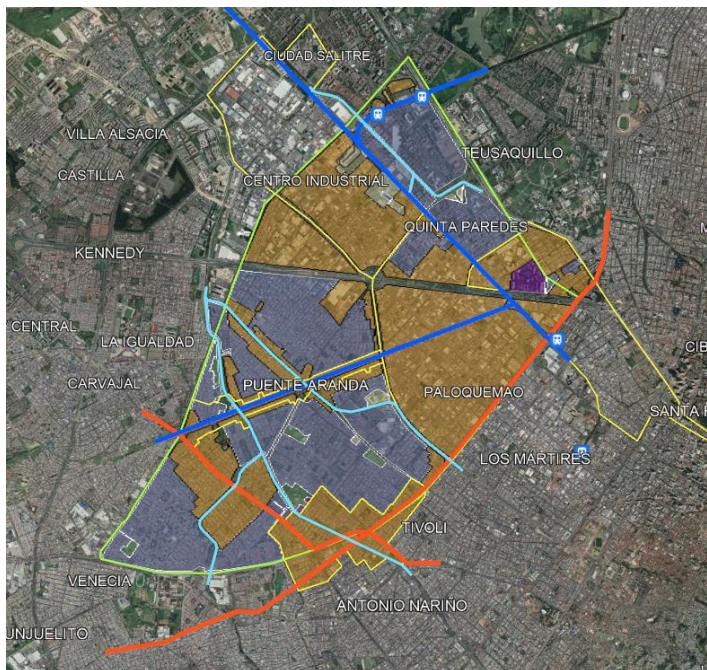


Figura 40. Mapa de tratamientos localidad de Puente Aranda

Fuente: Elaboración propia con base en <https://experience.arcgis.com/experience/2b76d7e7a4984520848d2a988b583c77>

- Tipo de edificación: Se determina el uso edificatorio de cada uno de los posibles clientes.
- Pisos: cantidad de pisos de la edificación.
- Metros cuadrados totales: Se analizó y determinó los metros cuadrados de cada uno de los posibles clientes.
- Consumo energético kW/año: teniendo en cuenta los documentos de indicadores de agua y energía eléctrica, de la Secretaría Distrital de Planeación (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020) donde se relaciona el consumo energético anual de cada tipo de la edificación por los metros cuadrados totales de la edificación se calcula el consumo energético del edificio.



Tabla 9. Consumo de energético anual por tipo de edificación

CONSUMO DE ENERGIA ANUAL KWH/AÑO	
TIPO	KWH/AÑO
HOSPITALES	30.664
EDUCATIVO	10.429
ADMINISTRATIVO	19.709
INDUSTRIA	24.282

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020)

- Consumo energético kW/h/día: se toma como referencia el consumo energético anual y se divide en 365 días del año para generar el consumo diario de cada cliente potencial.
- Demanda de aire acondicionado: Se realizó un trabajo de campo de los posibles clientes, donde se realizó la siguiente pregunta, ¿Cuentan con aire acondicionado dentro de la edificación? Dentro de los resultados se evidenció que 8 de los 45 posibles clientes no cuentan con aire acondicionado actualmente. Esta es una variable importante dentro del estudio para identificar los distritos térmicos.
- Distrito térmico: dentro del análisis de la localidad se trazó radios de aproximadamente 200 metros con el fin de identificar cuáles podrían ser distritos térmicos intramurales y cuáles extramurales. Dentro del análisis se determinaron siete distritos térmicos extramurales y seis intramurales. Esta es una variable que se tiene en cuenta para conectar los clientes para cada distrito térmico.
- Radio de influencia: propio o compartido de 200 m<sup>2</sup>, dependiendo del distrito térmico.

- Disponibilidad de lotes: se revisa en el perímetro de cada uno de los distritos térmicos extramurales proyectados si existen lotes óptimos a situar la central térmica.
- Efecto sombra: se realizó un análisis de obstáculos y edificios adyacentes a los distritos para evidenciar si existe efecto sombra, ya que al implementar el 100% de eficiencia de los paneles solares, es importante evitar los elementos que generan sombra aerodinámica que afecta a las turbinas.

Para el cálculo de cantidad de paneles solares para el consumo energético total de cada edificio se realizó el siguiente cálculo:

$$NT = ET / (Pp * Gmb * Pg)$$

NT: Numero de total de módulos fotovoltaicos  
 ET: Energía real requerida Kw/día  
 Pp: Potencia Pico del Módulo Fotovoltaicos KW  
 Gmb: Radiación global kWh/m<sup>2</sup>  
 Pg; Factor de rendimiento del sistema

*Figura 41. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos*

*Fuente: (Ortiz, 2019)*

El cálculo del número total de módulos fotovoltaicos, se realizó con cada uno de los posibles clientes evaluados en la matriz, para mayor detalle revisar anexo 12.

De igual manera, se calculó de Generación energía (kWh día) de cada uno de módulos fotovoltaicos, este cálculo se realizó teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$G = (Pp * Gmb * Pg) * Nt$$

G: Generación de energía  
 NT: Numero de total de módulos fotovoltaicos  
 ET: Energía real requerida Kw/día  
 Pp: Potencia Pico del Módulo Fotovoltaicos KW  
 Gmb: Radiación global kWh/m<sup>2</sup>

*Figura 42. Cálculo de Generación energía (kWh día)*

*Fuente: (Ortiz, 2019)*

Que como resultado de generar el cálculo ( $P_p * G_{mb} * P_G$ ), teniendo en cuenta las características del panel fotovoltaico explicado a continuación, resultan tres paneles fotovoltaicos. Esta es una variable para evaluar la cantidad que requiere cada uno de los potenciales clientes para su consumo energético total, demanda de refrigeración y de calefacción.

El panel contemplado en este estudio es un módulo fotovoltaico de media celda, de 550 w, de la marca DEEP BLUE 3.0, de la serie JAM72S30 525-550/MR, ofrece ventajas para la mayor potencia de salida, pues permite un mayor rendimiento para la generación de energía y un menor sombreado. Para más información se puede revisar la ficha técnica en el Anexo FICHA TECNICA PANEL SOLAR



*Figura 43. Celdas fotovoltaicas para investigación*

*Fuente: t.ly/YLo9*

Con el fin de calcular el total de paneles de la demanda total del edificio, el cálculo de Generación energía (kWh día) se realizó con cada uno de los posibles clientes evaluados en la matriz.

De igual forma, se calculó la potencia a la salida de generador fotovoltaico de cada uno de módulos fotovoltaicos, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$P_{GFV} = \frac{E}{HSS * N * PR}$$

- P: Potencia a la salida del generador fotovoltaico
- E: energía demandada mensualmente (kWh-mes)
- HSS: horas de sol estándar de la zona
- N: número de días al mes en el que consume la energía E
- PR: factor de rendimiento del sistema

*Figura 44. Cálculo de potencia a la salida de generador fotovoltaico*

*Fuente: (Ortiz, 2019)*

El cálculo de la potencia a la salida de generador fotovoltaico se realizó con cada uno de los posibles clientes evaluados en la matriz, con el fin de conocer la potencia de los módulos propuestos en cada distrito y calcular el porcentaje de que satisface ya sea en el consumo de todo el edificio o en los sistemas de climatización (refrigeración y calefacción)

Para el análisis de demanda de climatización de refrigeración y calefacción se tuvo en cuenta un edificio tipo localizado en la ciudad de Bogotá, realizado por el Ingeniero Jordy López, quien hace parte del equipo de CIDARE, en los anexos de su documento de maestría (López, 2022)

- Cálculo de demanda de refrigeración:

El edificio tipo es el ELDORADO INTL, que cuenta con un área de 997,39 m<sup>2</sup>. Para el cálculo de refrigeración se tomó como herramienta replicar el promedio de toneladas de refrigeración (TR/m<sup>2</sup>), para un edificio localizado en Bogotá, con el fin de realizar análisis de las cargas por m<sup>2</sup>, se toma como dato de referencia para calcular el consumo de refrigeración.



## Anexo. Listado completo de cargas térmicas

TRABAJO FIN DE MASTER JORDY LOPEZ

Fecha: 20/09/22

### 4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA CONJUNTOS DE RECINTOS

Refrigeración		
Conjunto	Potencia por superficie (W/m <sup>2</sup> )	Potencia total (W)
Planta baja - Cocina	38.6	1488.7
Planta baja - Comedor	36.9	3903.6
Planta baja - Distribuidor Planta baja	-13.1	-395.1
Planta baja - Hall	-13.7	-292.3
Trabajo Master Jordy Lopez	78.5	2912.9
Planta 1 - Despacho 1a Piso 1	82.2	2144.9
Planta 1 - Despacho 1b Piso 1	89.0	2323.0
Planta 1 - Distribuidor Piso 1	-9.6	-272.2
Planta 1 - Oficina 1a Piso 1	40.7	688.2
Planta 1 - Oficina 1c Piso 1	51.5	3025.8
Planta 1 - Oficina 1d Piso 1	67.9	3977.5
Planta 1 - Recepción 1b Piso 1	28.0	490.5
Planta 2 - Despacho 2a Piso 2	82.2	2144.9
Planta 2 - Despacho 2b Piso 2	89.0	2323.0
Planta 2 - Distribuidor Piso 2	-9.6	-272.2
Planta 2 - Oficina 2a Piso 2	40.7	688.2
Planta 2 - Oficina 2c Piso 2	51.5	3025.8
Planta 2 - Oficina 2d Piso 2	67.9	3977.5
Planta 2 - Recepción 2b Piso 2	28.0	490.5
Planta 3 - Despacho 3a Piso 3	82.2	2144.9
Planta 3 - Despacho 3b Piso 3	89.0	2323.0
Planta 3 - Distribuidor Piso 3	-9.6	-272.2
Planta 3 - Oficina 3a Piso 3	40.7	688.2
Planta 3 - Oficina 3c Piso 3	51.5	3025.8
Planta 3 - Oficina 3d Piso 3	67.9	3977.5
Planta 3 - Recepción 3b Piso 3	28.0	490.5
Planta 4 - Despacho 4a Piso 4	81.4	2125.6
Planta 4 - Despacho 4b Piso 4	88.0	2297.6
Planta 4 - Distribuidor Piso 4	-11.0	-312.4
Planta 4 - Oficina 4a Piso 4	40.0	676.1
Planta 4 - Oficina 4c Piso 4	50.5	2971.1
Planta 4 - Oficina 4d Piso 4	67.2	3936.9
Planta 4 - Recepción 4b Piso 4	26.5	464.4

Producido por una versión educativa de CYPE

Figura 45. Resumen de cargas de cada recinto Refrigeración

Fuente: (López, 2022)

Los datos del edificio tipo estudiado se encuentran en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>), los cuales se sumaron y dan un total de 58726 W/m<sup>2</sup>. Este dato se multiplica por 3,14 MBTU que equivale 1 W dando como resultado 200257,7 MBTU.

$$1w = 3,14 \text{ Mbtu}$$

$$\text{Mbtu/m}^2 = (w/m^2 * 3,15 \text{ Mbtu})$$

- Mbtu: Mega unidades térmicas británicas por hora
- W: vatios
- M2: metros cuadrados

*Figura 46. Cálculo de w/m2 a Mbtu/m2*

*Fuente: Elaboración propia*

Esto se vuelve a cambiar de unidad de MBTU a TR que es la unidad de refrigeración de la siguiente manera, se multiplica los MBTU por 1,7 que equivale a 1 TR y se divide en 12000 las unidades de millón, que da como resultado 28,369 TR.

$$1 \text{ Mbtu} / \text{m}^2 = 1,7 \text{ TR} / \text{m}^2$$

$$\text{TR} = (\text{Mbtu}/\text{m}^2 * 1,7 \text{ TR}/\text{M}2)/12000$$

- Mbtu: Mega unidades térmicas británicas por hora
- TR: Toneladas de refrigeración
- M2: metros cuadrados

*Figura 47., Cálculo de Mbtu/m2 a TR/m2*

*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo en cuenta esta información se evidencia que el edificio requiere 28,369 TR y para los 997,392 m<sup>2</sup> se calculan los m<sup>2</sup>/TR que se requiere para un edificio promedio. Se realiza el siguiente cálculo, se divide las TR en los m<sup>2</sup>, dando como resultado 35,156 m<sup>2</sup>/TR.

Nota: es importante mencionar que este cálculo se toma como caso de estudio para el planteamiento de la guía, pero para mayor exactitud se requiere de carga térmica de forma individual de cada edificio.

Dentro de la matriz de análisis de los clientes se toma el dato de 35,156 TR/m<sup>2</sup> y se realiza el siguiente cálculo: se multiplican las TR/M2 por los m<sup>2</sup> totales de cada uno de los clientes.

$$1 \text{ TR}/\text{m}^2 = 28,369$$

$$\text{TR} / \text{m}^2 = (\text{área m}^2 * \text{TR} / \text{M}2)$$

- TR: Toneladas de refrigeración
- M2: Metros cuadrados
- Área: área total cliente

*Figura 48. Cálculo de TR por área total*

*Fuente: Elaboración propia*

De igual forma, esas toneladas de calefacción se convierten de unidad a kWe (kilovatio de energía eléctrica) con el fin de calcular los paneles solares que se requieren para cada cliente dependiendo de la demanda de refrigeración, teniendo en cuenta que **1 kWe equivale a 0,85 TR**. Este es el histórico de consumo por TR del DT La Alpujarra y Serena, este dato se multiplica por cada una de las TR (demanda de refrigeración) de cada uno de los clientes potenciales evaluados en el análisis.

$$1 \text{ Kwe} = 0,85 \text{ TR}$$

$$\text{Kwe} = (\text{TR} * 0,85 \text{ TR})$$

- Kwe: Kilovatios eléctricos
- TR: Toneladas de refrigeración

*Figura 49. Conversión de TR a kWe*

*Fuente: Elaboración propia*

Para el cálculo de cantidad de paneles solares para la demanda de consumo de refrigeración total de cada edificio se realizó el siguiente cálculo:

$$NT = ET / (Pp * Gmb * Pg)$$

NT: Numero de total de módulos fotovoltaicos

ET: Energía real requerida Kw/día

Pp: Potencia Pico del Módulo Fotovoltaicos KW

Gmb: Radiación global kWh/m<sup>2</sup>

Pg; Factor de rendimiento del sistema

*Figura 50. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos*

*Fuente: (Ortiz, 2019)*

Esto da como resultado tres paneles, teniendo en cuenta las características de la ficha técnica evaluada, las características técnicas del panel fotovoltaico evaluado para la investigación son ya descritas anteriormente. Es un módulo fotovoltaico de media celda de 550 w de la marca DEEP BLUE 3.0, de la serie JAM72S30 525-550/MR.

Que como resultado de generar el cálculo ( $P_p * G_{mb} * P_G$ ), teniendo en cuenta las características del panel fotovoltaico, resultan tres paneles fotovoltaicos, esta es una variable para evaluar la cantidad que requiere cada uno de los potenciales clientes para su consumo energético total, demanda de refrigeración y demanda de calefacción.

Para realizar el cálculo del total de paneles de la demanda de refrigeración se realiza lo siguiente.

- Cálculo de demanda de calefacción:

De igual manera, para el caso de calefacción el edificio es el mismo, pero el área es mayor, 997,39 m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta el estudio de climatización de López, (2022) se calcula la unidad térmica británica de un millón (MBtu/m<sup>2</sup>) para un edificio tipo, con ese cálculo se calcula los MBtu que requiere el edificio para el consumo de calefacción.



Calefacción		
Conjunto	Potencia por superficie (W/m <sup>2</sup> )	Potencia total (W)
Planta baja - Cocina	52.0	2008.6
Planta baja - Comedor	62.5	6616.4

Página 81



### Anexo. Listado completo de cargas térmicas

TRABAJO FIN DE MASTER JORDY LOPEZ

Fecha: 20/09/22

Calefacción		
Conjunto	Potencia por superficie (W/m <sup>2</sup> )	Potencia total (W)
Planta baja - Distribuidor Planta baja	47.8	1444.2
Planta baja - Hall	53.9	1152.4
Trabajo Master Jordy Lopez	67.8	2516.0
Planta 1 - Despacho 1a Piso 1	58.6	1529.8
Planta 1 - Despacho 1b Piso 1	55.7	1453.1
Planta 1 - Distribuidor Piso 1	43.1	1224.5
Planta 1 - Oficina 1a Piso 1	49.0	828.2
Planta 1 - Oficina 1c Piso 1	47.9	2817.5
Planta 1 - Oficina 1d Piso 1	42.5	2491.1
Planta 1 - Recepción 1b Piso 1	51.1	894.5
Planta 2 - Despacho 2a Piso 2	57.9	1510.0
Planta 2 - Despacho 2b Piso 2	54.9	1433.3
Planta 2 - Distribuidor Piso 2	42.4	1203.2
Planta 2 - Oficina 2a Piso 2	48.4	817.7
Planta 2 - Oficina 2c Piso 2	47.2	2776.2
Planta 2 - Oficina 2d Piso 2	41.8	2446.6
Planta 2 - Recepción 2b Piso 2	50.6	885.8
Planta 3 - Despacho 3a Piso 3	57.9	1510.0
Planta 3 - Despacho 3b Piso 3	54.9	1433.3
Planta 3 - Distribuidor Piso 3	42.4	1203.2
Planta 3 - Oficina 3a Piso 3	48.4	817.7
Planta 3 - Oficina 3c Piso 3	47.2	2776.2
Planta 3 - Oficina 3d Piso 3	41.8	2446.6
Planta 3 - Recepción 3b Piso 3	50.6	885.8
Planta 4 - Despacho 4a Piso 4	59.1	1542.5
Planta 4 - Despacho 4b Piso 4	56.2	1465.9
Planta 4 - Distribuidor Piso 4	42.2	1199.9
Planta 4 - Oficina 4a Piso 4	49.6	838.6
Planta 4 - Oficina 4c Piso 4	48.5	2849.5
Planta 4 - Oficina 4d Piso 4	43.0	2519.6
Planta 4 - Recepción 4b Piso 4	51.9	907.6

Producido por una versión educativa de CYPE

Figura 51. Resumen de cargas de cada recinto Calefacción

Fuente: (López, 2022)

Los datos del edificio tipo estudiando se encuentran en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>), los cuales se sumaron y dan un total de 58445,5 W/m<sup>2</sup> este dato se multiplica por 3,15 MBtu que equivale 1 W, que da como resultado 192449,82 Btu.

$$1w = 3,14 Mbtu$$

$$Mbtu/m2 = (w/m2 * 3,15 Mbtu)$$

- Mbtu: Mega unidades térmicas británicas por hora
- W: vatios

Figura 52. Cálculo de w/m2 a Mbtu/m2

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta esta información, se evidencia que el edificio requiere 192449,82 Btu y cambiando de unidad a Mbtu equivaldría a 0,19244; ya que se dividen los Btu en un millón y los 997,392 m<sup>2</sup>. Se calculan los Mbtu/m<sup>2</sup> que se requieren para un edificio promedio, se realiza el siguiente cálculo, se divide las MBTU en los m<sup>2</sup> queda como resultado 5182,61 m<sup>2</sup>/Mbtu/h.

$$1 \text{ Mbtu} / \text{m}^2 = 5182,61$$

$$\text{Mbtu}/\text{m}^2 = (\text{área m}^2 * \text{Mbtu}/\text{m}^2)$$

- Mtu: Mega unidades térmicas británicas
- M2: Metros cuadrados
- Área: área total cliente

*Figura 53. Cálculo de Mbtu por área total*

*Fuente: Elaboración propia*

- Nota: es importante mencionar que este cálculo se toma como caso de estudio para el planteamiento de la guía, pero para mayor exactitud se requiere de carga térmica de forma individual de cada edificio.

Dentro de la matriz de análisis de los clientes se toma el dato de 5182,61 m<sup>2</sup>/Mbtu/h y se realiza el siguiente cálculo; se multiplican las Mbtu/m<sup>2</sup>/h por los m<sup>2</sup> totales de cada uno de los clientes.

De igual forma, esas toneladas de calefacción se convierten en a kWe (kilovatio de energía eléctrica) con el fin de calcular los paneles solares que se requieren para cada cliente dependiendo de la demanda de calefacción, se convierte la unidad de medida de Mbtu a TR que equivale a 0,012 MBtu.

Teniendo en cuenta que 1 kWe equivale a 0,85 TR da como resultado de 70,8333 MBtu por 1 kWe/MBtu/h. Este dato se multiplica por cada una de los MBtu (demanda de calefacción) de cada uno de los clientes potenciales evaluados en el análisis.

$$1 \text{ Kwe} = 70,8333 \text{ Mbtu}$$

$$\text{Kwe} = (\text{Mbtu} * 70,8333 \text{ TR})$$

- Kwe: Kilovatios eléctricos
- Mbtu: Mega unidades térmicas británicas

*Figura 54. Conversión de Mbtu a kWe*

*Fuente: Elaboración propia*

Para el cálculo de cantidad de paneles solares para la demanda de consumo de refrigeración total de cada edificio se realizó el siguiente cálculo:

$$NT = ET / (Pp * Gmb * Pg)$$

NT: Numero de total de módulos fotovoltaicos

ET: Energía real requerida Kw/día

Pp: Potencia Pico del Módulo Fotovoltaicos KW

Gmb: Radiación global kWh/m<sup>2</sup>

Pg; Factor de rendimiento del sistema

*Figura 55. Cálculo de número total de módulos fotovoltaicos*

*Fuente: (Ortiz, 2019)*

Esto da como resultado tres paneles teniendo en cuenta las características de la ficha técnica evaluada, las características técnicas del panel fotovoltaico evaluado para la investigación.

Es importante que en este cálculo se tiene en cuenta (Pp\*GmB\*PG), ya que dentro de la matriz se divide los 3 paneles por kWe de cada uno de los posibles clientes analizados.

Que como resultado de generar el cálculo (Pp\*Gmb\*PG), teniendo en cuenta las características del panel fotovoltaico, da tres paneles fotovoltaicos, esta es una variable para evaluar la cantidad que requiere cada uno de los potenciales clientes para su consumo energético total, demanda de refrigeración y demanda de calefacción.

Con el fin de calcular el total de paneles de la demanda de refrigeración se requiere:

- Calidad de cubierta: se realiza un análisis detallado de cada uno de los posibles clientes del área útil para la implementación de fuentes no convencionales de energía de cada uno de los posibles clientes evaluados en la matriz de análisis.
- Metros cuadrados de cubierta útil: se cuantificó y se midió cada una de las áreas por medio de la plataforma mapas Bogotá de la Alcaldía de Bogotá<sup>3</sup> y la plataforma de Google Earth<sup>4</sup> de cada uno de los posibles clientes evaluados en la matriz de análisis.
- m<sup>2</sup>/panel fotovoltaico: teniendo en cuenta la ficha técnica ya relacionada de los paneles solares utilizados en el análisis, estos ocupan 2,05 m<sup>2</sup> de cubierta útil, por lo que nos permite realizar el siguiente cálculo.

Panel fotovoltaico =  $2,05 \text{ m}^2 \text{ ocupación cubierta útil}$

M<sup>2</sup>/panel fotovoltaico =  $(\text{área útil cubierta}/2,05 \text{ m}^2)$

- Panel fotovoltaico
- Área útil de cubierta
- Ocupación del panel fotovoltaico

*Figura 56. Cálculo de paneles solares por m<sup>2</sup>*

*Fuente: Elaboración propia*

Se divide los m<sup>2</sup> de cubierta útil por los 2,05 m<sup>2</sup> que ocupa cada panel, lo que permite determinar cuántos paneles se pueden implementar en el área útil de cada uno de los posibles clientes.

Teniendo en cuenta la información anterior se realiza el cálculo del porcentaje de implementación de paneles fotovoltaicos para el consumo total de los edificios, demanda de refrigeración y demanda de calefacción.

- Porcentaje de implementación de paneles solares para el consumo total: se debe realizar el siguiente cálculo.

<sup>3</sup> <https://mapas.bogota.gov.co>

<sup>4</sup> <https://www.google.com/maps/?es>

$$\% \text{ Implementación de paneles solares} = (NTDC / PFUP)$$

- NT: Numero de paneles solares demanda completa
- PFUC: Paneles solares útiles en cubierta

*Figura 57. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda completa*

*Fuente: Elaboración propia*

Para calcular el porcentaje, se divide el número total de paneles para la demanda total por el número de paneles que se pueden implementar por el área útil, este cálculo se debe hacer con cada uno de los clientes analizados.

- Porcentaje de implementación de paneles solares para la demanda de consumo de refrigeración. Para ello, se debe realizar el siguiente cálculo.

$$\% \text{ Implementación de paneles solares} = (NTDC / PFUP)$$

- NT: Numero de paneles solares demanda completa
- PFUC: Paneles solares útiles en cubierta

*Figura 58. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda refrigeración*

*Fuente: Elaboración propia*

Para calcular el porcentaje, se divide el número total de paneles para la demanda de refrigeración por el número de paneles que se pueden implementar por el área útil, este cálculo se debe hacer con cada uno de los clientes analizados.

- Porcentaje de implementación de paneles solares para la demanda de consumo de calefacción: se debe realizar el siguiente cálculo.

$$\% \text{ Implementación de paneles solares} = (NTDC / PFUP)$$

- NT: Numero de paneles solares demanda completa
- PFUC: Paneles solares útiles en cubierta

*Figura 59. Porcentaje de implementación de paneles solares demanda calefacción.*

*Fuente: Elaboración propia*

Para calcular el porcentaje se divide el número total de paneles para la demanda de calefacción por el número de paneles que se pueden implementar por el área útil, este cálculo se debe hacer con cada uno de los clientes analizados.

Para el cálculo de cantidad de aerogeneradores que pueden ser instalados en un metro cuadrado de área útil, se debe tener en cuenta lo dicho por Talavera, (2017), quien indica que la distancia entre aerogeneradores de una misma fila no será nunca inferior a dos diámetros de rotor y, entre los aerogeneradores de una fila, y la otra siempre habrá una distancia superior a ocho diámetros.

La razón de estas distancias mínimas es la de minimizar el efecto sombra de unos aerogeneradores sobre otros, por eso se tomó en consideración la variable de efecto sombra.

Para calcular los M2/AEROGENERADOR: Se realizó teniendo en cuenta el aerogenerador seleccionado y sus características técnicas, las cuales fueron utilizadas para los cálculos de la investigación, Para mayor información se puede revisar la ficha técnica en el Anexo 13.

El Aerogenerador WIND 25.3+ de 5000 W de potencia nominal y potencia pico de 6000 W, tiene un funcionamiento con velocidades del aire que van desde los 2m/s hasta los 30m/s y con una bajísima velocidad de arranque de 3m/s para obtener la mayor eficiencia. El aerogenerador tiene un 20% más de producción de energía que los convencionales, una menor velocidad de arranque, eficiencias de hasta el 96% y una monitorización remota<sup>5</sup>. (Monsolar.com, s.f.). Para mayor información se puede revisar la ficha técnica en el Anexo

FICHA TECNICA AEROGENERADOR

---

<sup>5</sup> Para mayor información de la ficha técnica del aerogenerador WIND 25.3+ pueden dirigirse al Anexo. [https://www.monsolar.com/pdf/Catalogo\\_aerogeneradores\\_Wind\\_Plus\\_bornay.pdf](https://www.monsolar.com/pdf/Catalogo_aerogeneradores_Wind_Plus_bornay.pdf)



Figura 60. Aerogenerador WIND 25.3+

Fuente: (Monsolar.com, s.f.)

**AREA AEROGENERADOR= 4,05 M2**

**M2/AEROGENERADOR= (AUC/AA)**

- AUC: Área útil de cubierta
- AA: Área aerogenerador

Figura 61. Cálculo de número de aerogeneradores en m2

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que un aerogenerador requiere de 4,05 metros para su implementación.

Teniendo en cuenta esta información, se realiza la fórmula descrita en la Figura 61, con el fin de calcular cuántos aerogeneradores se pueden implementar en el área útil de los proyectos analizados.

Se debe dividir los m<sup>2</sup> de cubierta útil por los 4,05 m<sup>2</sup> que un aerogenerador necesita, y esta misma en cada uno de los posibles clientes analizados en la matriz.

Como resultado de la matriz de análisis de los posibles clientes analizados en relación con las variables ya descritas se concluye que:

- Dentro de los 26 posibles clientes analizados, 12 no cumplen con los parámetros para la implementación de distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía, como se muestra en la siguiente tabla.





- Diez (10) posibles clientes (Outlet de las Américas, Zona In, Centro comercial caribe, San Andresito de la 38, Centro comercial Manhattan, Biblioteca central de la universidad distrital). No requieren de aire acondicionado y energía térmica.
- Seis (6) posibles clientes (Canal RCN, CM& TELEVISIÓN, fabrica industrial y éxito de las américas, Alkosto carrera 30, pasaje comercial). No requieren de aire acondicionado y energía térmica, aunque haciendo los cálculos de demanda de calor y frío y revisando las fuentes no convencionales analizadas se puede implementar en un 100%.
- Uno (1) posibles clientes (Centro Administrativo de Avianca). no son aptos para la implementación de fuentes no convencionales de energía, ya que al evaluar los resultados de los porcentajes son menores al 3,0 % en las tres variables analizadas (consumo total, demanda de refrigeración y demanda de calefacción.
- Dentro de los 26 posibles clientes analizados, se evidenció que 14 cumplen con los parámetros para la implementación de distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía en tres denominaciones que se evidencia en la tabla 11:
  - 100% de demanda total, calefacción y refrigeración por medio de fuentes no convencionales de energía.
  - 100% demanda de calefacción y refrigeración.
  - 80% demanda de calefacción y refrigeración. como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 11. Matriz potenciales clientes que CUMPLEN requisitos para implementar distritos térmicos por medio de FNCE

UNIVERSIDAD COLEGIO  
MAYOR DE  
CUNDINAMARCA



MATRIZ DE ANÁLISIS POSIBLES CLIENTES QUE A RAZA CUMPLEN

PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTritos TERMICOS EN BOGOTÁ

POSIBLE CLIENTE	Centro Comercial Plaza Central	Centro Comercial Outlet Factory	Centro comercial Gran Estacion	Centro comercial Gran Estacion	Clinica especialidad Colombia	Hospital mederi	Secretaria Distrital de Salud	Secretaria de movilidad distrital	Secretaria Distrital de seguridad	Sena puente Arends	Corferias	Dirección centro de rehabilitación inclusiva	Fondo Nacional de Ahorros	Centro financiero	
UBICACIÓN	Ca. 65 #11-50, Bogotá	Av. de las Américas #62-84, Bogotá	Ac. 26 #62-47, Bogotá	Ac. 26 #62-47, Bogotá	Cra. 29-99, Cra. 66 #29-39, Bogotá	Cl. 24 #29-45, Bogotá	Al. 50 #2-21, Bogotá	Cl. 13 #57-35, Bogotá	Av. El Dorado #57-83, Bogotá	Bogotá	Cra. 37 # 24- 67, Bogotá	Cl. 21 #4440, Bogotá	Industrial Zone, Cl. 12 #65-11, Puente Aranda, Bogotá	Edificio de los Ingenieros, Cr. 28 #22-36 oficina 601, Administrativo	
TIPO DE EDIFICACIÓN	Centro comercial	Centro comercial	Centro comercial	Centro comercial	Hospital	Hospital	Distrito	Distrito	Distrito	Educativo	Cultural	Cultural	Administrativo	Administrativo	
M2 TOTALES	40265,61	36796	19476,24	8234	34125	388418,1	50,071	11,266	1183,14	1043,2	64480,25	5316,38	64874,96	1506	
CONSUMO ENERGETICO kWh/año x M2	1.425.973,191	1.063.2625,44	562941241	2885962736	1.046.409.000	1191046262	989840339	222041594	23318505,25	1087953,26	1266855403	10478033,4	1230691487	26681754	
Numero total de pares: NT= ET (pp²/gmb²/pg) Demanda completa	3	130082	971066	514102	2178596	955625	1037713	901	203	2126	994	1159685	95660	116940	27107
TR	35,1567847	140131,2	1046	554	2348	971	1106	1,42	0,32	33,65	2,97	1833	151	1848	43
Consumo de refrigeración TRA Kwe (kWh/Tr)	0,85	1191,115	889	471	1995	825	939	1,21	0,27	28,61	2,52	1558	129	1571	36
Numero total de pares: NT= ET (pp²/gmb²/pg) MBtu/h	3	387,288	296	157	665	275	313	0,40	0,09	9,54	0,84	519	43	524	12
Consumo de calefacción MBtu/a Kwe (kWh/MBtu/h)	5182,61004	9,506	7	4	16	7	0,01	0,00	0,28	0,02	12	1	13	0	
Numero total de pares: NT= ET (pp²/gmb²/pg) MBtu/a Kwe (kWh/MBtu/h)	70,63333333	673,338	503	266	1128	466	531	1	0	16	1	881	73	888	21
Numero total de pares: NT= ET (pp²/gmb²/pg)	3	224	168	89	376	155	177	0	0	5	0	294	24	296	7
CALIDAD DE CUBIERTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	APTA	
M2 DE CUBIERTA UTIL APROXIMADA	3845,71	6675	4853	4953,00	504,05	264039	25,463	133,22	311,65	34	44430	1850	5705,2	650	
M2/PANEL FOTOVOLTAICO	2,05	1822	3256	2416	2416	246	1288	12416	650	152	17	21673	902	278	317
% IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES CONSUMO COMPLETO	0,1400%	0,3353%	0,4703%	0,1109%	0,0257%	0,1184%	100%	100%	0,7139%	1,6668%	1,8689%	0,9431%	0,0288%	1,1697%	
% CONSUMO DE CALERACIÓN	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	94,02%	100%	
% CONSUMO DE REFRIGUERACIÓN	100%	100%	100%	100%	89,40%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	53,15%	100%	
M2/AEROGENERADOR	4,05	900	1648	1223	1223	124	652	6285	329	77	8	10970	457	141	160
				FNCE AL 100%			MAYOR DE 180% FNCE					FNCE PARA CALEFACCION Y REFRIGUERACION			

Fuente: Elaboración propia

- Dos (2) potenciales clientes (Secretaría Distrital de Salud y Secretaría Distrital de movilidad), cumplen el 100% de demanda total del edificio, calefacción y refrigeración por medio de fuentes no convencionales de energía.
- Dos (2) potenciales clientes (Clínica Specialized de Colombia y Fondo Nacional De Ahorros de Puente Aranda), cumplen 100% demanda de calefacción, refrigeración y el 0,02 de la demanda eléctrica total del edificio.
- Diez (10) potenciales clientes (Centro Comercial Plaza Central, Centro comercial Outlet Factory, Centro comercial Gran Estación 2, Hospital Mederi, Secretaria Distrital de Seguridad, Secretaría Distrital de seguridad, Sena de puente Aranda, Corferias, Dirección dentro de rehabilitación inclusiva, centro financiero). cumplen el 80% de la demanda de calefacción, refrigeración y el 1,86 % promedio de la demanda eléctrica total del edificio.
- Se identificaron de los catorce (14) posibles clientes, diez de ellos según el análisis se pueden implementar en diez (10) de los posibles cliente distritos térmico intramurales: uno (1) cumplen 100% demanda de calefacción, refrigeración y el 0,02 de la demanda eléctrica total del edificio y nueve (9) que cumplen el 80% de la demanda de calefacción y refrigeración, y en cuatro (4) distritos térmicos extramurales, dos (2) de ellos cumplen el 100% de demanda total del edificio, calefacción y refrigeración por medio de fuentes no convencionales de energía y dos (2) cumplen el 80% de la demanda de calefacción, refrigeración y el 1,86 % promedio de la demanda eléctrica total del edificio.

Según la guía metodológica, se deben conocer las características de cada uno de los clientes., En la Figura 62 se especifican cada uno de los aspectos que se deben tener en cuenta para realizar una demanda de energía térmica, por un profesional ingeniero mecánico.



Figura 62. Items a caracterizar usuarios potenciales de un distrito térmico

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Para este caso de estudio se encuentra la información suministrada dentro en la matriz de análisis de potenciales clientes. Para plantear los parámetros arquitectónicos en un caso de estudio, se realiza el análisis del distrito térmico tres planteado, que corresponde a plantear un distrito térmico extramural por medio de una central térmica que distribuye calor y frío a la Secretaría Distrital de Salud, Secretaría Distrital de movilidad, Sena de Puente Aranda y Secretaría Distrital de Seguridad.

- Secretaría Distrital de Salud: Está localizada en Ak. 50 #2-21, es una entidad regulada por la alcaldía de Bogotá de uso administrativo en función de salud, tiene un área de construcción de 50,070 m<sup>2</sup> en 7 pisos de altura.

Tiene una demanda eléctrica de 986.846 kWh/año, una demanda de frío de 1,42 TR y demanda de calor de 0,01 MBtu, cuenta con equipos existente de HVAC.

Para cumplir la demanda energética por medio de fuentes no convencionales de energía, se deben instalar 901 paneles solares para este uso. La cubierta útil es óptima para la instalación de los paneles y la capacidad de generación energética, ya que esta localidad tiene gran potencial en energía solar.

- Secretaría Distrital de Movilidad: Está localizada en Cl. 13 #37-35, es una entidad regulada por la alcaldía de Bogotá, es la encargada de regular y controlar el tránsito de la ciudad. Su oficina central se encuentra en la localidad de Puente Aranda, tiene un área de 11,234 metros cuadrados en 2 pisos.

Tiene una demanda eléctrica de 22.041 kWh/año, una demanda de frío de 0,32 TR y demanda de calor de 0 MBtu, cuenta con equipos existente de HVAC.

Para cumplir la demanda energética por medio de fuentes no convencionales de energía, se deben instalar 203 paneles solares para el uso de energía solar. La cubierta útil es óptima para la instalación de los paneles y la capacidad de generación energética por medio de ellos ya que esta localidad tiene gran potencial en energía solar.

- Secretaria Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia: Está localizada en la localidad de puente Aranda en la dirección Av. El Dorado #57 83, es una entidad encargada de liderar, orientar y coordinar la formulación, la adopción y ejecución de políticas, planes, programas y proyectos dirigidos a garantizar la convivencia y la seguridad ciudadana y la preservación del orden público en la ciudad (Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia , 2017)

Tiene una demanda energética de 23.318.506 kWh/año, una demanda de frío 33,65 TR y una demanda de calor de 0,23 MBtu.

Para cumplir la demanda energética por medio de fuentes no convencionales de energía, se deben instalar 21.295 paneles solares para el uso de energía solar. El área útil de cubierta no tiene la capacidad para la instalación de la cobertura total del edificio, aunque sí se puede instalar los paneles fotovoltaicos para la demanda de calor y frío en el edificio.

- Sena (Servicio Nacional de Aprendizaje) de Puente Aranda: Está localizada en la localidad de Puente Aranda, en Cl. 13 #3199 31-1, centro de aprendizaje de la localidad que permite a los jóvenes la formación técnica, tecnológica en diferentes áreas de estudio. Tiene una demanda energética anual de 21.545.2711 Kwh y una demanda de frío de 2,97 TR y demanda de calor de 0,02 MBtu.

Para cumplir la demanda energética por medio de fuentes no convencionales de energía, se deben instalar 994 paneles solares para el uso de energía solar, el área útil de cubierta no tiene la capacidad para la instalación de la cobertura total del edificio, aunque sí se puede instalar los paneles fotovoltaicos para la demanda de calor y frío en el edificio.

Se debe calcular la demanda de precisión de la central térmica se requiere entender en detalle el cálculo para su aplicación en un proyecto real, es recomendable realizar revisiones más profundas en términos energéticos de cada cliente potencial, para realizar ajustes de carga estimada aplicables a la realidad de la central eléctrica. Las condiciones climatológicas de la ciudad también son un elemento importante al ajustar la carga térmica. Esto se determina durante los estudios de factibilidad, tomando como base la climatología de la ciudad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

## 7.6. Desarrollo de la propuesta arquitectónica

Para desarrollar el planteamiento de esquema básico arquitectónico (programa de necesidades, aparatos, áreas, zonificación y conexión) de los distritos térmicos propuestos, se realiza el análisis de un distrito térmico ya construido.

Se analizó el distrito térmico La Alpujarra, que como ya se mencionó, es un distrito térmico convencional localizado en Medellín, y operado por EPM, Empresas Públicas de Medellín).

El Distrito térmico La Alpujarra está localizado en Cl. 40a #5270 #52- a en Medellín, en un lote de 1315,94 m<sup>2</sup>, con una capacidad instalada de 3.600 TR- hora

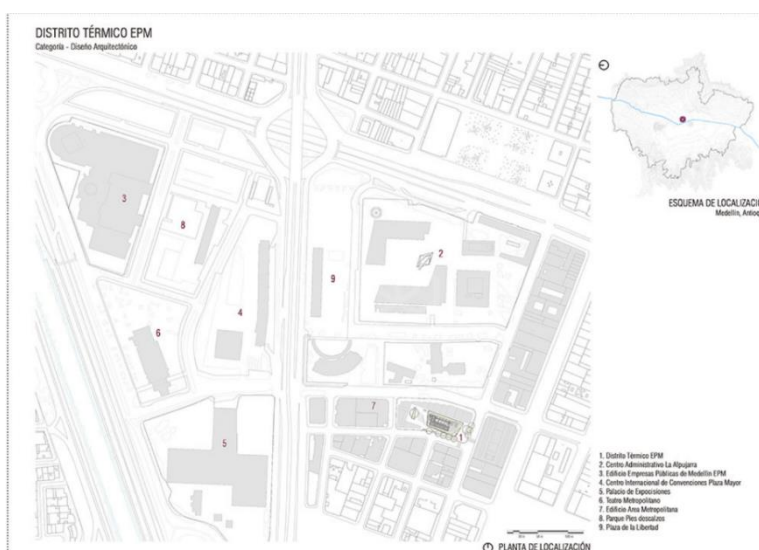


Figura 63. Localización distrito térmico La Alpujarra

Fuente: (Arquitectura Panamericana, 2018)

Este permite, por medio de la red distribución, conectarse con cinco entidades gubernamentales las cuales son: la Gobernación de Antioquia, el edificio del Municipio de Medellín y el edificio de la DIAN seccional Antioquia, hasta la central térmica “Distrito térmico La Alpujarra”

La infraestructura del distrito térmico cuenta con un sótano, dos pisos y cubierta.



- La planta de sótano tiene un área de 417,45 m<sup>2</sup> y 34,32 metros de altura. Se encuentra el anillo de distribución de agua helada, el taller de mantenimiento, equipos de control AA-RCI, cuartos técnicos de apoyo y tanques de suministro de la planta.

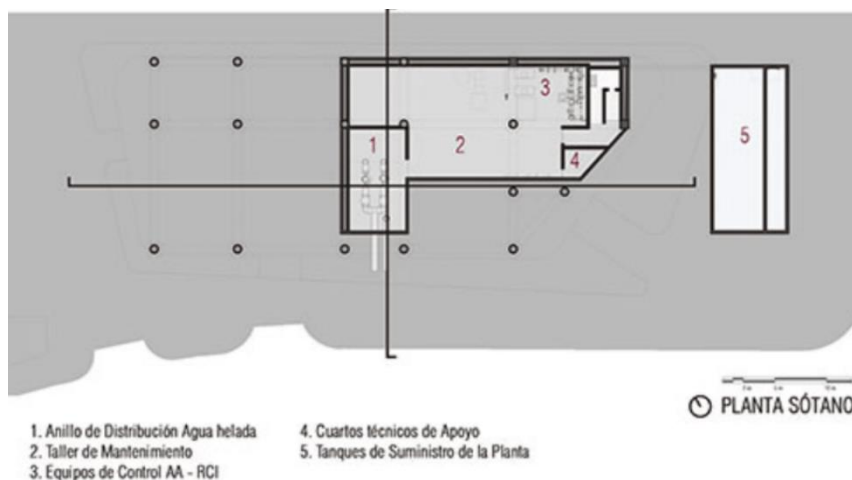


Figura 64. Planta sótano distrito térmico La Alpujarra

Fuente (Arquitectura Panamericana, 2018)

Tabla 12. Analisis planta sótano de distrito térmico La Alpujarra

SOTANO		AREA TOTAL	417,45
		ALTURA	4,32 m
ACTIVIDAD		AREA	
1	Anillo de distribución de agua helada	62,05 m2	
2	Taller de mantenimiento	170,01 M2	
3	Equipos de control AA -RCI	40,91 M2	
4	Cuartos tecnicos de apoyo	47,85 m2	
5	Tanques de suministro de la planta	107,12	

Fuente: Elaboración propia

- La planta de primer piso tiene un área de 843,02 m<sup>2</sup> con una altura de 8,26 metros, se localizan las siguientes zonas hall de acceso, planta de enfriamiento - *chillers*, anillo de distribución agua helada, microturbina de Co-generación, cuartos eléctricos de apoyo, patio de maniobras y plazoleta pública.

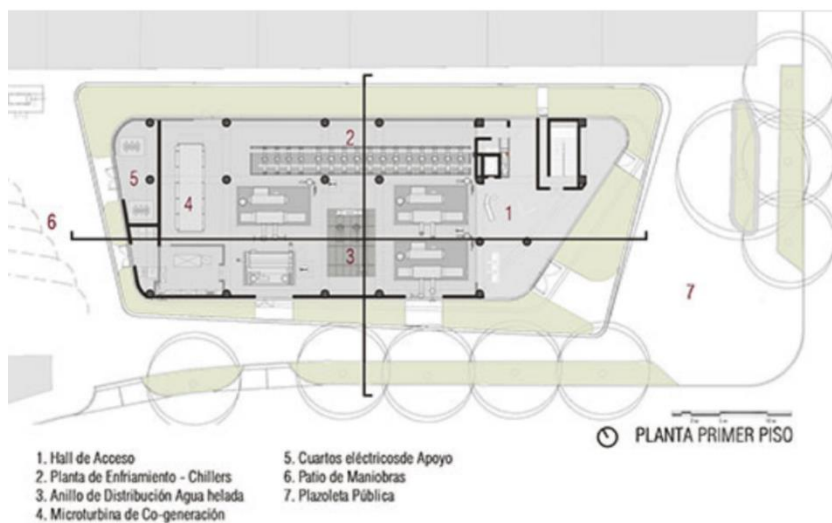


Figura 65. Planta primer piso distrito térmico La Alpujarra

Fuente. <https://bit.ly/3WdEedE>

Tabla 13. Análisis planta primer piso de distrito térmico La Alpujarra

PRIMER PISO		AREA TOTAL	843,02
		ALTURA	8,26 m
ACTIVIDAD		AREA	
1	Hall de acceso y administración	193,22 m <sup>2</sup>	
2	Planta de enfriamiento - chillers	159,62 m <sup>2</sup>	
3	Anillo de distribución agua helada	308,65 m <sup>2</sup>	
4	Microturbina de co-generación	117,54 m <sup>2</sup>	
5	Cuartos electricos	41,75 m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia

- La planta de segundo piso tiene un área de 843,02 m<sup>2</sup> y una altura de 5,56 metros. Se encuentra una zona de galería, una planta de enfriamiento *chillers*, un cuarto de control planta, oficinas administrativas y una sala de reuniones.

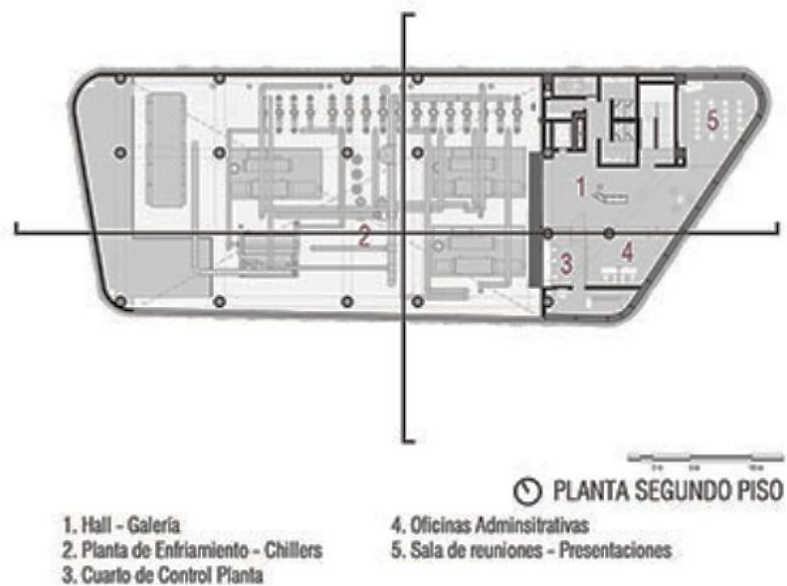


Figura 66. Planta segundo piso distrito térmico La Alpujarra

Fuente: (Arquitectura Panamericana, 2018)

Tabla 14. Análisis planta segundo piso de distrito térmico La Alpujarra

SEGUNDO PISO		AREA TOTAL	843,02
		ALTURA	5,56 m
ACTIVIDAD		AREA	
1	Planta de enfriamiento - chillers	647,43 m <sup>2</sup>	
2	Cuarto de control planta	29,15 m <sup>2</sup>	
3	oficinas administrativas	23,70 m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia

- La planta de cubierta tiene un área total de 843,02 m<sup>2</sup> y tiene localizada en ella las torres de enfriamiento, ups, equipos de control AA, una chimenea microturbina de generación y un cuarto técnico.

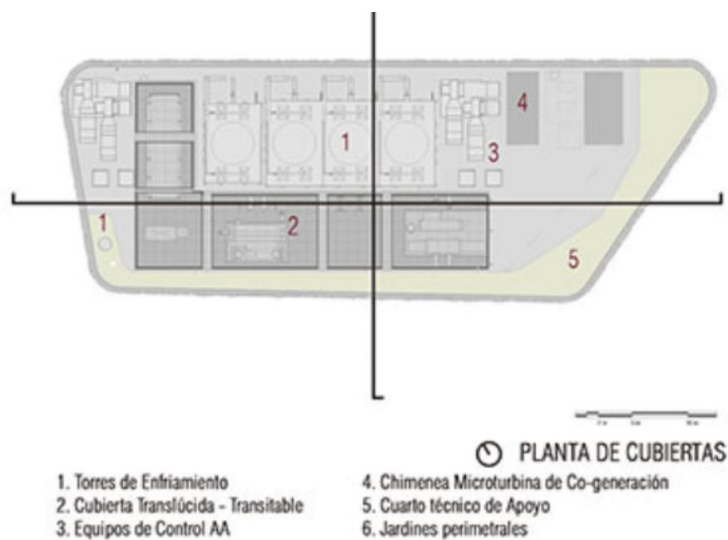


Figura 67. Planta cubierta distrito térmico La Alpujarra

Fuente: (Arquitectura Panamericana, 2018)

Tabla 15. Análisis planta cubierta de distrito térmico La Alpujarra

CUBIERTA		AREA TOTAL	843,02
ACTIVIDAD		AREA	ALTURA
1	Torres de enfriamiento	257,95 m	
2	Equipos de control AA	54,49 m	
3	Chimenea microturbinas	37,72 m	
4	Cuarto tecnico	47,85 m	

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, el distrito térmico La Alpujarra cuenta con dos subestaciones de transferencia, un sistema de generación, un sistema de postcombustión con un quemador en vena de aire, una estación de R& M de gas natural, estas se conectan a los diferentes *chillers* eléctricos de NH<sub>3</sub> y a un *chiller* de absorción de LiBr para la producción de agua fría del distrito térmico y el retorno con el intercambiador de calor para agua caliente.

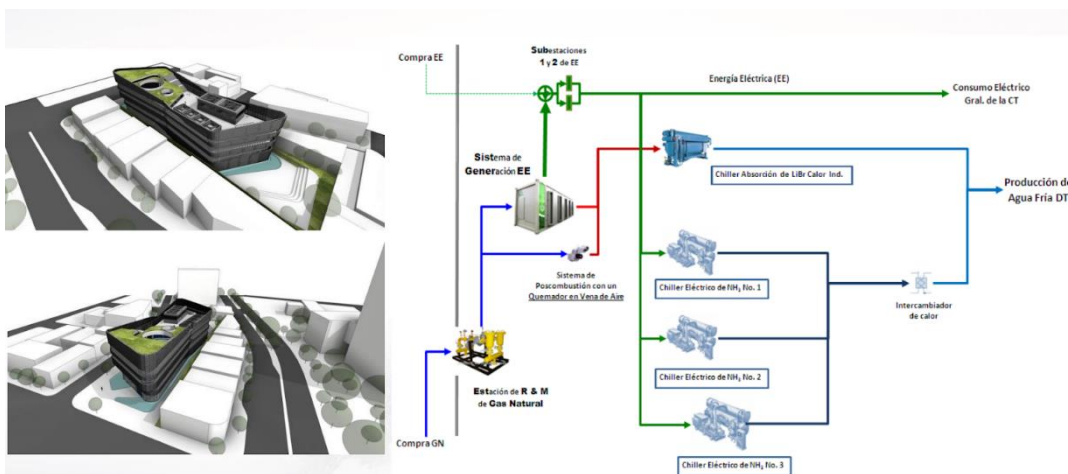


Figura 68. Características técnicas de La Alpujarra

Fuente. <https://bit.ly/3DfbZCv>

Con el análisis realizado del distrito térmico La Alpujarra se puede realizar el dimensionamiento previo de los dos casos de estudio:

Para el caso del distrito térmico extramural, se realiza un análisis del perímetro urbano, con un radio de 200 metros de los potenciales clientes para ubicar vacíos urbanos, o lotes que puedan ser utilizados como sitio de implantación de la central térmica. con el fin de conectar por medio de una central térmica que distribuye calor y frío a la Secretaría Distrital de Salud, Secretaría Distrital de movilidad, Sena de Puente Aranda y Secretaría Distrital de Seguridad.

Se plantea una ficha técnica que permite caracterizar todo el planteamiento del distrito térmico, en el Anexo 15 se puede evidenciar la ubicación, la red de distribución desde la central térmica a los clientes, la demanda energética de la central y la demanda de climatización de refrigeración y calefacción. Se hace un análisis de la cantidad de paneles y aerogeneradores que se deben utilizar.

Se realiza además una caracterización de equipos, actividades y áreas, teniendo en cuenta el análisis previo del distrito térmicos La Alpujarra, donde se describe el área promedio y la flexibilidad en la implementación de un distrito térmico como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 16. Características de programa de necesidades y su flexibilidad

ESPACIO	AREA (M2)	ALCANCE Y FLEXIBILIDAD
INVERSOR	3	Es un area aproximada tiene flexibilidad a las características de proveedor
CHILLERS DE ABSORCION	12	Flexibilidad proveedor / capacidad minima
CHILLERS ELECTRICO	37,2	Flexibilidad proveedor / capacidad minima
REGULADOR ELECTRICO	29,15	Flexibilidad a conexión entre aparatos
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	107,12	Flexibilidad depende la capacidad del distrito
CUARTO TECNICO	47,85	Area promedio / control
TORRE DE ENFRIAMIENTO	257,95	Area minima por capacidad
BOMBAS	40,91	Area minima por capacidad
Equipos de control AA	54,49	Estándar
TURBINA A GAS	117,54	Estándar

Fuente. Elaboración propia

Se propone por ello una zonificación esquemática de la distribución de los equipos y zonas del distrito térmico. Dentro del predio seleccionado para situar la central térmica, como se puede observar en la siguiente imagen.



Figura 69. Zonificación distrito térmico propuesto

Fuente. Elaboración propia

De igual manera, se plantea la ubicación de los paneles fotovoltaicos en la cubierta del lote, con la proyección de la torre de enfriamiento, el cuarto AA y la zona de almacenamiento.

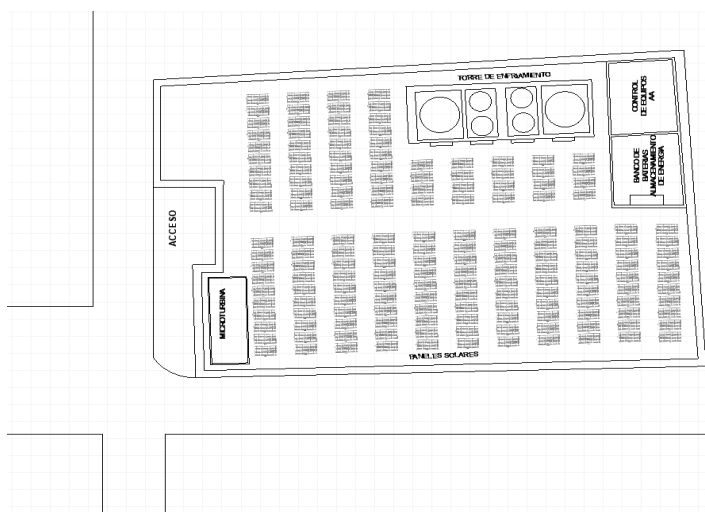


Figura 70. Planta de cubierta, implementando energía solar

Fuente. Elaboración propia

Para la conexión del anillo del distrito térmico se plantea la siguiente distribución de conexión de equipos por medio de energía solar.

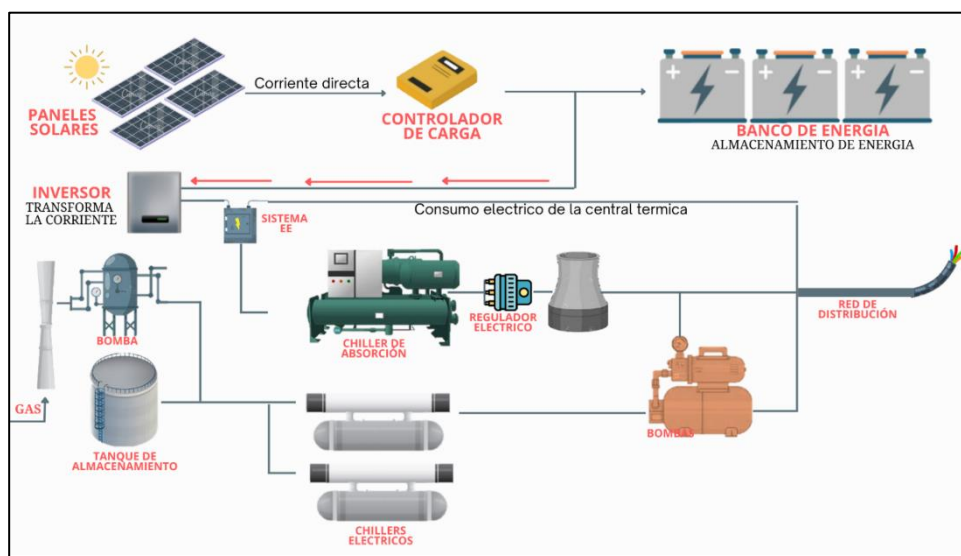


Figura 71. Conexión de equipos distrito térmico, uso de energía solar

Fuente. Elaboración propia

También, se plantea la ubicación de los aerogeneradores en la cubierta del lote, con la proyección de la torre de enfriamiento, el cuarto AA y la zona de almacenamiento

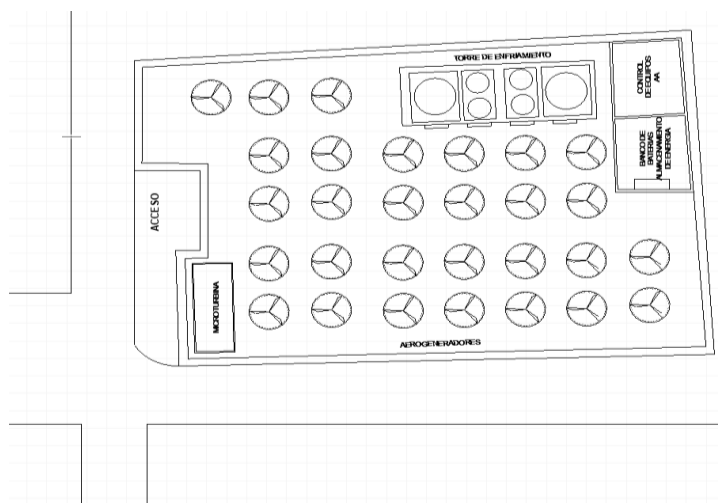


Figura 72. Planta de cubierta, implementando energía eólica

Fuente. Elaboración propia

Para la conexión del anillo del distrito térmico se plantea la siguiente distribución de conexión de equipos por medio de energía solar.

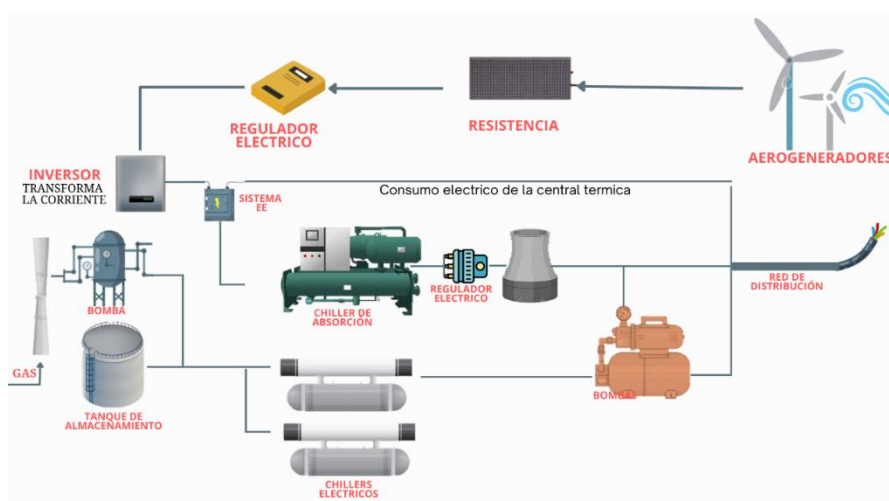


Figura 73. Conexión de equipos distrito térmico, uso de energía eólica

Fuente. Elaboración propia

Como resultado de la investigación, se plantea la siguiente ficha técnica donde se describen las características necesarias que se debe tener en cuenta para plantear un distrito térmico, por medio de fuentes no convencionales de energía. Es importante mencionar que este caso de estudio se tomó de manera teórica y se debe realizar un cálculo de cargas de manera más detallado, con base en datos suministrados por profesionales competentes del tema.



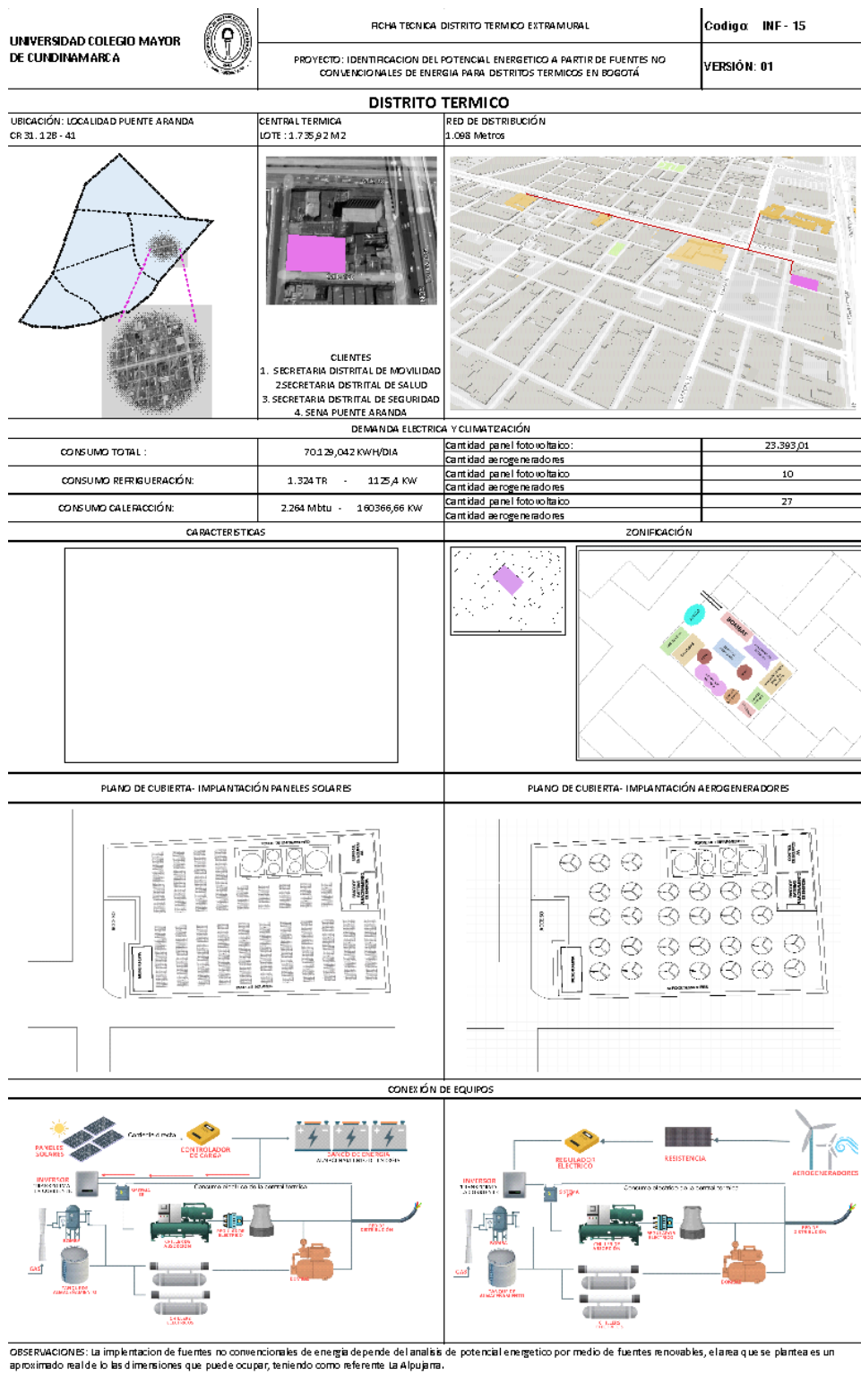


Figura 74. Ficha técnica distrito térmico caso de estudio

Fuente. Elaboración propia

### **7.7. Desarrollo evaluación viabilidad económica y financiera**

Luego de proponer el esquema básico arquitectónico a los potenciales clientes para los casos de estudio, se debe revisar el procedimiento para evaluar la viabilidad técnica, económica y comercial.

Según la Guía metodológica de distritos térmicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) marca diez parámetros para la evaluación de viabilidad teniendo en cuenta el impacto social, la reducción de gases de efecto invernadero y ozono, la red de distribución, la disponibilidad de un predio para la central térmica, el potencial de mejora en el coeficiente de desempeño del sistema en pesos colombianos, la posibilidad de combinar un distrito térmico con cogeneración o fuentes renovables, perfil de demanda diaria, demanda promedio anual, el interés de potenciales clientes y partes interesados y la densidad energética.

Como se observa en la siguiente Figura 75, esta evaluación de viabilidad la hace una entidad responsable es TRACTEBEL ENGINEERING S.A para el caso de distrito térmicos Colombia quien lo realiza.

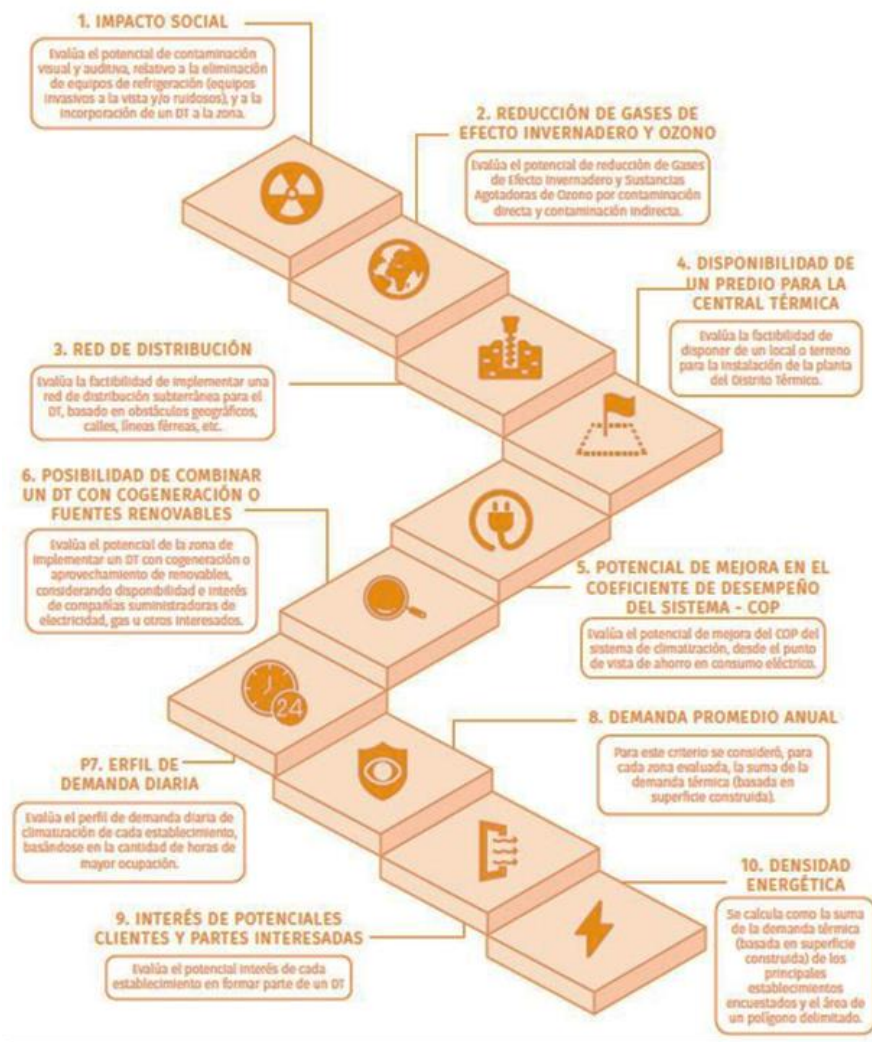


Figura 75. Procedimiento para evaluar la viabilidad técnica, económica y comercial de un proyecto de distrito térmico

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Para el caso de Bogotá, dentro de la fase I de la implementación de distritos térmicos de Colombia se realizó el estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito de esta naturaleza en Bogotá (Distritos Térmicos Colombia, 2020), donde este se toma como referente técnico y financiero para realizar un análisis económico del distrito propuesto en la fase I de la implementación, y se relaciona temas de evaluación económica, costos de operación, una comparación con el uso de aire acondicionado y su factibilidad.

Además, ellos determinan que el índice de costo del consumidor promedio es 4% anual lo que permite determinar que un análisis financiero a 0,3 o 5 años para un distrito térmico 100% eléctrico, esto teniendo en cuenta el precio de la electricidad.

En relación con el costo de la inversión ellos calculan la viabilidad económica de la implementación de distritos térmicos por medio de comparación con sistemas tradicionales, teniendo en cuenta estos factores para el análisis de inversión. El costo de desarrollo que incluye el costo del lote, la construcción, estudios y servicios, los costos directos comprenden los insumos para la central térmica, el sistema de distribución y el sistema de conexión. Los costos indirectos influyen transporte, seguros, garantías y obras temporales.

El equipo de Tractebel-Hinicio describe que el costo de la inversión final de la implementación de un distrito térmico depende de la capacidad instalada y de distancia de la red de distribución, con un costo total de inversión 12000 USD/TR.

Para el costo de operación se debe tener en cuenta los costos anuales de mantenimiento de todo el distrito térmico, los costos de agua, electricidad y gas natural si se utiliza cogeneración y los costos de administración, estos varían dependiendo de las tasas incrementos de precios. El costo de operación y mantenimiento anual para el Distrito Térmico varía entre 0.28 USD/TRh y 0.41 USD/TRh (Distritos Térmicos Colombia, 2020)

A pesar de que las instalaciones convencionales tienen mayor capacidad instalada respecto a un distrito térmico, estas producen mayor TR de frío y unos beneficios ambientales y de eficiencia energética bastante amplios.

Puesto que el costo de un sistema convencional con una duración de 30 años es de 11,205 USD/TR, en cambio la implementación de un distrito térmico con la misma vida útil es menor con un costo de 7,374 USD/TR. Puesto que a mayor capacidad de la central térmica mayor

densidad de demanda de frío y en temas económicos predomina (Distritos Térmicos Colombia, 2020).

En la Figura 76, se evidencia la vida útil de un distrito térmico en comparación con un sistema convencional.

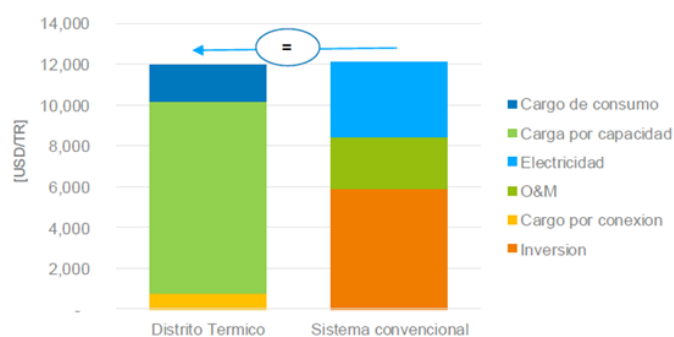


Figura 76. Comparación sobre la vida útil de 30 años del distrito térmico con sistema convencional [USD/TR], Tractebel-Hinicio (2018).

Fuente: (Distritos Térmicos Colombia, 2020).

Se podría incorporar una evaluación de índices de eficiencia energética y medioambiental donde se pueda revisar los parámetros de rendimiento de los distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía para realizar lo anterior se debe tener en cuenta:

*Energía solar:* por medio de paneles solares en la evaluación técnica se deben considerar los siguientes criterios: el tamaño del proyecto, la localización del proyecto y del cuarto de almacenamiento, los cálculos de generación, las condiciones climáticas, inclinación y orientación, la capacidad de las baterías y las acometidas.

De otro lado, para la evaluación financiera se debe revisar la demanda del mercado, los productos y cada una de las fichas técnicas para determinar costos de inversión total, mantenimiento y valores de instalación

El estudio de beneficios económicos, TIR (tasa interna de retorno), VPN /valor presente neto) y TIO (la tasa interna de oportunidad) <sup>6</sup>

- *Energía eólica*: el estudio de viabilidad técnica y económica se debe conocer los parámetros del proyecto, determinar el potencial eólico, la dirección de viento y cuantificar la energía. La viabilidad económica se debe realizar el flujo de inversión evaluados TIR (tasa interna de retorno), VPN /valor presente neto), TIO (la tasa interna de oportunidad), PRI (periodo de inversión) y CNE (Costo nivelado de inversión)<sup>7</sup>

De igual manera, los rendimientos de la central térmica y sus equipos de manera individual permiten calcular la eficiencia de cada uno de ellos y los índices de energía primaria.

Como resultado de la investigación, se plantean los siguientes pasos metodológicos para implementar distritos térmicos utilizando fuentes no convencionales de energía por medio de fuentes no convencionales de energía, que se observa en la Figura 77.

---

<sup>6</sup> Para más información, consulte: [http://t.ly/n\\_hQ](http://t.ly/n_hQ)

<sup>7</sup> Para más información, consulte <https://bit.ly/3Nh2mbe>

## PASOS METODOLOGICOS PARA IMPLEMENTAR DISTRITOS TÉRMICOS POR MEDIO DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA.



### IDENTIFICAR

LA CIUDAD DE ESTUDIO

1







### ANALIZAR

LA DIVISIÓN TERRITORIAL Y ADMINISTRATIVA



2

### CARACTERIZAR

 LOCALIZACIÓN  
 USO EDIFICATORIO  
 TRATAMIENTO URBANO  
 T.C SERVICIOS PUBLICOS  
 CONSUMO DE ENERGIA  
 CONSUMO DE AGUA

3

### IDENTIFICAR






MAYOR Y MENOR CONSUMO ENERGETICO KW/AÑO POR DIVISIÓN.



4

### ESTUDIO

CONDICIONES CLIMATICAS

-  TEMPERATURA
-  PRECIPITACIÓN
-  HUMEDAD RELATIVA
-  RADIACIÓN SOLAR
-  VELOCIDAD DEL VIENTO

5

### IDENTIFICAR

POTENCIAL ENERGETICO POR MEDIO DE FNCE



6

### VERIFICAR

ESTUDIOS PRELIMINARES DE IMPLEMENTACIÓN DE FNCE



7

### CARACTERIZAR

POTENCIAL ENERGETICO POR MEDIO DE FNCE IDENTIFICAR ZONAS CON MAYOR Y MENOR POTENCIAL

8

**IDENTIFICAR**

LAS ZONAS DE ALTO POTENCIAL

- ALTA DENSIDAD DE CONSTRUCCIÓN
- BAJA PRESENCIA DE OBSTACULOS
- CONOCIMIENTO DE REDES PREEXISTENTES
- ALTO CONSUMO DE ENERGIA
- ACCESO A RECURSOS ENERGETICOS

**9****ESTABLECER**

POTENCIALES CLIENTES EN CADA ZONA- CARACTERISTICAS

- ALTO CONSUMO DE ENERGIA
- TARIFAS DE SERVICIOS PUBLICOS
- EQUIPOS EXISTENTES HVAC
- EDAD DE LOS SISTEMAS

**10****ANALIZAR**


POTENCIALES CLIENTES SELCCIONADOS

- UBICACIÓN
- TRATAMIENTO URBANO
- TIPO DE EDIFICACIÓN
- PISOS
- METROS CUADRADOS
- CONSUMO ENERGETICO KWH/AÑO
- DEMANDA DE HVAC
- TIPO DE DISTRITO
- RADIO DE INFLUENCIA
- DISPONIBILIDAD DE PREDIOS
- EFECTO SOMBRA

**11****CALCULAR**

DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN

- DEMANDA DE REFRIGUERACIÓN POR TR
- DEMANDA DE CALEFACCIÓN MBtu

**12****REVIZAR**CALIDAD DE CUBIERTA  
M2 AREA UTIL**13****CALCULAR**NUMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS 

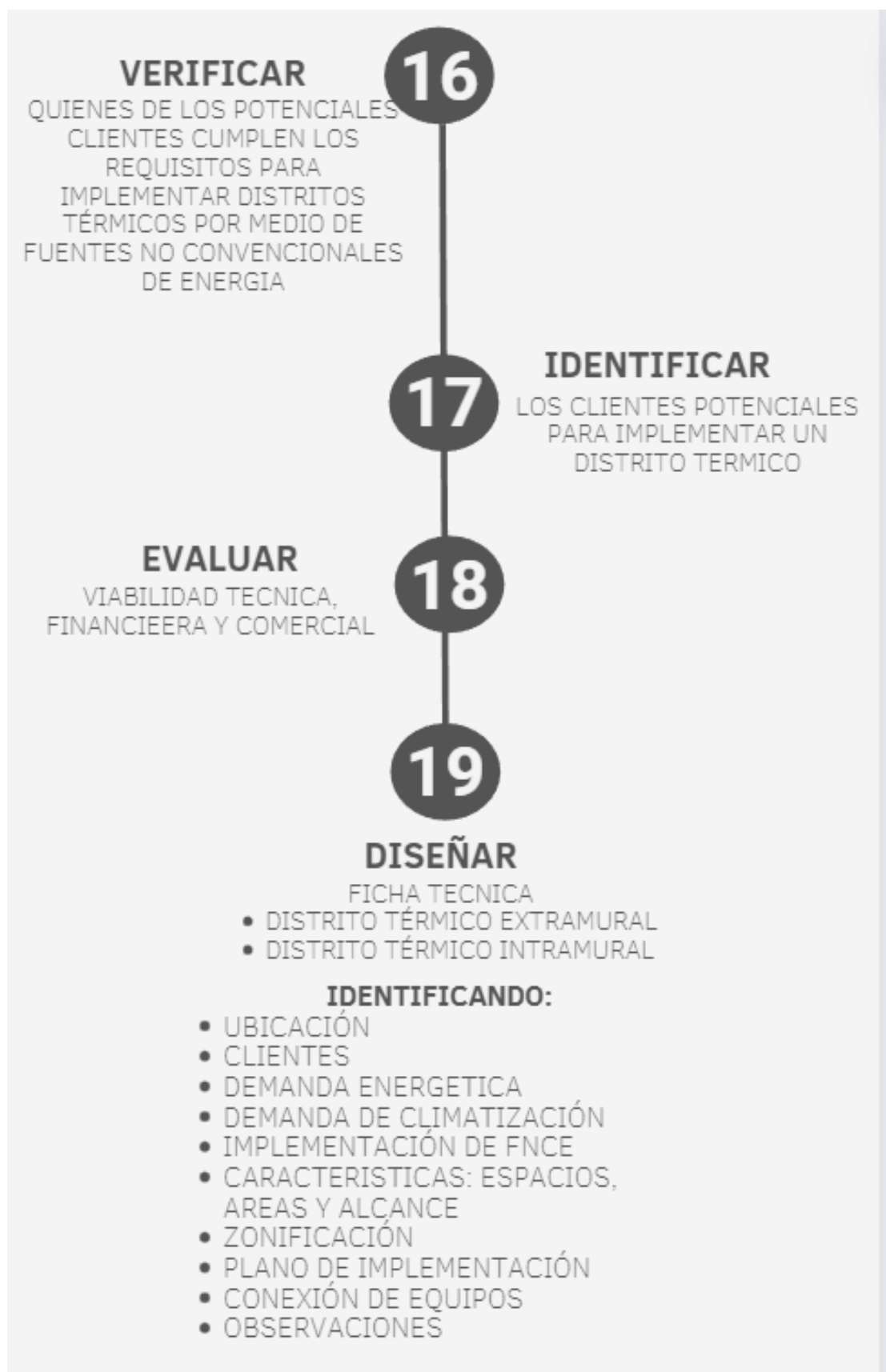
- CONSUMO ENERGETICO
- CONSUMO REFRIGUERACIÓN
- CONSUMO CALEFACCIÓN

**14****CALCULAR**

NUMERO DE AEROGENERADORES POR M2

**15**





*Figura 77. Pasos metodológicos 1 –19*

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se realizará una síntesis de cada uno de los pasos y como dentro de la investigación realizada se pueden determinar.

- Identificar la ciudad estudio dónde se implementarán, su normativa e información de interés.

- Analizar la división territorial o administrativa del lugar, ya sea por localidades como el caso de estudio. Se debe resaltar que se puede realizar por barrios, comunas, etc.
- Caracterizar la subdivisión urbana para conocer el lugar: localización, área urbana, personas, viviendas, uso edificatorio, tratamiento, tasa de cobertura de servicios públicos, consumo de energía kW, pueden remitirse al capítulo 7.1 como referencia.
- Observar e identificar el consumo energético de cada una de las divisiones e identificar cuáles de ellas tienen mayor y menor consumo, y aquella que predomina en el uso edificatorio.
- Realizar un estudio de las condiciones climáticas del lugar, se revisan las estaciones meteorológicas y estudios oficiales con el fin de reunir la siguiente información: temperatura, precipitación, velocidad del aire, radiación solar, presión y humedad relativa, para identificar cómo se comporta la ciudad. Para mayor información se pueden remitir al capítulo 7.2.
- Identificar el potencial por medio de fuentes no convencionales de energía, se toma como referencia los datos climáticos para evidenciar cual es el más predominante y aquel que se puede implementar en el lugar objeto de estudio.
- Verificar los estudios previos en relación con el uso de fuentes no convencionales de energía con el fin de alinear la información y esta sea de mayor veracidad.
- Caracterizar el potencial energético para implementar fuentes no convencionales de energía en el lugar y ubicar las zonas con mayor y menor potencial.
- Identificar las zonas de alto potencial para implementar distritos térmicos, ubicar las zonas de alta densidad de construcción, baja presencia de obstáculos, conocimientos de redes preexistentes, alto consumo de energía y acceso a recursos energéticos.

- Examinar la ciudad o las zonas e identificar los potenciales clientes para ubicar un distrito térmico. Es ahí donde se debe examinar usos edificatorios de alto consumo energético, uso de equipos HVAC, la edad de estos sistemas y sus requerimientos.
- Analizar cada uno de los clientes seleccionados respecto a su ubicación, tratamiento urbano, tipo de edificación, pisos, metros cuadrados, consumo energético, demanda de HVAC, tipo de distrito, radio de influencia, disponibilidad de predios, redes preexistentes y efecto sombra con el fin de conocer cada una de ellas, con el fin de calcular la demanda de climatización de cada uno de los clientes.
- Realizar un estudio de la edificación con el fin de identificar la calidad de cubierta para la implementación de distritos térmicos.
- Es importante mencionar que cuando se plantea un distrito térmico desde la planeación se facilita cada uno de los pasos ya que la instalación es más fácil.
- Calcular la cantidad de paneles solares que requiere para suplir el consumo total del edificio o la demanda de climatización, para referenciar se pueden remitir al capítulo 7.6.
- Calcular de igual manera, se calcula el número de aerogeneradores por el área de cubierta esto es útil para implementar y calcular el porcentaje de generación eléctrica
- Luego de realizar el estudio de cada uno de los clientes, se verifica quiénes de ellos cumplen los requisitos para implementar un distrito térmico por medio de fuentes no convencionales de energía.
- Identificar los clientes potenciales para implementar un distrito térmico.

- Evaluar la viabilidad técnica, financiera y comercial de la implementación del distrito térmico y sus clientes, en este aspecto es importante revisar las inversiones, las tasas de retorno, la aplicabilidad técnica y las ventajas que tiene hacerlo.
- Diseñar el paso a paso para la implementación de un distrito térmico, las características, las fuentes, los clientes y la ubicación, con el fin de plantear la zonificación, la implementación de fuentes no convencionales de energía y la conexión de equipos y las respectivas observaciones.

## 8. Conclusiones y aportes

Tras la realización de este trabajo se han obtenido una serie de conclusiones, las cuales se presentan a continuación:

- En general, se evidencia que la ciudad de Bogotá, como un centro dinamizador económico, industrial, residencial y comercial tiene distribuido a lo largo de la ciudad su consumo energético, este se centraliza en las localidades de Puente Aranda, Chapinero, Antonio Nariño, Santa fe y La Candelaria, con mayor predominancia en usos edificatorio, comercial, administrativo e industrial.
- Se concluye que, a partir de las diferentes fuentes de investigación consultadas, no existe una homogeneidad en los datos obtenidos sobre las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá, esto con el fin de conocer la viabilidad de la implementación de generación energética a través de las fuentes no convencionales de energía estudiadas.

Se puede concluir que al analizar el potencial energético de diferentes fuentes no convencionales la más apta para la implementación en Bogotá es la energía fotovoltaica, ya que sus condiciones climáticas específicamente la radiación solar que tiene un resultado de 6843 Kwh permite el aprovechamiento de esta para articularla al funcionamiento de distritos térmicos como fuente primaria de energía. De igual manera dentro del estudio se evidencia la posibilidad de la aplicación de energía eólica a menor escala es decir con la implementación de aerogeneradores que puedan ser utilizados por las condiciones climáticas especialmente por la velocidad del viento que asciende a 7,7 m/s en la ciudad de Bogotá.

Se debe caracterizar los potenciales clientes para implementar distritos térmicos por medio de un análisis de su uso edificatorio, su ubicación, la demanda de calefacción, refrigeración, energía y su capacidad de instalación, posteriormente de reconocer el potencial energético de la fuente de energía aplicable en la localidad y así ubicar los distritos térmicos aptos para implementar distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía.

Sin embargo, es posible que dependiendo de los contextos específicos y de una investigación más detallada se pueda encontrar otros tipos de fuentes no convencionales de energía que potencialmente pueden ser utilizados en el sistema de distritos térmicos.

- Al desarrollar el modelo teórico de distrito térmico se demostró como a partir de un proceso metodológico se pueden plantear modelos de distritos térmicos, que puedan ayudar al desarrollo sostenible de las ciudades colombianas a partir de fuentes no convencionales de energía y dónde éstas vislumbren la generación energética de la totalidad de los sistemas de climatización.

- Por otra parte, se considera cumplido el objetivo de generar los pasos metodológicos para ser replicables en otras ciudades de Colombia, a través de los cuales se obtenga la identificación del potencial de generación de energía por medio de fuentes no convencionales.

Es importante resaltar que el estudio manifiesta que, aunque Bogotá se pueda identificar con un clima único, las características geográficas y ambientales demuestran que no todos sus sectores tienen las mismas características climáticas. Por lo tanto, se hace necesario realizar un estudio específico por zonas, con el fin de analizarla en detalle.

- Durante el desarrollo investigativo se evidenció la carencia de estudios de las características climáticas de las localidades, y fuentes no convencionales de

energía, al igual que el dimensionamiento previo de áreas y esquema de implementación de un distrito térmico. Para dar respuesta, se plantea la metodología de un modelo teórico de distrito térmico, por medio de fuentes no convencionales de energía.

Como aporte de la investigación se resaltan los procesos metodológicos de planificación de distritos térmicos. Se recomienda implementar la metodología propuesta para articular las fuentes no convencionales de energía, como el fin de aportar a la climatización sostenible, la reducción de gases efecto invernadero y aumentar la eficiencia en los procesos y en la calidad del servicio.

Se sugiere tener en cuenta para próximas investigaciones:

- Impulsar la implementación de fuentes no convencionales de energía en sistemas industrializados; así como para el consumo de HVAC como una solución sostenible.
- Articular clientes de sistemas de HVAC, para conectarlos de tal manera que conozcan los beneficios de los distritos térmicos para el cliente y el medio ambiente.
- Para el caso de Bogotá, se sugiere hacer un análisis de las otras localidades con potencial energético encontradas en este estudio, o macroproyectos, para estudiar la viabilidad de implementación de distritos térmicos por medio de fuentes no convencionales de energía.



### Referencias Bibliográficas

- Agronet. (20 de mayo de 2021). *Colombia, con alto potencial para aprovechar energías marinas*. Obtenido de Agencia de Noticias UNAL: <https://t.ly/eETK>
- Aguilera, J., & Hontoria, L. (2011). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. España: Escuela Politécnica Superior.
- AIGUASOL. (2011). *Guía básica de redes de distrito de calor y de frío*. Obtenido de AIGUASOL Sistemes Avançats d'Energia Solar Tèrmica: [t.ly/2l-x](https://t.ly/2l-x)
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020). *Informe de resultados sobre los indicadores de consumo de agua y energía eléctrica en Bogotá 2021-2019*. Bogotá: La Alcaldía.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022a). *Plan de Acción Climática Bogotá 2020-2050*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022b). *Reglamentación ecourbanismo y construcción sostenible*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Arnabat, I. (diciembre de 2007). *Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción*. Obtenido de Calor Y Frío: [t.ly/wWga](https://t.ly/wWga)
- Arquitectura Panamericana. (2018). *Distrito térmico EPM*. Obtenido de Archivo BAQ: <https://bit.ly/3WdEedE>
- Bueno, M., Rodríguez, L. C., & Rodríguez, P. J. (2016). Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema eléctrico colombiano. *Ingeniería y Desarrollo*, 34(2), 397-419.
- Builes, L. (2021). *Conexión Proyectos Residenciales Distrito térmico Serena del mar*. Bogotá: Celsia.

- Cardona, A., & Sepúlveda, L. (2016). *Sustrato inmaduro en suelo y combustión de biomasa leñosa, a partir del aprovechamiento de residuos de corte de césped y poda de árboles*. Caldas, Antioquia : Corporación Universitaria Lasallista.
- Carmona, M. (2021). *Estudio preliminar de viabilidad de un sistema de district heating geotérmico aprovechando sistemas mineros abandonados*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.
- Celsia. (1 de noviembre de 2017). *Celsia pone en operación su primer Distrito Térmico en Colombia*. Obtenido de Celsia: <https://t.ly/JTMB>
- Celsia. (6 de diciembre de 2017). *Qué es un Distrito térmico y cómo ayuda a la sostenibilidad en construcciones*. Obtenido de Celsia S.A. E.S.P.: <https://t.ly/D9VM>
- Celsia. (5 de mayo de 2018). *Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?* Obtenido de Celsia: <https://bit.ly/3W2qGjV>
- CELSIA. (s.f.). *Distrito Térmico*. Medellín: Celsia.
- Chapman, R. N. (1989). Development of sizing nomograms for stand-alone photovoltaic/storage systems. *Solar Energy*, 43(2), 71-76.
- Colombia Travel & Vacations Group. (21 de noviembre de 2022). *Datos Útiles para ir de vacaciones a Bogotá*. Obtenido de El turismo en Colombia: [t.ly/IeFF](https://t.ly/IeFF)
- Comisión de regulación de energía y gas. (2010). *Resolución 5 de 2010*. Bogotá: Diario Oficial No. 47.621 de 12 de febrero de 2010.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). *Resolución 020 de 2018*. Bogotá: La Comisión.
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia Política*, 13(25), 107-125. doi:<https://doi.org/10.15446/cp.v12n25.70257>

- DANE. (2005). *censo General 2005*. Obtenido de DANE: [t.ly/w0M2](https://t.ly/w0M2)
- Danfoss. (s.f.). *District energy*. Obtenido de Danfoss: [t.ly/0UkU](https://t.ly/0UkU)
- DH Ecoenergías. (2019). *Solución para la situación energética actual*. Obtenido de DH Ecoenergías: <https://bit.ly/3EJd1HM>
- District heating and Cooling. (agosto de 2017). *Services industriels de Genève*. Obtenido de District heating and Cooling: <https://bit.ly/3OGuvZM>
- Distrito Energético. (2021). *Conexión Proyectos Residenciales. Distrito térmico Serena del Mar*. Obtenido de Distrito Energético: [t.ly/5RjN](https://t.ly/5RjN)
- Distritos térmicos. (diciembre de 2018). *La industria creciente de los distritos térmicos en la región*. Obtenido de Distritos térmicos: <https://bit.ly/3XZQ9g1>
- Distritos Térmicos. (2022). *¿Qué son los distritos térmicos y para qué sirven?* Obtenido de Distritos Térmicos: <https://bit.ly/3EORKw8>
- Distritos Térmicos. (2022). *Distritos Térmicos*. Obtenido de [www.distritoenergetico.com/](http://www.distritoenergetico.com/): [t.ly/gmWS](https://t.ly/gmWS)
- Distritos Térmicos Colombia. (2020). *Estudio de viabilidad técnica, comercial y financiera para un distrito térmico en Bogotá*. Bogotá: Distritos Térmicos Colombia.
- Distritos térmicos Colombia. (2021). *Distritos térmicos en Colombia*. Obtenido de <https://www.distritoenergetico.com/>: [t.ly/8Qak](https://t.ly/8Qak)
- Distritos Térmicos Colombia. (2022a). *Materialización del distrito térmico: componentes*. Obtenido de Distritos Térmicos Colombia: <https://t.ly/-7Lh>
- Distritos Térmicos Colombia. (2022b). *Donostia-San Sebastián pone en marcha un centro de producción de Energía District Heating*. Obtenido de Distritos Térmicos Colombia : <https://t.ly/cY3C>

Distritos Térmicos Colombia. (2022c). *Fase II*. Obtenido de Distritos Térmicos Colombia:

<https://t.ly/vK4l>

Distritos Térmicos Colombia. (2022c). *Pasos para poner en marcha un distrito térmico*.

Obtenido de Distritos Térmicos Colombia: [t.ly/dRY5](https://t.ly/dRY5)

Distritos Térmicos Colombia. (2022d). *Fase I*. Obtenido de Distritos Térmicos Colombia:

[t.ly/E1YZ](https://t.ly/E1YZ)

Distritos térmicos Colombia. (2022e). *¿Porqué necesitamos los Distritos Térmicos en*

*Colombia?* Obtenido de Distritos térmicos Colombia: [t.ly/8xNu](https://t.ly/8xNu)

Distritos Térmicos Colombia. (2022f). *¿Porqué son importantes los distritos térmicos?* Obtenido

de Distritos Térmicos Colombia: [t.ly/Wnou3](https://t.ly/Wnou3)

DNP. (2018a). *Conpes 3934 sobre la Política de Crecimiento Verde*. Bogotá: Departamento

Nacional de Planeación.

DNP. (2018b). *Documento Conpes 3918. Estrategia para la implementación de los Objetivos de*

*Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

DNP. (2018c). *Documento Conpes 3919. Política Nacional de Edificaciones Sostenibles*.

Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

DNP. (2022). *Conpes 4075. Política de Transición Energética* . Bogotá: Departamento Nacional de Planeación .

El Congreso de Colombia. (2001). *Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Diario Oficial No. 44573 del 5 de octubre de 2001. AÑO CXXXVII.

El Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá: Diario Oficial 49150 de mayo 13 de 2014.

El Congreso de Colombia. (2021). *Ley 2169 de 2021. por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Diario oficial 51.896 22 de diciembre de 2021.

El Congreso de la República. (2021). *Ley 2099 de 2021 “Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones”*. Bogotá: El Congreso .

El Congreso de La República. (2021). *Ley 2099 de 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: El Congreso.

EPM. (3 de septiembre de 2015). *Inicia la construcción del Distrito Térmico La Alpujarra*.

Obtenido de Empresas Públicas de Medellín: [t.ly/GtDLo](https://t.ly/GtDLo)

Equipos y Laboratorio de Colombia. (s.f.). *Qué es la refrigeración por absorción*. Obtenido de Equipos y Laboratorio de Colombia: [t.ly/0Iz0](https://t.ly/0Iz0)

Escuela Técnica Superior de Arquitectura. (s.f.). *Instalaciones de Climatización*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Arquitectura: <https://bit.ly/3uy7Tl1>

Eseficiencia. (10 de marzo de 2022). *El proyecto Distritos Térmicos apuesta por la eficiencia energética y la sostenibilidad en diez ciudades de Colombia*. Obtenido de [www.eseficiencia.es](http://www.eseficiencia.es): <https://bit.ly/3ENamwq>

- Eseficiencia.es. (11 de junio de 2020). *Un campus universitario de Gotemburgo se convierte en distrito libre de combustibles fósiles*. Obtenido de Eseficiencia.es: <https://t.ly/xupU>
- Espiñeira, P. (10 de diciembre de 2020). *Climatización: tipos de sistemas de climatización para locales industriales, comerciales y viviendas*. Obtenido de Caloryfrio.com: [t.ly/Wl\\_x](https://t.ly/Wl_x)
- Fernández, J. (2008). *Guía completa de la energía solar fotovoltaica*. España: A. Madrid Vicente.
- Gobierno de España. (s.f.). *Barcelona y Districlima consolidan la red de calor y frío de la zona Fòrum y el 22@ con una nueva planta de generación*. Obtenido de Gobierno de España: <https://bit.ly/3W2C0fU>
- Gómez, F. (2007). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Leyer.
- Gonzales, V. (junio de 2021). *Energía mareomotriz*. Obtenido de Cite Energía: <https://bit.ly/3XBaNmi>
- González, M. A. (2013). *Instalación district heating con energía solar y almacenamiento estacional de calor*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Hernández, J. S., & Vallejo., W. (2010). Estudio del Recurso Solar en la Ciudad de Bogotá para el Diseño de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados Residenciales. *Revista Colombiana de Física*, 42(2), 161-165.
- IDAE. (2012). *Guía técnica. Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. España: Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) p.
- IDEA. (30 de noviembre de 2015). *District Energy in Cities*. Obtenido de International District Energy Association: [t.ly/igP1](https://t.ly/igP1)
- IDEAM. (2012). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Bogotá – Cundinamarca*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IPCC en español . (2022). *IPCC en español* . Obtenido de IPCC: [https://t.ly/P\\_16](https://t.ly/P_16)

Jaramillo, R. C. (2021). *¿Que es un distrito térmico?* Obtenido de Distritos Energéticos Colombia: [t.ly/LUAe](https://t.ly/LUAe)

Juanes, B. (2020). *Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

La Alcaldesa Mayor de Bogotá, D. C. (2021). *Decreto 555 de 2021 por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C*. Bogotá: La Alcaldía.

Ladrón de Guevara, J. A. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. España: Universidad Politécnica de Madrid.

Latin Energy Group. (diciembre de 2022). *La petrolera Ecopetrol duplicará su consumo de energías renovables en Colombia*. Obtenido de Latin Energy Group: <https://bit.ly/3V6s6dj>

Laudy, S. (28 de junio de 2016). *Red de District Heating & Cooling de Olot*. Obtenido de Construcción21: <https://bit.ly/3GSOyCr>

Lecciona. (26 de septiembre de 2022). *¿Qué es la energía eólica? Infórmate sobre un sector de gran futuro en Colombia*. Obtenido de Lecciona: <https://bit.ly/3FajxaG>

López, J. (2022). *Estudio de escenarios del comportamiento energético de un edificio de oficinas con sistema HVAC* . Bogotá.

Mayfield, J. (2020). *Análisis energético y ambiental mediante monitorización dinámica de un District Heating de biomasa en un Campus Universitario*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.

- Mejía, J. E., & Salazar, M. A. (2020). *José Enrique Mejía*. Piura: Universidad de Piura.
- Minambiente. (2015). *Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Minambiente. (2019). *¿Qué son y cómo funcionan los DT?* Bogotá: El Ministerio.
- Minambiente. (21 de junio de 2022). *Cartagena está lista para implementar un distrito térmico en el sector de Bocagrande*. Obtenido de Minambiente.gov.co: <https://t.ly/Mj4E>
- Ministerio de Ambiente . (2022). *Hoja de ruta de edificaciones neto cero carbono*. Bogotá: El Ministerio.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Distritos térmicos: Guía metodológica*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Mitigación de Gases de Efecto Invernadero – GEI*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://bit.ly/3uy6Dyj>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Distritos térmicos: Guía metodológica*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.: [t.ly/sIgZ](https://t.ly/sIgZ)
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá: El Ministerio.
- Ministerio de Minas y Energía. (22 de julio de 2022). *Colombia avanza en la regulación para la producción de hidrógeno de cero y bajas emisiones y el uso de geotermia*. Obtenido de Boletín informativo Minenergía: [t.ly/0hTt](https://t.ly/0hTt)
- Ministerio de Minas y Energía. (s.f.). *Proyecto de resolución por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas – RETSIT*. Bogotá: El Ministerio.



Ministerio de Minas y Energías. (2016). *Resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016*. Bogotá: El Ministerio.

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *¿Qué es el Cambio Climático?* Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente Chile: <https://t.ly/bo7K>

Monsolar.com. (s.f.). *Aerogenerador WIND 25.3+ de 5000W*. Obtenido de Monsolar.com: [t.ly/\\_m-C](https://t.ly/_m-C)

Monterrosa, H. (16 de marzo de 2018). *Colombia tiene potencial en el desarrollo de proyectos de energías renovables*. Obtenido de La República: <https://t.ly/s6Tr>

Moriarty, P. (2012). What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 244-252.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151>

Observatorio Ambiental de Bogotá. (mayo de 2020). *Consumo promedio per cápita de energía eléctrica en el sector público distrital 2008-2018*. Obtenido de Observatorio Ambiental de Bogotá: [t.ly/V8RM](https://t.ly/V8RM)

ONU. (2014). *Cumbre sobre el Clima 2014*. Obtenido de UN News Global perspective Human stories: [t.ly/iyDm](https://t.ly/iyDm)

Ortiz, T. A. (2019). *Factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la vereda de El Blanquecino, La Argentina (Huila)*. Neiva, Huila: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Perpiñán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de Oscar Perpiñán: <https://oscarperpinan.github.io/esf/>

Puerto, E. (2011). *Carta Psicrométrica*. Obtenido de efrainpuerto.files.wordpress.com: <https://bit.ly/3F9i6dK>

- Ryse Energy. (s.f.). *Atlas eólico y solar mundial*. Obtenido de Ryse Energy: [t.ly/MFPS](https://t.ly/MFPS)
- Sardón, J. M. (2003). Energías renovables para el desarrollo. En e. a. Crespo, *La energía eólica* (págs. 145-187). España: Paraninfo.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2017). *Monografía de Bogotá 2017*. Obtenido de Secretaría Distrital de Planeación: [t.ly/FwG6](https://t.ly/FwG6)
- Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia . (2017). *¿Cuáles son las funciones de la Secretaria Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia?* Obtenido de Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia : [t.ly/499-](https://t.ly/499-)
- Semana. (17 de mayo de 2022). *Centro comercial Plaza Central generará parte de su energía con paneles solares*. Obtenido de Semana: <https://bit.ly/3TJHnQF>
- Talavera, M. (2017). *Estudio de implantación de un parque eólico marino en la península Ibérica: Diseño, previsión de la producción en base al recurso y comparativa con otros emplazamientos*. Cantabria (España): Universidad de Cantabria.
- Tejero, A. (2012). *Reducción del consumo energético y emisiones de anhídrido carbónico en edificios combinando enfriamiento evaporativo, enfriamiento gratuito y recuperación de energía en sistemas todo aire*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- UNAL. (21 de marzo de 2019). *Ciudades son claves para una transición energética eficiente*. Obtenido de Instituto de Estudios Urbanos - IEU: [t.ly/Mr9I](https://t.ly/Mr9I)
- UNAL. (9 de abril de 2022). *Distritos térmicos, una alternativa para la climatización eficiente, según Cristina Mariaca, coordinadora técnica nacional del proyecto*. Obtenido de Instituto de Estudios Urbanos - IEU: [t.ly/aBjo](https://t.ly/aBjo)
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2022). *Resumen ejecutivo del Plan de Acción Indicativo PAI-PROURE 2021-2030*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero-Energética.

Universidad de Cantabria. (s.f.). *Cálculo de la energía generada*. Obtenido de Universidad de Cantabria: <https://bit.ly/3UgH8vZ>

Universidad Veracruzana. (2022). *¿Que es la Energía Eólica?* Obtenido de Universidad Veracruzana: <https://bit.ly/3Bhv9HJ>

UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.

UPME. (2018). *Resolución 463 de 2018*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.


UPME. (2019). *Plan energético nacional 2020- 2050*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.

UPME. (2020). *Resolución No. 000196 de 2020*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.


UPME. (2022). *Programa de uso racional y eficiente de la energía - PROURE*. Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética: [t.ly/\\_zO1](https://t.ly/_zO1)

## 9. Anexos


ANEXO INF 01 – Tabla de recolección de información referencial – artículos científicos.

		TABLA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN REFERENCIAL - ARTICULOS CIENTIFICOS							Codigo: INF - 01
		PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ							VERSIÓN: 01
CATEGORIA	TITULO	AÑO	AUTORES	FUENTE	PALABRAS CLAVES	APORTE	ARCHIVO		
1	Demanda de calor (Mapeo)	2021	Su, Chang Dalgren, Johan Palm, Björn	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689042100159X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689042100159X</a>	Demanda de calor, mapeo, distritos de calor, calefacción, sistema de información geográfica, fuentes de calefacción, emisiones	Identificación de zonas de calor dentro de límites urbanos - Geolocalización de potenciales térmicos - Suministro de calefacción por medio de distritos	PDF MENDELEY		
2	Demanda de calor (Mapeo)	2021	Vaisi, Salah Mohammadi, Saleh Habibi, Kyoumars	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5462">https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5462</a>	Modelado de energía térmica, mapeo de energía, eficiencia energética, potencial energético	Identificación de potencial energético por medio de mapeo energético, evaluar energía térmica de diferentes tipos de edificación edificaciones, identificación de demanda de energía. Cuantificar demanda energética y generación para evaluar estrategias	PDF MENDELEY		
3	Planificación de energía de distritos	2020	Polly, Ben Pless, Shanti Houssainy, Sammy Torcellini, Paul Livingood, William Zaleski, Sarah Junglaus, Matt Hootman, Tom Craig, Mindy	<a href="https://www.nrel.gov/docs/fv21osti/78495.pdf">https://www.nrel.gov/docs/fv21osti/78495.pdf</a>	Eficiencia energética, energías renovables, distritos térmicos,	Marco de referencia y guía para la implementación de distritos por medio de planificación técnica, financiera para identificar el alto rendimiento energético para los distritos de energía e implementando fuentes renovables y promoviendo los objetivos de energía cero, carbono neutral y sostenibilidad. Permitiendo distritos de energía con mayor rendimiento	PDF MENDELEY		
4	Demanda de calor (Mapeo)	2019	Chambers, Jonathan Narula, Kapil Sulzer, Matthias Patel, Martin K.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219306681">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219306681</a>	Demanda térmica, mapeo de potencial de calefacción, escenarios de ahorro, redes, generación de distrito	Como realizar un mapa de potencial de energía (ejemplo), métodos de demanda identificar zonas de calor, estrategia de distrito para una red de calefacción y refrigeración según climatología, atlas térmico	PDF MENDELEY		
5	Demanda de calor sostenibles	2022	Jodeiri, A. M. Goldsworthy, M. J. Buffa, S. Cozzini, M.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000843">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000843</a>	Almacenamiento de energía, calefacción urbana, fuentes no convencionales de energía distritos, sistemas de energía sostenible	Retos para la integración de fuentes de calor a sistemas de distritos de bajo consumo y energía sostenible, la implementación de fuentes no convencionales de energía en exploración	PDF MENDELEY		
6	Impactos / energía gas	2021	Meza, Abel Koç, Muammer	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142072030917X">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142072030917X</a>	Impactos potenciales, fuentes no convencionales, desarrollo sostenible, gas	Recursos de gas para el mercado, fuente de ingreso y ahorros, la implementación de fuentes no convencionales para la mitigación de impactos y generar estrategias energéticas de transición de energía.	PDF MENDELEY		
7	Fotovoltaica en Colombia (potencial)	2020	López, Andrea Ruiz Krumm, Alexandra Schattenhofer, Lukas Burandt, Thorsten Montoya, Felipe Corral Oberländer, Nora Oei, Pao Yu	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119315575">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119315575</a>	Energía fotovoltaica, transición energética, fuentes renovables	La implementación de fuentes no convencionales de energía es importante para la transición energética, la formulación de fotovoltaica a diferentes escalas, marcos regulatorios y financieros y revisar el potencial energético para la implementación	PDF MENDELEY		
8	Distritos térmicos	2021	Pelda, Johannes Holler, Stefan Persson, Urban	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221012664">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221012664</a>	Atlas de calefacción, desarrollo, potencial	Métrica para el sistema de calefacción y refrigeración, energía térmica atlas de calefacción urbana	PDF MENDELEY		
9	Calefacción urbana	2022	Finkenrath, Matthias Faber, Till Behrens, Fabian Leiprecht, Stefan	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222005692">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222005692</a>	Carga térmica, calefacción urbana, planta red	la optimización de instalación de red de calefacción y refrigeración, electricidad renovable	PDF MENDELEY		
10	Fuentes no convencionales de energía	2012	Moriarty, Patrick Honnery, Damon	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111003984#:~:text=Abstract,as%20the%20dominant%20energy%20source.">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111003984#:~:text=Abstract,as%20the%20dominant%20energy%20source.</a>	Energía renovable, potencial	Análisis energético, demanda, energías renovables, potencial energético a nivel global y la formulación de proyectos con energías renovables	PDF MENDELEY		
11	Distritos térmicos	2021	Saloux, Etienne Candanedo, José A.		energía solar, distritos térmicos, calefacción	Optimización y control de distritos de calefacción, sistemas para la generación de conocimientos	PDF MENDELEY		
12	Distritos térmicos	2021	Caputo, Paola Ferla, Giulio Bellardi, Marco Cereghetti, Nerio		distritos térmicos	escenarios de evaluación de la implementación de distritos de calefacción, información de interés para estudio referencial	PDF MENDELEY		
13	Distritos térmicos	2022	Hiris, Daniel P. Pop, Octavian G. Balan, Mugur C.						

ANEXO INF 02 – Tabla de recolección de información referencial – pdf sitios web, artículos, tesis y documentos.

 <b>TABLA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN REFERENCIAL - PDF SITIOS WEB, ARTICULOS, TESIS Y DOCUMENTOS</b>							Codigo: INF - 02
<b>PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ</b>							VERSIÓN: 01
CATEGORIA	TITULO	AÑO	AUTORES	PAG WEB	PALABRAS CLAVES	APORTE	ARCHIVO
Distritos termicos	Guia metodologica de distritos termicos	2019	Ministerio de ambiente y desarrollo	<a href="https://www.distritoenergetico.com/distritos-termicos-guia-metodologica/">https://www.distritoenergetico.com/distritos-termicos-guia-metodologica/</a>	distritos termicos	Guia para la implementacion, estructuracion de cada uno de los distritos termicos, sus fases y procesos para el desarrollo	PDF MENDELEY
Distritos termicos	Distritos Térmicos en Colombia	2020	Mayorga, Natalia	2nd Regional Conference on SWAC, OTEC and District Cooling Technologies in Latin America and the Caribbean	Dsitritos termicos,proyectos, cooperacioninfraestructura	terminos, tipos de distritos termicos, proyectos de implementacion de distritos termicos en colombia,marco nacional	PDF MENDELEY
Distritos termicos	Distritos Térmicos en Colombia.	2015	Empresas Públicas de Medellín [EPM]	PDF MENDELEY	Distritos termicos, sostenibilidad, desarrollo, proyectos y ciudades de implementacion	Marco referencial del proyecto de implementacion de fuentes no convencionales de energia, el desarrollo del distrito termico la alpujarra	PDF MENDELEY
Distritos termicos	Estudio de viabilidad tecnica, comercial y financiera	2020	Distritos termicos colombia, TRACTEBEL, HINICIO	PDF MENDELEY	Distritos termicos, caracterizacion, demanda estimada,fuentes de energia,impactos	Propuesta inicial del planteamiento de un distrito termico en Bogota, analisis ambiental, economico y tecnico de una zona especifica, planteamiento de especificaciones tecnicas	PDF MENDELEY
Distritos termicos	Diseño de un distrito termico para uso mixto en ciudades del caribe colombiano	2020	Daniel Barrera Navarro	Universidad del norte	Distritos termico, sistema acondicionado, energia electrica, sistemas de refrigeracion	La formulacion de distritos termicos en ciudades en colombia, teniendo las condiciones climaticas y cargas termicas	PDF MENDELEY
Energias renovables	EVOLUCIÓN DE LAS ENERGIAS RENOVABLES EN COLOMBIA Y SU IMPLICACIÓN PARA LA AGENDA 2030	2019	Julieth, JIMENEZ AREVALO leidy		energias renovables, desarrollo sostenible, agenda 2030, energia hidroelectrica y energia asequible	Fomentar la implementacion de fuentes renovables y limpias para la reduccion de impactos de los gases de efecto invernadero, la evolucion en colombia y como se articula a la agenda 2030	PDF MENDELEY
Analisis energetico /sistema acondicionado	Análisis energético de un sistema de acondicionamiento por absorción para diferentes zonas climáticas de Colombia	2022	Daniel Moreno Gaviria Jennifer Andrea Garzón Prada Trabajo	Universidad de Antiquia	Acondicionamiento de aire, analisis energetico y simulacion	analisis energetico de un sistema acondicionado por medio de fuentes no convencionales de energia en diferentes zonas climaticas	PDF MENDELEY
Potencial termico	Estimación del potencial geotérmico de baja entalpía para la ciudad de Bogotá y la Sabana de Bogotá usando bombas de calor de agua subterránea	2020	Ávila Briceño, Darío Alejandro	Universidade los andes	Potencial eotermico,bombas de calor,nivel estatico	Estimacion de potencial geotermico de algunas zonas de la periferia de bogota, areas potenciales para la implementacion de fuentes renovables de energia	PDF MENDELEY



**ANEXO INF 03 – Tabla de recolección de información normativa y entes nacionales y territoriales.**

		<b>TABLA DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN NORMATIVA Y ENTES NACIONALES Y TERRRITORIALES</b>					<b>Codigo:</b> INF - 03
		<b>PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ</b>					<b>VERSIÓN:</b> 01
<b>CATEGORIA</b>	<b>TITULO</b>	<b>AÑO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PALABRAS CLAVES</b>	<b>APORTE</b>	<b>ARCHIVO</b>	
1	Fuentes no convencionales de energia	Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia	2015	UPME Y Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	fuentes renovables, energia, politica de integracion como generacion energetica	La integracion de las energias renovables para la mitigacion de imactos, la formulacion de proyectos integradores y generacion de conciencia	PDF MENDELEY
2	Fuentes no convencionales de energia	Decreto 1076 26 de mayo de 2015	2015	Congreso de la republica	Recursos renovables,ambiente, ordenamiento, energia , aprovechamiento	Regula la utilizacion de fuentes no convencionales de energio como forma de recuperacion ambiental, para el manejo, uso y aprovechamiento de energia en todo el pais	PDF MENDELEY
3	Fuentes no convencionales de energia	PROURE plan de uso racional de energia	2019	UPME Y Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Energia,renovable	Es una guia para el uso racional y eficiente de la energia, la implementacion de fuentes no convencionales y estrategias para la reduccion	PDF MENDELEY
4	Fuentes no convencionales de energia	ley 1715 2014	2014	Congreso de la republica	Fuentes no convencionales de energia, energia	la integracion de las energias renivables no convencionales al sistema energetico nacional	PDF MENDELEY
5	Ordenamiento territorial	Plan de Ordenamiento Territorial "Bogotá Verdece" 2022-2035	2022	Secretaría Distrital de Planeación	pot, territorio, energia,agua y infraestructura	El POT es la oportunidad para definir la hoja de ruta del desarrollo de Bogotá del 2022 al 2035. es la normativa vigente y la fuente de informacion	PDF MENDELEY
6	Indicadores de consumo	Informe de resultados sobre los indicadores de consumo de agua y energía eléctrica en Bogotá 2012 - 2019	2019	Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Planeación	POT, consumo, energia,agua	Infofrmacion para revisar los consumo energeticos de las zonas de mayor radiacion , IMPORTANTE	PDF MENDELEY

## ANEXO INF 04 – Matriz de caracterización localidades de Bogotá.

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA		MATRIZ DE CARACTERIZACION LOCALIDADES BOGOTÁ																			Codigo: INF - 04
		PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ																			VERSIÓN: 01
		1. USAQUEN	2. CHAPINERO	3. SANTA FE	4. SAN CRISTOBAL	5. USME	6. TUNJUELO	7. BOSA	8. KENNEDY	9. FONTIBON	10. ENGATIVA	11. SUBA	12. BARRIOS UNIDOS	13. TEUSAQUILLO	14. LOS MARTIRES	15. ANTONIO NARIÑO	16. PTE ARANDA	17. LA CANDELARIA	18. RAFAEL URIBE	19. CIUDAD BOLIVAR	20. SUMAPAZ
<b>LOCALIZACIÓN</b>	La localidad de Usaquén limita por el norte con Chia y Sopó, y por el oriente con La Calera	La localidad de Chapinero cuenta con tres vías con dirección a choachi, la calera y zona norte del país	La localidad de Santa Fe esta ubicada en el perímetro oriental de la ciudad	San Cristóbal de Licia Sur es la localidad número 4 zona cuarta del Distrito Capital de Bogotá.	La localidad de usme esta localizada al sur de Bogotá.	La localidad de Tunjuelo es una localidad con bajo incremento de la población y de los hogares	La localidad de Bosa cuenta con tres grandes elementos ambientales	La localidad de Kennedy limita con mosquera	Fontibón es la Localidad número Nueve de Bogotá. Se encuentra ubicada al noroccidente de la ciudad.	La localidad de Engativá limita por el occidente con los municipios de Cota y Funza	La localidad de Suba limita por el occidente con el municipio de Cota y por el norte con el municipio de Chia.	La localidad de Barrios Unidos está compuesta por 4 Unidades de Planeamiento Zonal UPZ que han sido reglamentadas en su totalidad	La localidad de Teusaquillo está compuestapor 6 Unidades de Planeamiento Zonal-UPZ que han sido reglamentadas en su totalidad	La localidad de Mártires es parte de la Operación Estratégica Centro Histórico.	La localidad Antonio Nariño refleja descenso poblacional 109 277 2016y un leve incremento de los hogares 4 348 La	La localidad de Puente Aranda hace parte de la Centralidad de Integración Internacional y Nacional Salitre Zona Industrial	La localidad muestra una concentración de actividades en primer piso con un impacto al espacio público	RAFAEL URIBE URIBE es una Localidad con disminución de la población 24 403 y los hogares 3 936	La localidad de Ciudad Bolívar limita por el occidente con el municipio de Soacha.		
<b>ÁREA URBANA (HECTAREAS)</b>	3.364,0 ha	1093,5 ha	651,4 ha	1629,1 ha	2.104,6 ha	991,1 ha	1.932,3 ha	3.606,4 ha	3.052,8 ha	3.439,2 ha	5.800,7 ha	1.190,3 ha	1.419,3 ha	651,4 ha	488,0 ha	1.731,1 ha	206,0 ha	1.383,4 ha	3.238,1 ha	0	
<b>CANTIDAD DE PERSONAS</b>	519.877 Hab.	123.874 Hab.	89.447 Hab.	371.44 Hab	344432 Hab	164952 Hab.	669878 Hab.	989034 Hab.	354314 Hab	768774 Hab.	1113413 Hab.	126294 Hab	139639 Hab.	69966 Hab.	76646 Hab.	231090 Hab.	15908 Hab	344491 Hab	584655 Hab	0	
<b>CANTIDAD DE VIVIENDAS</b>	193.365 Un.	58.262 Un.	34.695 Un.	109.062 Un	106835 Un	53167 Un.	194037 Un.	311006 Un	119525 Un.	252554 Un.	373701 Un.	46481 Un	58776 Un.	25965 Un.	24747 Un.	75099 Un	7.556 Un	106388 Un.	177159 Un.	0	
<b>CANTIDAD DE HOGARES</b>	199.184 Un.	58.461 Un.	35.404 Un.	119.507 Un.	108509 Un	57368 Un.	231961 Un.	334498 Un.	125284 Un.	269081 Un.	388695 Un.	48509 Un	60316 Un.	27579 Un.	26347 Un.	81346 Un	7903 Un	115388 Un.	198218 Un.	0	
<b>USO</b>	<b>COMERCIAL Y DE SERVICIOS</b>	3,8%	4,40%	0,0%	1,5%	14,8%	4,5%	0,3%	2,1%	11,5%	5,0%	1,30%	31,30%	14,70%	26,60%	19,00%	2,10%	0%	2,10%	0,00%	0
	<b>DOTACIONAL</b>	1,8%	2%	0,5%	0,6%	11,4%	0,1%	1,6%	0,8%	0,4%	0,5%	1,00%	0,20%	0,50%	0,20%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0
	<b>INDUSTRIA</b>	0,0%	0%	0,0%	0,9%	6,0%	3,8%	0,1%	0,7%	10,3%	6,1%	0,40%	0,00%	0,00%	0,00%	2,90%	0%	2,90%	0,20%	0,20%	0
	<b>RESIDENCIAL</b>	86,0%	64%	44,2%	91,9%	46,0%	91,6%	79,9%	77,4%	54,3%	80,9%	85,90%	41,95	70,40%	72,50%	80,85	94,00%	0%	94,00%	90,00%	0
	<b>ÁREA URBANA INTEGRAL</b>	6,3%	1%	52,4%	3,3%	6,3%	0,0%	17,6%	18,7%	23,5%	7,5%	11,00%	0,20%	14,40%	0,00%	0,00%	0,90%	0%	0,90%	6,60%	0
	<b>SIN CLASIFICAR</b>	1,6%	4%	0,2%	1,5%	1,4%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,40%	17	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%	0,00%	2,70%	0
<b>DESARROLLO</b>	<b>SUELO DE PROTECCION</b>	0,5%	4%	2,8%	0,3%	0,3%	0,0%	0,0%	1,3%	0,1%	0,0%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,90%	0,00%	0
	<b>URBANO</b>	52%	29%	14%	33,0%	23,0%	100,0%	81,0%	100,0%	92,0%	100,0%	100,0%	73,00%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1,20%	20%
<b>CONSUMO DE AGUA RESIDENCIAL (Lts/Día/Persona)</b>	<b>EXPANSION</b>	4%	0%	0%	0,0%	2,0%	0,0%	19,0%	0,0%	8,0%	0,0%	0%	3,14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	73,90%	7,5%
	<b>RURAL</b>	44%	71%	86%	67%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24,90%	5%
<b>TASA DE COBERTURA DE ENERGIA</b>	100%	100%	99,8%	99,8%	99,7%	100%	100%	99,90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,70%	99,90%	99,80%	91,80%	
<b>ENERGIA (KWH/MES)</b>	249,62	555,39	367,04	178,23	155,86	242,17	156,88	197,81	302,81	197,23	190,19	299,12	315,83	197,63	323,49	356,64	685,15	187,65	164,19	0	
<b>CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL (kWh/Año/m2)</b>	112,59	126,22	66,62	67,16	67,5	75,48	70,54	77,54	86,11	79,86	90,08	99,84	106,51	81,55	82,8	84,94	90,39	72,78	67,51	0	
<b>Nº DE SUBESTACIONES</b>	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	0	
<b>Nº DE TRANSFORMADORES</b>	434 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	435 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	436 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	437 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	438 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	439 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	440 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	441 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	442 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	443 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	444 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	445 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	446 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	447 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	448 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	449 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	450 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	451 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	452 EN SUBESTACIONES Y 88.657 EN CENTROS DE DISTRIBUCIONES	0	
<b>POTENCIA MVA</b>	11295,32	11295,33	11295,34	11295,35	11295,36	11295,37	11295,38	11295,39	11295,40	11295,41	11295,42	11295,43	11295,44	11295,45	11295,46	11295,47	11295,48	11295,49	11295,50	0	
<b>INDICE DE CORTES DE ENERGIA</b>	12,30%	12,70%	6,60%	67,80%	76,00%	75,30%	80,60%	68,40%	82,40%	79,70%	75,20%	85,40%	83,40%	68,50%	77,30%	81,40%	76,60%	76,80%	82,30%	100%	

**ANEXO INF 05 – 06 – Consumo energético por tipología – consumo energético por estrato uso residencial.**

	TABLA DE CONSUMO DE ENERGIA POR ESTRATO (RESIDENCIAL)			Codigo: INF - 05		TABLA DE CONSUMO DE ENERGIA POR TIPO DE EDIFICACIÓN		Codigo: INF - 06
	PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ			VERSIÓN: 01		PROYECTO: POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ		VERSIÓN: 01
ESTRATO	# LOTES BOGOTÁ	#LOTES CON ENERGIA	% LOTES CON ENERGIA	CONSUMO DE ENERGIA Kwh/Año	TIPO DE EDIFICACION	# LOTES BOGOTÁ	#LOTES CON ENERGIA	CONSUMO DE ENERGIA Kwh/Año
1	110,905	82,663	74,53%	172,718,961	CENTRO COMERCIALES	4111	302	136,641,031
2	336,848	302,471	89,79%	1,052,230,014	OFICINAS	31,504	24,9	890,364,459
3	249,989	228,382	91,36%	1,086,378,530	HOTELES	594	428	49,860,477
4	32,836	30,389	92,55%	436,737,921	EDUCATIVOS	4,338	2,553	64,436,095
5	11,328	10,259	90,56%	185,360,655	HOSPITALES	286	106	26,563,340
6	5,907	4,726	80,01%	173,765,769	OTROS	119,143	25,735	1,839,620,062
SIN ESTRATO	15,453	7,36	47,63%	92,887,736	<b>TOTAL</b>	<b>156,276</b>	<b>54,024</b>	<b>3,007,485,464</b>
DESCONOCIDO	N/A	94,879	100%	588,251,475				
<b>TOTAL</b>	<b>763,266</b>	<b>761,129</b>	<b>99,72%</b>	<b>3,788,331,061</b>				



**ANEXO INF 07 – Condiciones meteorológicas Documento Calidad del Aire.**

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA	MATRIZ DE CONDICIONES METEREOLÓGICAS										Codigo: INF - 07	
	PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ										VERSIÓN: 01	
ESTACIÓN METEREOLÓGICA	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
UBICACIÓN	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 # 59A-06	Autopista Norte # 205-59	Carrera 80 # 40-55 sur	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 37 # 8-40	Cra. 98 #16 B 50	Calle 10 # 65-28	Carrera 2 Este # 12-78	Carrera 111 # 159A-61	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 7B Bis # 132-11
CARACTERÍSTICAS	Carvajal-Sevillana	Centro de alto rendimiento	Guaymaral	Kennedy	Las ferias	MinAmbiente	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunal	Usaquen
LOCALIDAD	Kennedy	Engativa	Suba	Kennedy	Engativa	Santa Fe	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunjuelito	Usaquen
PRECIPITACIÓN (mm)	765,5	1077,4	899,9	1479,8	800,8	988,3	745	710,1	1479,3	1013,7	908,7	1003
TEMPERATURA MÁXIMA C°	6,2	1,7	0,7	6,8	5,7	8,1	19,8	11,7	4,3	3,2	2,6	4,7
TEMPERATURA MÍNIMA C°	25,6	26,6	25,9	29,1	23,6	19,7	27,1	23,3	23,1	28	27,2	24,4
AMPLITUD TÉRMICA C°	19,4	24,9	25,2	22,3	17,9	17,3	19,7	17	18,8	24,8	24,6	19,7
VELOCIDAD MÍNIMA (m/s)	0	0	0,6	0	0	8,8	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	5,8	5,7	5,4	7,1	7,8	1,2	6,5	7,7	6	4,9	7,4	6,8
RADIACIÓN SOLAR (Kw-mes/m2)		3757	4685	5246			3394		5385		4616	3898
PRESIÓN			564		564,3		562,4				563,6	561,5
HUMEDAD %		67,4	68	62,1	62,5		58,3		70,1		62,2	73,7

ANEXO INF 08- Matriz condiciones climáticas Documento Histórico del IDEAM.

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA 	MATRIZ DE CONDICIONES METEREOLÓGICAS DOC. HISTORICO IDEAM							Codigo: INF - 08	
	PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ							VERSION :01	
ESTACIÓN METEREOLÓGICA	AEROPUERTO EL DORADO	EL DORADO DIDACTICA	ESC. COL INGENIERIA	TAQUES	UNIVERSIDAD NACIONAL	VENADO ORO VIVERO	GUAYMARAL	JARDIN BOTANICO	LAS FERIAS
UBICACIÓN	Av. El Dorado #103-9, Fontibón, Bogotá		AK 45 (Autonorte) #205-59		Cra 45 -26	Av. Circunvalar #1620, Bogotá	Autopista Norte # 205-59	Cl. 63 #68-95	Avenida Calle 80 # 69Q-50
LOCALIDAD	Fontibon				Teusaquillo	La candelaria	Suba	Engativa	Engativa
PRECIPITACIÓN (mm)	841,2	813,9	885,4	1291,8	901,6	1134,6	899,9	902,3	800,8
TEMPERATURA MAXIMA C°	20	20,2	20,9	14,1	20,1	19,6	25,7	20,1	23,7
TEMPERATURA MINIMA C°	7,9	7,3	8,1	5,1	9,2	8,9	9	9,2	5,3
VELOCIDAD MINIMA (m/s)	2,3	0,6	0	0	8,8	0	0,6	0	17,9
VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	7,9	5,4	7,1	7,8	1,2	6,5	5,4	5,4	7,8
HUMEDAD %	80	79	<u>80</u>	94	78	81	68	62	62,5
BRILLO SOLAR (HORAS/DIA)	4,4	4,3	<u>3,9</u>	3,6	4,3	3,1	4,2	3,9	5,4
RADIACION SOLAR (Kw/m2 X DIA)	4037,7	SD	5385	3757	3867	5687	4685	3756	4067


## ANEXO INF 09 - Matriz condiciones climáticas software atlas solar- universidad EIA.

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA	MATRIZ DE CONDICIONES METEOROLOGICAS SOFTWARE ATLAS SOLAR - IRRADIACIÓN COLOMBIA/MAPS										Codigo: INF - 09	
	PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ										VERSIÓN: 01	
ESTACIÓN METEOROLOGICA	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
UBICACIÓN	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 # 59A-06	Autopista Norte # 205-59	Carrera 80 # 40-55 sur	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 37 # 8-40	Cra. 98 #16 B 50	Calle 10 # 65-28	Carrera 2 Este # 12-78	Carrera 111 # 159A-61	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 7B Bis # 132-11
CARACTERÍSTICAS	Carvajal-Sevillana	Centro de alto rendimiento	Guaymaral	Kennedy	Las ferias	MinAmbiente	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunal	Usaquen
LOCALIDAD	Kennedy	Engativa	Suba	Kennedy	Engativa	Santa Fe	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunjuelito	Usaquen
RADIACION SOLAR kWh/m2	4,26	4,88	6,3	7	4,08	4,08	4,7	4,26	7,4	4,1	6,4	5,4
RADIACION SOLAR kWh/m2/dia	102,24	117,12	151,2	168	97,92	97,92	112,8	102,24	177,6	98,4	153,6	129,6
RADIACION SOLAR kWh/m2/mes	3067,2	3513,6	4536	5040	2937,6	2937,6	3384	3067,2	5328	2952	4608	3888
RADIACION SOLAR kWh/m2/año	36806,4	42163,2	54432	60480	35251,2	35251,2	40608	36806,4	63936	35424	55296	46656
IMAGEN												


## ANEXO INF 10- Matriz condiciones climáticas software ENAIR.

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA	MATRIZ DE RADIACION SOLAR Y VELOCIDAD DE VIENTOS POR EL SOFTWARE ENAIR											Codigo:	
	PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ											VERSIÓN:	
ESTACIÓN METEOROLOGICA	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	VERSIÓN:	
UBICACIÓN	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 # 59A-06	Autopista Norte # 205-59	Carrera 80 # 40-55 sur	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 37 # 8-40	Cra. 98 #16 B 50	Calle 10 # 65-28	Carrera 2 Este # 12-78	Carrera 111 # 159A-61	Carrera 24 # 49-86 sur		
CARACTERÍSTICAS	Carvajal-Sevillana	Centro de alto rendimiento	Guaymaral	Kennedy	Las ferias	MinAmbiente	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunal		
LOCALIDAD	Kennedy	Engativa	Suba	Kennedy	Engativa	Santa Fe	Fontibon	Puente Aranda	San Cristobal	Suba	Tunjuelito		
RADIACION SOLAR [kwh/dia]	27,1	9,9	1,6	18,7	9,8	18,6	10,6	9,7	20,3	19,7	15,6		
RADIACION SOLAR [kwh/mes]	989,5	3613,5	584	6825,5	3577		3869	3540,5	7409,5		5694		
VELOCIDAD DE VIENTO MEDIA	3,0 m/s	1,8	2,6	2,6	1,8	2,2	2,1	1,8	2,3	2,8	2,1		
FOTO													

**ANEXO INF 11 - Matriz condiciones climáticas software atlas solar- universidad EIA.**

<b>UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA</b> 		<b>MATRIZ DE POSIBLES CLIENTES</b>					<b>Codigo: INF - 11</b>	
		<b>PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ</b>					<b>VERSION :01</b>	
							tr/m2/año	Mbtu/h/m2
							<b>35,1567847</b>	<b>5182,61004</b>
	CLIENTES	AC	USO EDIFICATORIO	PISOS	M2 PRIMERA PLANTA	M2 TOTAL	TR	MBut/h
1	Centro Comercial Plaza Central	X	Centro comercial	3	16.421,87	205000	7207140,86	1062435058
2	Centro Comercial Outlet Factory	X	Centro comercial	3	32.262,00	96786	3402684,56	501604095
3	Outlet de las Américas		Centro comercial	1	2.371,17	2371,17	83362,71	12288849
4	Pasaje comercial		Centro comercial	1	9.557,00	9557	335993,39	49530204
5	Zona In		Centro comercial	2	6.085,04	12170,08	427860,88	63072779
6	Centro comercial Caribe		Centro comercial	2	580,8	1161,6	40838,12	6020120
7	San Andresito de la 38		Centro comercial	2	159,89	319,78	11242,44	1657295
8	Centro comercial Manhattan		Centro comercial	2	872,9	1745,8	61376,71	9047801
9	Centro comercial Gran Estacion	X	Centro comercial	4	4.869,06	19476,24	684721,98	100937757
10	Centro comercial Gran Estacion		Centro comercial	4	15.953,74	63814,96	2243528,81	330728052
11	HOSPITAL DEL SUR CAMI TRINIDAD GALAN	X	Hospital	2	943	1886	66305,70	9774403
12	UPAHOSPITAL DEL SUR Asunción Bochica	X	Hospital	2	344	688	24187,87	3565636
13	Clinica specialized Colombia	X	Hospital			2.383,66	83801,82	12353580
14	Hospital mederi	X	Hospital	7	5.548,83	38841,81	1365553,15	201301954
15	Secretaria Distrital de Salud	X	Distrito	7	7,153	50,071	1760,34	259498
16	Secretaria de movilidad distrital	X	Distrito	2	5,63	11,26	395,87	58356
17	Secretaria Distrital de seguridad	X	Distrito	7	169,02	1183,14	41595,40	6131753
18	Museo Antonio Nariño		Cultural	1	728,2	728,2	25601,17	3773977
19	Biblioteca de Puente Aranda		Educativo	2	1.015,25	2030,5	71385,85	10523290
20	Biblioteca Central de la Universidad Distrital		Educativo	2	1.032,95	2065,9	72630,40	10706754
21	Biblioteca FUCS		Educativo	2	976,38	1952,76	68652,76	10120394
22	Universidad Distrital	X	Educativo	2	2.348,22	4696,44	165111,73	24339817
23	Sena puente Aranda	X	Educativo	2	52,16	104,32	3667,56	540650
24	Corferias	X	Cultural			44.430,23	1562024,03	230264556
25	Teatro cadiz	X	Cultural	1	707,37	707,37	24868,85	3666023
26	Dirreccion centro de rehabilitacion inclusiva	X	Cultural	2	2.658,19	5316,38	186906,83	27552724
27	Alkosto carrera 30	X	Comercio	1	5.441,77	5441,77	191315,14	28202572
28	Éxito de las americas	XX	Comercio	11	30.854,36	339397,96	11932141,01	1758967275
29	Fondo Nacional de Ahorros	X	Administrativo	4	16.243,74	64974,96	2284310,68	336739880
30	Centro administrativo de avianca	X	Administrativo	10	204355	2043550	71844647,37	10590922747
31	Centro financiero	X	Administrativo	2	753	1506	52946,12	7805011
32	Fabrica industrial		Industria	3	5,19	15,57	547,39	80693
33	Hotel charlotte	X	Hotel	7	372,76	2609,32	91735,30	13523088
34	Expo hotel Bogota	X	Hotel	6	113,68	682,08	23979,74	3534955
35	Borboleta hotel	X	Hotel	22	137,17	3017,74	106094,04	15639770
36	CM& TELEVISION	X	Entretenimiento	4	2.314,92	9259,68	325540,58	47989311
37	CANAL RCN	X	Entretenimiento	5	1062687	5313435	186803290,31	27537461578

**ANEXO INF 12- 13- Cálculos para la implementación de paneles solares y aerogeneradores.**


UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA		CALCULO PARA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES	Codigo: INF - 12
		PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ	VERSION :01

ET: Energia requerida/dia 16.233.753,00	PP: Potencia pico del panel (kw) 0,5	GMB: Radiación (Kwh/m2) 5	PG: Factor de rendimiento del sistema 1,2
Numero total de paneles: NT= ET(pp*gmb*pg)	3		100%
NT al 10% Minimo (cumplimiento de Res 549)	0		10%

<b>DATOS DEL PROYECTO (DISTRITO TERMICO)</b>	
Area cubierta (M2)	16421,87
Area requerida panel(m2)	148
Area par la implementacion	444
<b>COSTOS DE LA IMPLEMENTACION DE PANELES SOLARES</b>	
PANELES FOTOVOLTAICOS UND	\$ 780.000,00
PANELES FOTOVOLTAICOS 100%	\$ 2.340.000,00

GENERACION DE ENERGIA	$G=(PP*GMB*PG)*NT$	9
POTENCIA A LA SALIDA DEL PF	$PCFV=E/HSS*N*PR$	1503125278

487012590

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA		CALCULO PARA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES	Codigo: INF - 13
		PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTÁ	VERSION :01

<b>POTENCIAL EOLICO</b>			
CP: Coeficiente de potencial de aerogenerador 0,3	A: (Area barrido aerogenerador) 0,385	P: (Densidad del aire) (kg/m3) 1,09	V: (Velocidad de viento) 7,7
$P=Cp(1/2*PAV^3)W$		28,7	

ET: Energida requerida/dia (Kwh/dia)	1917,1
--------------------------------------	--------

Horas / año 8760	F; Frecuencia de incidencia del viento en determinada direccion % 30,7
Horas año Dirección	2514,12
Horas año direccion	P (Potencia eolica util W)
613,2	28,7
Energia producida KWH/AÑO NORESTE (Horas año direccion*P/1000)	17,59884

Horas / año 8760	F; Frecuencia de incidencia del viento en determinada direccion %
Horas año Dirección	
Horas año direccion	P (Potencia eolica util W)
613,2	
Energia producida KWH/AÑO ESTE (Horas año direccion*P/1000)	

Horas / año 8760	F; Frecuencia de incidencia del viento en determinada direccion %
Horas año Dirección	
Horas año direccion	P (Potencia eolica util W)
613,2	
Energia producida KWH/AÑO SURESTE (Horas año direccion*P/1000)	

Horas / año 8760	F; Frecuencia de incidencia del viento en determinada direccion %
Horas año Dirección	
Horas año direccion	P (Potencia eolica util W)
613,2	
Energia producida KWH/AÑO SUR (Horas año direccion*P/1000)	

Horas Direccion HORAS EN TODAS LAS DIRECCIONES	
Energia requerida KWH/AÑO	
Energia producida KWH/AÑO	
Aerogeneradores reuqueridos para suplir la demanda total	

<b>DATOS DEL PROYECTO (DISTRITO TERMICO)</b>	
Area cubierta (M2)	
Area requerida panel(m2)	

<b>COSTOS DE LA IMPLEMENTACION DE PANELES SOLARES</b>	



## ANEXO INF 15. Ficha técnica distrito térmico extramural

UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA	FICHA TECNICA DISTRITO TERMICO EXTRAMURAL	Código: INF - 15																																	
PROYECTO: IDENTIFICACION DEL POTENCIAL ENERGETICO A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA PARA DISTRITOS TERMICOS EN BOGOTA																																			
		VERSIÓN: 01																																	
<b>DISTRITO TERMICO</b>																																			
UBICACIÓN: LOCALIDAD PUENTE ARANDA CR 31- 128- 41	CENTRAL TERMICA LOTE : 1.735,92 M2	RED DE DISTRIBUCIÓN 1.098 Metros																																	
<b>CLIENTES</b> 1. SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD 2. SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD 3. SECRETARIA DISTRITAL DE SEGURIDAD 4. SENA PUENTE ARANDA																																			
<b>DEMANDA ELECTRICA Y CLIMATIZACION</b>																																			
CONSUMO TOTAL :	70.129,042 KWH/DIA	Cantidad panel fotovoltaico: <b>23.393,01</b>																																	
CONSUMO REFRIGUERACION:	1.324 TR - - 1125,4 KW	Cantidad panel fotovoltaico: <b>10</b>																																	
CONSUMO CALEFACCION:	2.264 Mbtu - - 160366,66 KW	Cantidad panel fotovoltaico: <b>27</b>																																	
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>ZONIFICACION</b>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ESPACIO</th> <th>AREA (M2)</th> <th>ALCANCE Y FLEXIBILIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INVERSOR</td> <td>3</td> <td>Es un area aproximada tiene flexibilidad a las caracteristicas de proveedor</td> </tr> <tr> <td>CHILLERS DE ABSORCION</td> <td>12</td> <td>Flexibilidad proveedor / capacidad minima</td> </tr> <tr> <td>CHILLERS ELECTRICO</td> <td>37,2</td> <td>Flexibilidad proveedor / capacidad minima</td> </tr> <tr> <td>REGULADOR ELECTRICO</td> <td>29,15</td> <td>Flexibilidad a conexión entre aparatos</td> </tr> <tr> <td>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</td> <td>107,12</td> <td>Flexibilidad depende la capacidad del distrito</td> </tr> <tr> <td>CUARTO TECNICO</td> <td>47,85</td> <td>Area promedio / control</td> </tr> <tr> <td>TORRE DE ENFRIAMIENTO</td> <td>257,95</td> <td>Area minima por capacidad</td> </tr> <tr> <td>BOMBAS</td> <td>40,91</td> <td>Area minima por capacidad</td> </tr> <tr> <td>Equipos de control AA</td> <td>54,49</td> <td>Estándar</td> </tr> <tr> <td>TURBINA A GAS</td> <td>117,54</td> <td>Estándar</td> </tr> </tbody> </table>	ESPACIO	AREA (M2)	ALCANCE Y FLEXIBILIDAD	INVERSOR	3	Es un area aproximada tiene flexibilidad a las caracteristicas de proveedor	CHILLERS DE ABSORCION	12	Flexibilidad proveedor / capacidad minima	CHILLERS ELECTRICO	37,2	Flexibilidad proveedor / capacidad minima	REGULADOR ELECTRICO	29,15	Flexibilidad a conexión entre aparatos	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	107,12	Flexibilidad depende la capacidad del distrito	CUARTO TECNICO	47,85	Area promedio / control	TORRE DE ENFRIAMIENTO	257,95	Area minima por capacidad	BOMBAS	40,91	Area minima por capacidad	Equipos de control AA	54,49	Estándar	TURBINA A GAS	117,54	Estándar		
ESPACIO	AREA (M2)	ALCANCE Y FLEXIBILIDAD																																	
INVERSOR	3	Es un area aproximada tiene flexibilidad a las caracteristicas de proveedor																																	
CHILLERS DE ABSORCION	12	Flexibilidad proveedor / capacidad minima																																	
CHILLERS ELECTRICO	37,2	Flexibilidad proveedor / capacidad minima																																	
REGULADOR ELECTRICO	29,15	Flexibilidad a conexión entre aparatos																																	
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	107,12	Flexibilidad depende la capacidad del distrito																																	
CUARTO TECNICO	47,85	Area promedio / control																																	
TORRE DE ENFRIAMIENTO	257,95	Area minima por capacidad																																	
BOMBAS	40,91	Area minima por capacidad																																	
Equipos de control AA	54,49	Estándar																																	
TURBINA A GAS	117,54	Estándar																																	
<b>PLANO DE CUBIERTA- IMPLANTACION PANELES SOLARES</b>		<b>PLANO DE CUBIERTA- IMPLANTACION AEROGENERADORES</b>																																	
<b>CONEXION DE EQUIPOS</b>																																			
<b>OBSERVACIONES:</b> La implantacion de fuentes no convencionales de energia depende del analisis de potencial energetico por medio de fuentes renovables, el area que se plantea es un aproximado real de lo las dimensiones que puede ocupar, teniendo como referente La Alpujarra.																																			