

INGENIERÍA CONCEPTUAL DE UN DISTRITO DE ENFRIAMIENTO EN LA
ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

JORGE ANDRÉS ESPINEL RAMÍREZ
NELSON ENRIQUE PALENCIA BUSTOS

Tesis de grado

Director: Ingeniero Mario J. Acero Caballero - M.sc en Ingeniería Mecánica

Codirector: Ingeniero Carlos A. Díaz González – M.sc en Ingeniería

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA, SANTANDER

2019

Carta de aceptación

Dedicatorias

Este proyecto de grado representó un nuevo reto para mi vida y me siento contento de haber superado con éxito cada una de las dificultades, esto me hizo aprender y crecer como persona y profesional. Quiero agradecer a mis padres Nelson Palencia y Rosmery Bustos por su incondicional apoyo y por brindarme los consejos correctos en los momentos que más los necesité.

Nelson Enrique Palencia Bustos

Quiero dedicar este trabajo a Dios por haberme brindado la sabiduría necesaria en cada momento de este arduo camino, a mis padres María y Luis porque sin el apoyo de ellos no hubiera podido hacer este sueño realidad y finalmente a mis hermanos que siempre estuvieron apoyándome cuando lo necesité.

Jorge Andrés Espinel Ramírez

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer en primer lugar a la Electrificadora de Santander por su apoyo durante el desarrollo de este proyecto de grado, ya que fue de vital importancia la información que nos brindaron, especialmente al Ingeniero Guillermo Beltrán, quien estuvo siempre pendiente del proceso y gestionó de la mejor manera los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

De la misma manera, un especial agradecimiento a todas las empresas que nos abrieron sus puertas para conocer a fondo sus sistemas de climatización y obtener de ellos la información necesaria para ejecutar el proyecto.

Finalmente, agradecer a los profesores Isabel Cristina Barragán por su apoyo durante la etapa del análisis financiero del proyecto, Leonardo Esteban Pacheco por su apoyo en dudas que se tenían de la estación de transferencia, y Luis Sebastian Mendoza por brindarnos la idea de participar en el primer concurso de dimensionamientos de distritos energéticos en Colombia, ya que esto permitió explorar a fondo el tema, y, finalmente, tomar la decisión de enforcarnos en esto para el proyecto de grado.

Tabla de contenido

1. Marco referencial	5
1.1. Distritos energéticos.....	5
1.1.1. Definición.....	5
1.1.2. Historia	5
1.2. Distrito de enfriamiento	7
1.2.1. Conceptos básicos	7
1.2.2. Efecto invernadero.....	10
1.2.3. Calentamiento global	10
1.2.5. Enfriadores por Absorción	19
1.2.7. Enfriamiento gratis o libre	22
1.2.8. Almacenamiento de frío	22
1.2.9. Fuentes primarias de energía distrital.....	22
2. Objetivos	24
2.1. Objetivo general	24
2.2. Objetivos específicos	24
3. Metodología	25
3.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras....	25
3.2. Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío. ..	25
3.3. Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.	25
3.4. Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.....	25
3.5. Fase 5: Análisis económico preliminar del proyecto.	26
4. Desarrollo.....	27
4.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras....	27
4.2. Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío. ..	28
4.3. Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.	30
4.4. Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.....	32
4.5. Fase 5: Análisis económico preliminar del proyecto.....	48
5. Resultados	53
5.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras....	53

5.2.	Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío. ...	54
5.3.	Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.	59
5.4.	Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.....	60
5.5.	Fase 5: Análisis financiero preliminar del proyecto.....	82
6.	Conclusiones y observaciones.....	88
7.	Recomendaciones	89
8.	Bibliografía	91
9.	Anexos	94

Imágenes

IMAGEN 1. DIAGRAMA BÁSICO DE UN DISTRITO DE ENFRIAMIENTO.....	8
IMAGEN 2. MAPA DE SANTANDER DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTES – 2012.	13
IMAGEN 3. MAPA DE SANTANDER TEMPERATURA PROMEDIO.....	15
IMAGEN 4. CICLO DE COMPRESIÓN DE VAPOR Y DIAGRAMA T VS S.	18
IMAGEN 5. CICLO DE ABSORCIÓN.	19
IMAGEN 6. CICLO DE CALOR Y POTENCIA.	20
IMAGEN 7. CICLO COMBINADO DE ENFRIAMIENTO, CALOR Y POTENCIA CCHP.	21
IMAGEN 8. PERFILES DE COMPORTAMIENTO SEGÚN ACTIVIDAD.	31
IMAGEN 9. TECNOLOGÍA DE EQUIPOS Y OTROS PARÁMETROS A CONSIDERAR.	35
IMAGEN 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS REFRIGERANTES A DIFERENTES CONDICIONES.....	35
IMAGEN 11. VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA EL FLUIDO.	37
IMAGEN 12. COMPOSICIÓN DEL SUELO SEGÚN HUMEDAD.	44
IMAGEN 13. TEMPERATURA DEL SUBSUELO SEGÚN PROFUNDIDAD.....	45
IMAGEN 14. MAPA DE CALOR ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	56
IMAGEN 15. MAPA DE CALOR EL BOSQUE Y SUS ALREDEDORES.....	58
IMAGEN 16. MAPA CON ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN.....	60
IMAGEN 17. LOTE BALDÍO CON DISPOSICIÓN PARA EL DISTRITO.	62
IMAGEN 18. UBICACIÓN DEL DISTRITO.	65
IMAGEN 19. EQUIPO DE ENFRIAMIENTO YORK YZ CENTRIFUGAL CHILLER.	66
IMAGEN 20. RECORRIDO LÍNEA A DE DISTRIBUCIÓN.	69
IMAGEN 21. RECORRIDO LÍNEA B DE DISTRIBUCIÓN.	70
IMAGEN 22. PERFIL DE DESNIVEL LÍNEA A.....	73
IMAGEN 23. PERFIL DESNIVEL LÍNEA B.....	74
IMAGEN 24. TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	77
IMAGEN 25. BOMBA CENTRIFUGA GRUNDFOS NKG 200-150-400/368.	78
IMAGEN 26. BOMBA CENTRIFUGA GRUNDFOS NK 150-400/382.....	79
IMAGEN 27. BOMBA CENTRIFUGA GRUNDFOS NBGE 200-150-200/214-174,3.	79

Gráficos

GRÁFICA 1. DISTRIBUCIÓN DE USUARIOS EN MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	55
GRÁFICA 2. DISTRIBUCIÓN DE CARGA DE ENFRIAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	56
GRÁFICA 3. COMPORTAMIENTO POR ACTIVIDAD ECONÓMICA.	60
GRÁFICA 4. CURVA EN MAGNITUD DEL COMPORTAMIENTO DEL DISTRITO TÉRMICO.	64
GRÁFICA 5. CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CADA ETAPA.	81
GRÁFICA 6. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL PROYECTO.....	83
GRÁFICA 7. COMPORTAMIENTO DEL VPN VS TIO.	85

Tablas

TABLA 1. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS ENFRIADORES.	36
TABLA 2. EMPRESAS CON SUS CAPACIDADES DE ENFRIAMIENTO.....	61
TABLA 3. FACTORES PARA DIMENSIONAMIENTO DE ÁREAS.....	64
TABLA 4. DATOS POR ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN.	65
TABLA 5. FLUJOS CADA HORA EN POR ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN.	68
TABLA 6. NODOS DE LA LÍNEA A CON SUS CARACTERÍSTICAS.....	71
TABLA 7. <i>NODOS DE LA LÍNEA B CON SUS CARACTERÍSTICAS.</i>	71
TABLA 8. USUARIOS CONECTADOS A LA LÍNEA A CON ESPECIFICACIONES DE SU CONEXIÓN.	72
TABLA 9. USUARIOS CONECTADOS A LA LÍNEA B CON ESPECIFICACIONES DE SU CONEXIÓN.	72
TABLA 10. ELEVACIÓN DE LOS NODOS Y LONGITUD DE TRAMOS DE LA LÍNEA A.	74
TABLA 11. DISTANCIA DE CONEXIÓN Y ELEVACIÓN DEL USUARIO.	74
TABLA 12. LONGITUD Y ELEVACIÓN DE LOS NODOS DE CONEXIÓN DE LA LÍNEA B.	75
TABLA 13. DISTANCIA DE CONEXIÓN Y ELEVACIÓN DEL USUARIO.	75
TABLA 14. GANANCIAS DE CALOR EN LA LÍNEA A	76
TABLA 15. GANANCIAS DE CALOR EN LA LÍNEA B	76
TABLA 16. CANTIDAD DE EQUIPOS EN CADA ETAPA.	80
TABLA 17. DISTRITOS EN EL MUNDO.	81
TABLA 18. COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES POR FASE.	83
TABLA 19. COSTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2019.....	84
TABLA 20. COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUALES POR FASE.	84

Abreviaturas

CO₂ Dióxido de Carbono.

HFCs Hidrofluorocarbonos.

HCFCs Hidroclorofluorocarbonos.

CFCs Clorofluorocarbonos.

IDEAM Instituto de Hidrología, Metrología y Estudios Ambientales.

PCG Potencial de Calentamiento Global.

GEI Gases de Efecto Invernadero.

PAO Poder de Agotamiento de Ozono.

SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia.

DT Distritos Térmicos.

ASHRAE Sociedad estadounidense de ingenieros de calefacción refrigeración y aire acondicionado.

CHP Ciclo combinado de calor y potencia.

CCHP Ciclo combinado de enfriamiento, calor y potencia.

POT Plan de Ordenamiento Territorial

TR Tonelada de Refrigeración

Resumen

Este proyecto de grado se realiza con el fin de contribuir a futuros estudios de distritos energéticos en la región de Santander. El documento contiene el inventario de las principales cargas de enfriamiento en el área metropolitana de Bucaramanga y un mapa de calor que permite visualizar de la intensidad de la carga térmica, además, se evidencian los cálculos y criterios tenidos en cuenta para determinar los equipos a usar y la cantidad que operaran en cada momento de tiempo. Se planeo la implementación del distrito un sitio estratégico para la distribución del agua fría del distrito de enfriamiento. Finalmente, se muestra el estudio financiero básico del proyecto que se realizó a unas condiciones de operación previamente definidas en el documento.

Durante el desarrollo de cada una de las actividades del proyecto se puede apreciar información relevante sobre la metodología a seguir para conceptualizar técnicamente un distrito de enfriamiento mediante cálculos fundamentados en guías técnicas y experiencias vividas de expertos en el tema.

Introducción

Los fuertes cambios climáticos han generado una necesidad de climatización en recintos, especialmente en enfriamiento, debido al incremento de la temperatura global. Específicamente en Colombia, el IDEAM revela un escenario donde existirá un incremento de la temperatura media anual de 2,14 °C para el 2100 en caso de que los niveles de gases de efecto invernadero continúen aumentando sin ningún control o gestión de los mismo. [1] Para el año 2012, las emisiones de gases de efecto invernadero estuvieron alrededor de 190 MtCO_{2eq}, posicionando a Colombia en el puesto 5 de emisiones de GEI en Latinoamérica, donde el 62,9% fueron de CO₂ y un 0,5% de HFC [2], este último componente se caracteriza por usarse en su mayor parte en sistemas de aires acondicionados en el sector industrial, comercial y/o servicios. Los HFCs cuentan con la característica de poseer un índice de poder de calentamiento global alto, por ejemplo, el refrigerante R134a que se ha vendido como un producto amigable al medio ambiente tiene un PCG de 1.430 en 100 años, lo que significa que en un periodo de 100 años es 1.430 veces más perjudicial que el CO₂ [3], por esta razón es importante el control de estas sustancias por bajo que pueda parecer su porcentaje de participación en las emisiones nacionales de GEI.

El sector comercial y de servicios en Colombia aportan el 63% de la carga de refrigerante instalada en equipos de aires acondicionados, adicionalmente, el uso de energía eléctrica para su funcionamiento conlleva también una carga de CO_{2eq}. El uso irracional e ineficiente de la energía, las malas prácticas de instalación y mantenimiento, la inadecuada operación de los equipos y el aun uso de estos cuando han llegado al fin de su vida útil son factores que afectan significativamente el consumo de energía y el desgaste del equipo en general. Lo anteriormente dicho, impacta tanto al incremento de las emisiones de GEI como en los costos dirigidos a la operación y mantenimiento de los equipos.

Las preocupaciones aumentan al conocer que Santander genera alrededor de 14,38 MtCO_{2eq} lo que lo clasifica en el puesto 5 a nivel nacional, además, los HFCs participan con un 0,52% de sus emisiones totales. Adicionalmente, el SIAC sugiere un incremento en la tendencia de las emisiones de GEI, lo que tiene como resultado un incremento de 0,9 °C en la temperatura al 2040 y para el 2100 un incremento en la región de 2,5 referido a un histórico desde 1976, motivo por el cual es necesario plantear iniciativas que ayuden a controlar y disminuir la emisión de dichos gases. Adicionalmente, el SIAC sugiere un incremento en la tendencia de las emisiones de GEI, lo que tiene como resultado un incremento de 0,9 en la temperatura al 2040 y para el 2100 un incremento en la región de 2,5 referido a un histórico desde 1976 [4], motivo por el cual es necesario plantear iniciativas que ayuden a controlar y disminuir la emisión de dichos gases.

La presente investigación se enfoca en caracterizar la demanda de enfriamiento en el sector comercial y servicios del área metropolitana de Bucaramanga, donde se concentra una alta participación de gases GEI con alto PCG como los HFCs, con el fin de obtener los comportamientos de consumo de energía en los sistemas de aires acondicionados, los cuales posteriormente serán la materia prima para el dimensionamiento de un distrito térmico cercano a las áreas identificadas. Esto debido a que la iniciativa DT en Colombia ha venido teniendo un éxito en lo que corresponde a disminución de GEI, carga instalada de refrigerantes y consumo de energía eléctrica. Esto es evidente en el DT piloto construido en la ciudad de Medellín donde la reducción del consumo de energía fue del 31%, las emisiones de GEI disminuyeron en un 22% y el poder de PCG del DT es inferior al 1%, todo esto respecto a un escenario donde se reemplacen los refrigerantes convencionales a HFCs y se implemente el DT. [5]

A parte de los beneficios ambientales que los DT traen en su implementación, hay atributos económicos como la reducción del costo de la tonelada de refrigeración, principalmente para sistemas de climatización que se encuentran terminando su vida útil, y de gastos mensuales existentes en la operación y mantenimiento sus sistemas, además, la liberación de espacio ocupado por equipos y de personal necesario para esta área. Finalmente, tener el control y seguimiento de la variable que afecta en mayor porcentaje al costo de consumo de energía, el sistema de aire acondicionado.

1. Marco referencial

1.1. Distritos energéticos

1.1.1. Definición

Un distrito energético es un sistema que concentra el suministro de energía térmica; frío o calor, a una población urbanística que pueden ser usuarios residenciales, industriales, comerciales o cualquier consumidor con necesidades de calefacción, enfriamiento, agua caliente sanitaria u otros procesos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, un distrito energético “canaliza vapor, agua caliente o agua fría alrededor de una ciudad para usar en edificios para calefacción o refrigeración, y también pueden producir electricidad localmente.” [6]

1.1.2. Historia

Oficialmente los primeros sistemas de enfriamiento fueron instalados en los rascacielos de Nueva York, y posteriormente en otras partes de Estados Unidos. Aquellos sistemas estaban configurados con evaporadores descentralizados, es decir, cada sitio contaba con su propio radiador, y un condensador central, donde se liberaba el calor obtenido por el refrigerante. Estos sistemas se denominaron distritos de enfriamiento de primera generación. Los distritos de enfriamiento, donde oficialmente se centralizaba la demanda térmica urbana, aparecen por primera vez en ciudades como Barcelona, Berlín, Toronto, Chicago, Paris, Dubái y entre otros. Sin embargo, aún se usaba refrigerante como transportador de frío a usuarios.

La segunda generación apareció en la década de 1960 en donde se centralizaba la demanda térmica urbana y se hacía uso de enfriadores mecánicos y agua como fluido de distribución a los usuarios. Los primeros distritos de enfriamiento de esta generación se establecieron en Hartford en 1962, Hamburgo en 1967 y en La Defensa a las afuera de Paris en el mismo año. [7]

Posteriormente, la tercera generación de distritos de enfriamiento, y al igual que los distritos de calentamiento, se caracterizó por la implementación de nueva tecnología que permitía diversificar la fuente primaria de energía

mediante la implementación de sistemas híbridos de energía eléctrica y aprovechamiento de calor residual, esto mediante el uso mixto de enfriadores mecánicos y de absorción. Además, se introdujo la opción de usar lagos y mares para reemplazar los enfriadores. Los sistemas de almacenamiento de frío también se comenzaron a implementar en esta generación.

A partir de 1989, los distritos de enfriamiento optaron por cambiar los sistemas de distribución que usaban refrigerantes para transportar frío a los usuarios por agua, ya que en el Protocolo de Montreal se “estableció los mecanismos para los procesos de eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono” como los clorofluorocarbonados, usados como refrigerantes a gran escala. [8] Debido a la falta de información que se encuentra sobre los distritos de enfriamiento se desconoce la cantidad exacta de distritos de enfriamiento en el mundo. Sin embargo, se estima que la entrega de frío anual es de 300 PJ en el mundo, y que aproximadamente el 66% de este frío se concentra en el Medio Oriente. Además, el inusual monitoreo de los sistemas de enfriamiento ha llevado a realizar estimaciones con los consumos de energía eléctrica y coeficientes estándares de enfriamiento. [9]

En la actualidad, Colombia cuenta con dos distritos de enfriamiento instalados, uno que aún se encuentra en desarrollo y otro que está en estudio:

El primero es el distrito de enfriamiento piloto ubicado en La Alpujarra, Medellín. Tiene una capacidad instalada de 3.600 TR, cuenta con 3 enfriadores por compresión, usa amoníaco como refrigerante, y 1 de absorción. El distrito usa una microturbina a gas que proporciona el 65% de la energía eléctrica necesaria en la planta, y finalmente, los gases de escape son usados en el enfriador por absorción. En su etapa final, Empresas Públicas de Medellín, propietario del distrito, espera tener 10.000 TR instaladas.

Frente al escenario anterior de la implementación del distrito de la Alpujarra se puede observar un ahorro en energía eléctrica del 26.85%, disminución en las emisiones totales de CO₂ en un 37,56% y del potencial de calentamiento global en un 99,9%, además, la eliminación del 100% de las sustancias con potencial de agotamiento del ozono. [5]

El segundo distrito se encuentra en Montería, Córdoba, y fue instalado en el centro comercial Lo Nuestro con una capacidad de 1.410 TR. Su propietario es Celsia. Tiene 2 enfriadores por compresión, usa R134a como refrigerante, y 1 por absorción, además, cuenta con una microturbina a gas y con una capacidad instalada de 283 kWp en paneles fotovoltaicos. Su configuración

es igual al de La Alpujarra donde se usa energía eléctrica para los enfriadores por compresión y el calor de los gases de combustión para el enfriador por absorción. [10]

En desarrollo se encuentra el distrito de enfriamiento de Serena del Mar en Cartagena, donde su propietario Celsia, tiene contemplado este proyecto en tres etapas, la primera es lograr tener una capacidad instalada de 4.600 TR, luego, 6.900 TR, para finalmente contar con una capacidad total instalada de enfriamiento de aproximadamente 9.200 TR. Se espera implementar un tanque de almacenamiento de frío de 9.000 TR. [10] [11]

El último proyecto se encuentra en estudio; distrito de enfriamiento La Loma en Barranquilla, Atlántico. Este proyecto comprende cuatro unidades funcionales, una de esta es La Loma, en el Gran Malecón, donde se contempla tener 20 manzanas de uso residencial, 4 de uso mixto, 1 para hotel y un centro comercial, y otra para reubicar la alcaldía. El proyecto La Loma tendrá una demanda estimada de 86.959 TR. Además, es importante mencionar que el gobierno colombiano incentivó el Primer Concurso Universitario de Distritos Energéticos en Colombia dirigido al proyecto La Loma para permitir la vinculación de la academia en el desarrollo conceptual y preliminar del mismo. [12]

Finalmente, el desarrollo de distritos energéticos en Colombia irá en aumento ya que como se menciona en el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022, el gobierno está “promocionando nuevos distritos térmicos en cinco ciudades del país mediante estudios de identificación y caracterización de zonas potenciales”. [13]

1.2. Distrito de enfriamiento

1.2.1. Conceptos básicos

Los distritos de enfriamiento, según la ASHRAE, “están compuestos en tres partes: la planta central de producción de agua fría, la red de distribución y el sistema de conexión con el usuario”.

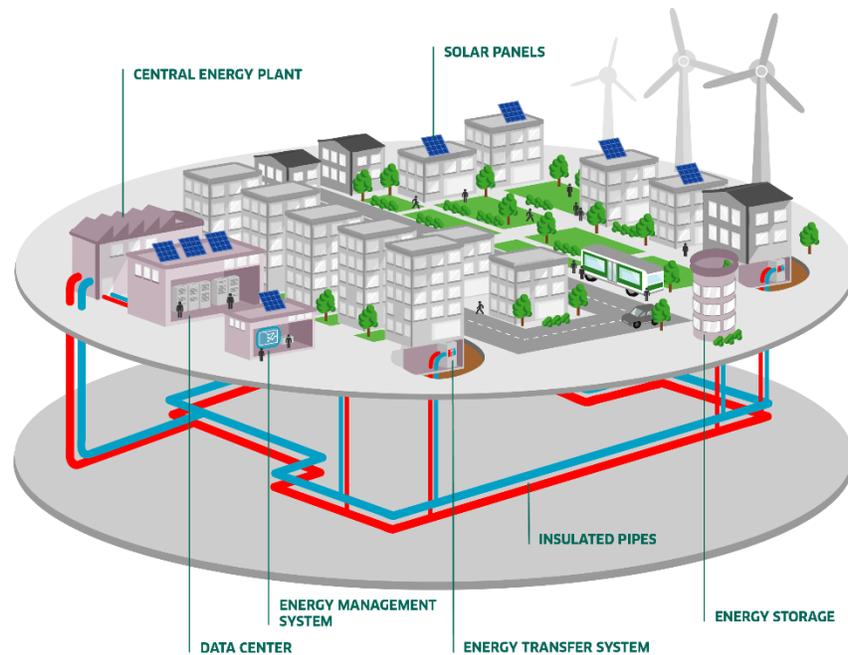
Los equipos que se usan en el distrito se dividen en primarios, que son los enfriadores y los equipos de generación o fuente de energía, y los auxiliares como torres de enfriamiento, bombas y tanque de almacenamiento de frío, estos equipos forman en conjunto la central de enfriamiento, dicha central es un edificio independiente al usuario.

La distribución de agua fría se da mediante tuberías de materiales con propiedades aislantes, y en ocasiones, cuentan con un recubriendo aislante que disminuyen aún más las ganancias de calor. El sistema de distribución es una red de ciclo cerrado.

Es importante comprender que en la frontera con los usuarios se encuentra un intercambiador de calor, que suele ser de tubo y carcasa o de placas, donde hay transferencia de calor entre el fluido del distrito y el del usuario, es decir, son fluidos completamente independientes y de igual manera su sistema de bombeo.

En otras palabras, el agua es enfriado por equipos de enfriamiento, luego es dirigido hacia la red de distribución mediante el sistema de bombeo, después de atravesar el sistema de distribución el agua llega al intercambiador de calor del usuario, para luego, retornar a la central de enfriamiento y repetir el ciclo nuevamente. Ver **Imagen 1**

Imagen 1. Diagrama básico de un distrito de enfriamiento.



Fuente: [14]

Para dimensionar correctamente un distrito de enfriamiento es necesario cumplir una serie objetivos básicos que garanticen que todos los componentes del distrito operen de manera óptima y armónica entre sí:

- Operar los equipos en sus puntos de mayor eficiencia para minimizar los consumos de energía y prolongar su vida útil.
- Usar la menor cantidad de agua posible en el sistema de distribución, sobre todo cuando el sistema se encuentra en su máxima carga.
- Determinar lo mejor posible el comportamiento del consumo de frío en los usuarios.

La estimación de las cargas de enfriamiento para establecer la capacidad de producción de frío necesaria durante la vida útil del proyecto es una tarea que se complica por los intentos de desarrollar perfiles de carga para cada edificio basados en herramientas computacionales, pero para sistemas grandes que distribuirán frío a decenas e incluso cientos de edificios, la experiencia indica que los análisis de carga basados en estas herramientas para cada edificio pueden no ser necesarios, ya que acomplejan el proyecto y en ocasiones no son valores reales o próximos. Esto debido a que la mayoría de las herramientas solo tienen en cuenta las ganancias de calor generadas por fuentes externas a la edificación, además, las pocas herramientas que ofrecen un análisis profundo de cargas requieren una cantidad de detalle de datos que como se mencionó anteriormente solo acomplejan el proyecto. Por esta razón, no se puede dar demasiada credibilidad a las cargas calculadas por un programa de computadora sin una observación adecuada de la realidad.

El uso de densidades de carga unitarias adecuadas en tonelada por metro cuadrado, a menudo proporciona estimaciones de precisión óptimas cuando se considera la combinación de edificios de diferentes sectores y que realizan diferentes actividades. En resumen, las opciones para obtener datos de carga son: datos de medición de energía de un sistema de monitoreo, lecturas del medidor del edificio o del equipo, modelado de energía por computadora; requiere calibración para edificios existentes, capacidad instalada del equipo y densidades de carga para capacidad por unidad de área, es decir, tonelada por área.

Si bien todos estos métodos pueden ser aplicables a las futuras edificaciones, se recomienda el uso del modelado por computadora, por otro lado, la mejor opción para edificaciones existentes es censar su carga térmica o usar coeficientes de carga de enfriamiento por unidad de área, este último siendo útil para ambos casos. Dichos datos deben usarse con extrema precaución dada la variabilidad de las cargas entre los tipos de instalaciones, o incluso dentro de un tipo de instalación dado, debido a factores como la ocupación, el clima, la construcción de edificios, etc. Estos coeficientes son de la Guía de Distritos de Enfriamiento de la ASHRAE y se pueden encontrar en el **Anexo 2** del presente trabajo. [15]

1.1.1.

1.2.2. Efecto invernadero

El efecto invernadero es un proceso natural que hace posible la vida en la superficie terrestre. Con el fin de mantener su balance energético, la tierra emite al espacio parte de la radiación que recibe del sol. Es decir, el sol emite una cierta cantidad de radiación, la cual entra un porcentaje de esta a la tierra debido a la protección que la atmosfera ofrece, estos chocan con la superficie terrestre y se reflejan, antes de salir al espacio los rayos calientan los gases presentes naturalmente en la atmosfera como: vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, lo que genera unas condiciones adecuadas para la vida humana.

No obstante, la actividad humana a partir de la revolución industrial ha generado un incremento de gases de efecto invernadero en la atmosfera, tales como: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, compuestos clorofluorocarbonados y otros gases de efecto invernadero, aumentando las concentraciones a una razón superior a las que la biosfera y océanos pueden asimilar. Como resultado, la atmosfera retiene una mayor cantidad de radiación, aumentando la temperatura promedio global, y así causando calentamiento global y, por consiguiente, el cambio climático.

1.2.3. Calentamiento global

A causa del efecto invernadero y, especialmente, de las acciones de los seres humanos que han amplificado y acelerado este fenómeno, como consecuencia se ha inducido un cambio en los diferentes factores climáticos, pero principalmente en la temperatura global. En el Instituto Goddard para Estudios Espaciales de la NASA, se muestra que entre 1880 y 2017 ha aumentado la temperatura promedio global en un 0,9 °C. [16] Con tendencia a continuar aumentando en un escenario donde no se tomen medidas.

Este incremento en la temperatura global se debe principalmente a la quema indiscriminada de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, transporte, calefacción y para procesos industriales, resultando en un aumento de dióxido de carbono.

Tratamiento inadecuado de residuos en rellenos sanitarios, plantación de cultivos como la palma de aceite y arroz, la ganadería. En resumen, aquellas actividades que requieren el cambio de uso de suelo y tras su actividad

alteran los componentes orgánicos de la tierra, resultando en un aumento de metano.

El uso excesivo de fertilizantes en la agroindustria, resultando en un aumento de óxido de nitrógeno.

La utilización de sustancias HCFCs que, aunque reemplazan a las CFCs y son inofensivos para la capa de ozono, generan un incremento en el efecto invernadero.

La deforestación despiadada causa un descenso en la capacidad de absorción de dióxido de carbono que poseen los bosques por naturaleza.

Según la Administración Nacional del Océano y la Atmosfera, el 25% del dióxido de carbono emitido a la atmosfera es absorbido por los océanos, sin embargo, al sobrepasar sus límites causan acidez generando muerte de la fauna y flora del océano. [17]

El incremento poblacional requiere de un aumento en la disponibilidad de recursos, lo que conlleva a acelerar la emisión de gases de efecto invernadero.

1.2.3.1. Gases de efecto invernadero

De forma natural, la atmosfera está compuesta por gases de efecto invernadero. Sin embargo, el incremento de su concentración en la atmosfera ha generado un significativo aumento en la temperatura global. Según el IDEAM, 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. [2]

Debido a las consecuencias que los gases de efecto invernadero pueden tener sobre la atmósfera es importante reconocer que se deben registrar las emisiones y absorciones de estas, creando así un inventario de gases de efecto invernadero. Las estimaciones de dicho inventario se hacen para las sustancias principales y finalmente se reportan en una unidad común denominado CO_{2eq}.

Para el 2012, según el Banco Mundial, se han generado un total de 53,5 GTON de CO_{2eq}. Aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% desde 1991, donde poco más de 0,834 GTON de CO_{2eq} son

sustancias HFCs, lo que representa el 1,55% de las emisiones totales. [18]
[19]

Así mismo, el registro de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia muestra que para el 2012 se emitieron 258,8 Mton CO_{2eq}. El CO₂ representan el 73,98% de las emisiones totales del país, el CH₄, ocupa el segundo puesto con un 16,99%, y los HFCs con una participación del 0,4% en Colombia. [1]

En Colombia, el mayor consumo de sustancias agotadoras del ozono y con potencial de calentamiento global es en el sector de refrigeración y aire acondicionado con un 65%. El consumo de HCFCs fue de 1.787,8 Ton para el año 2016. Las sustancias de mayor consumo son las HCFC – 141b y el HCFC – 22, los cuales representan el 90% del consumo del país, por otro lado, el mayor consumo de sustancias HFCs equivalente al 70% están en el HFC – 134a, el cual es el refrigerante principal para aire acondicionado móvil, doméstico y comercial por su bajo nivel de impacto ambiental. [20]

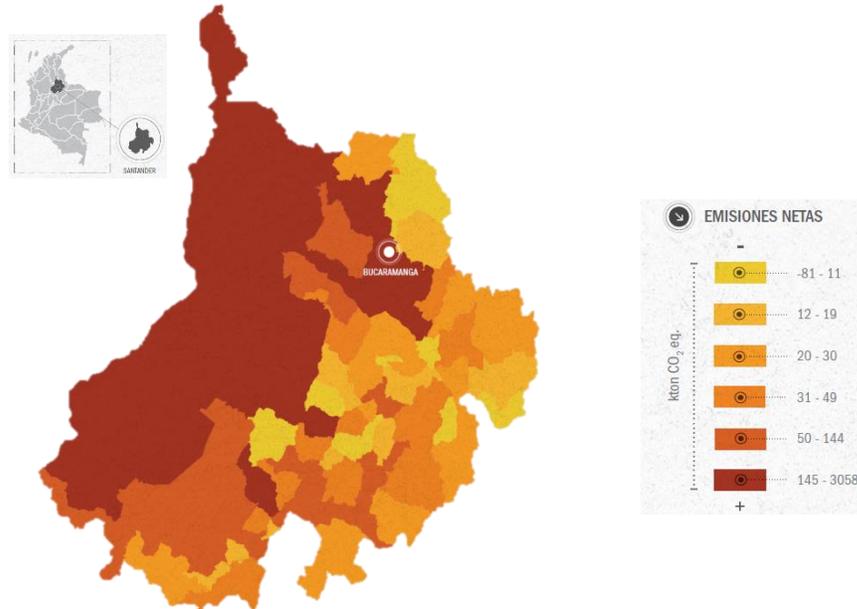
El consumo de HFC paso de 1.153 Ton en 2010 a 1.903 Ton en 2014, lo que llevo a un aumento en emisiones del 122,2% en ese lapso, pasando de emitir un total de 850,76 kTon de CO_{2eq} en el 2010 a 1.890,72 kTon de CO_{2eq} en 2014. En cuanto al consumo de sustancias HFC, el sector refrigeración y aire acondicionado es el sector con mayor participación del 93%, seguido del uso de espumas y aerosoles. [21] Debido a que los HFC tienen un alto potencial de calentamiento global, se implementa la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal. [22]

El sector económico donde se concentran las emisiones de este último gas de efecto invernadero letal son: comercial, IPPU (procesos industriales y uso de productos) y residencial, con 12,66%, 5,5% y 0,68%, respectivamente en escala 100% a la participación individual de cada sector a las emisiones nacionales. [21] [23] Específicamente, la carga de refrigerante en kg instalados en Colombia para el año 2014 para el sistema de aire acondicionado en edificios no residenciales, hospitales y clínicas, hoteles, centros comerciales y supermercados fueron de 26,78%, 3,03%, 5,97%, 3,44% y 14,77%, respectivamente, esto puede significar un aporte total de 54% de 8.000 Ton de refrigerante y 33,1 kTon de CO_{2eq}. [24]

El departamento de Santander aportó al país 14.379 kTon de CO_{2eq} para el año 2012, convirtiéndolo en el 5 departamento con mayor emisión de GEI a nivel nacional, donde el 0,52% fueron por usos de HFCs. Las zonas con mayor aporte de GEI son el área metropolitana de Bucaramanga y la zona occidente del departamento donde la principal actividad económica es la

extracción y procesamiento de gas y petróleo y el sector agroindustrial enfocado a la palma africana. Ver **Imagen 2**.

Imagen 2. Mapa de Santander de emisiones de CO₂ Equivalentes – 2012.



Fuente: Inventario departamental de gases de efecto invernadero - IDEAM

1.2.3.2. Potencial de agotamiento de ozono

La capa de ozono como su nombre lo dice está compuesto en su mayoría por ozono, y nos protege de la radiación emitida por el sol. Una vez la concentración de gases de efecto invernadero aumenta en la atmósfera, específicamente en la estratósfera, estos gases comienzan un proceso de separación debido a los rayos ultravioleta, para posteriormente reaccionar con el ozono allí presente. Esta reacción en cadena causa que la concentración de ozono disminuya poco a poco y genera espacios en la capa, de esta manera más radiación solar puede atravesar, y llegar a la superficie terrestre.

Por lo tanto, el indicador de potencial de agotamiento de ozono cuantifica el potencial de efecto de destrucción de la capa de ozono de un refrigerante en relación con el R11 o CFC – 11, cuyo potencial de agotamiento de ozono es igual a 1. [3]

1.2.3.3. Potencial de calentamiento global

El PCG, corresponde a un valor numérico adimensional y representa la capacidad de un gas para almacenar radiación proveniente de la superficie terrestre, en comparación al CO₂. Por ejemplo, el refrigerante R 410a posee un PCG de 1.725 lo que quiere decir que, 1 kg de esta refrigerante causa el mismo efecto que 1.725 kg de CO₂ en la atmosfera. Este potencial de calentamiento se evalúa a un horizonte de tiempo de 20, 100 y 500 años, donde el más usado es 100 años. En la mayoría de los casos el PCG disminuye con el paso del tiempo, ya que de forma natural los gases son removidos lentamente de la atmosfera, siendo así, si se evalúa el impacto de estos gases en un largo tiempo, se puede notar que el PCG disminuye.

Actualmente, en el quinto informe de evaluación hecho por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático se encuentran los valores de PCG correspondientes a los diferentes gases presentes en la atmosfera, este es el último estudio realizado, el cual debe ser tomado como referencia para estudios de impactos de gases en el calentamiento global. [25]

1.2.3.4. Cambio climático

El cambio climático son todas aquellas repercusiones que han generado las actividades humanas con el paso del tiempo, estos cambios están especialmente relacionados con el calentamiento global. Esta elevación en la temperatura global tiene efectos catastróficos como fuertes tormentas, sequia, incendios, inundaciones, derretimiento de los polos y el incremento en el nivel del mar. [26]

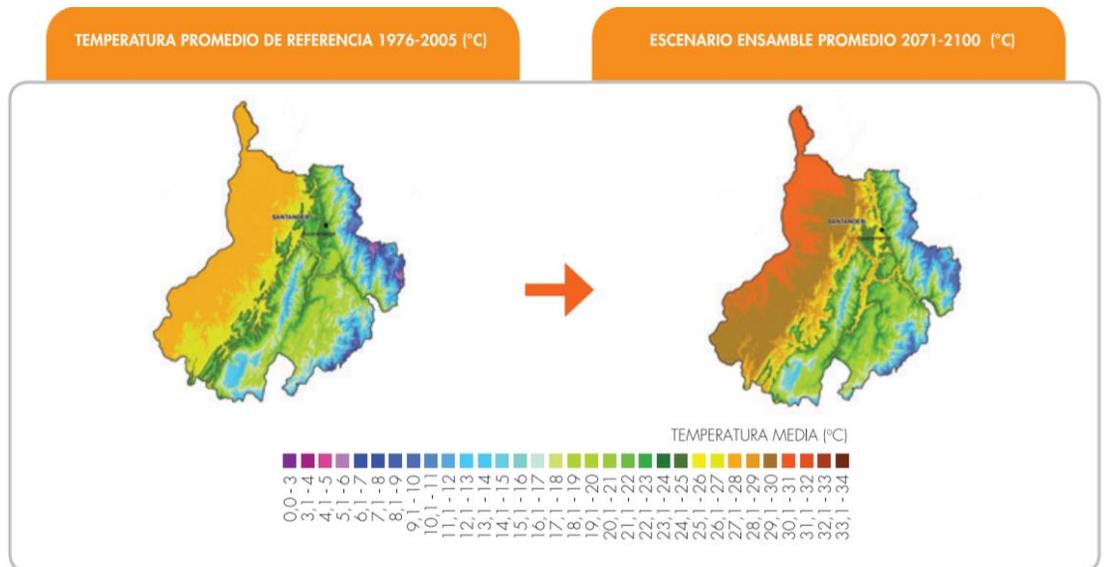
En particular, la NASA público que el dióxido de carbono aumento a 412 ppm, el incremento de la temperatura ha sido de 0,82 °C, la extensión del ártico se ha reducido a una tasa de 12,8% por década, de la misma manera, la capa de hielo de la antártica disminuye a una tasa de 413 GTon por año, lo que ha generado un incremento en el nivel del mar de 3,3 mm por año. [16]

A nivel nacional, el aumento del nivel del mar en las costas colombianas hacia 2050-2060 está alrededor de 5 mm, además, la temperatura podría aumentar entre 1 °C y 2 °C, lo que genera los incendios que hoy en día

estamos viendo. También se estima cambios en la precipitación de diferentes regiones del país entre $\pm 15\%$. Los ecosistemas de los páramos se verán reducidos y se cree que el arroz, tomate de árbol, trigo y papa serán los cultivos más vulnerables al cambio climático. Por otro lado, la salud humana se verá bastante afectada por la radiación solar y principalmente por la malaria y el dengue. Finalmente, el 50% del país está catalogado como alta y muy alta en vulnerabilidad por el cambio climático ante una duplicación de CO₂. Se esperan cambios drásticos en la región amazónica. [27]

Específicamente en Santander, se espera que para el 2100 la temperatura promedio aumente en 2,5 °C. Los mayores aumentos se pueden dar en la provincia de Vélez, Mares y el norte de Soto. [23] Ver **Imagen 3**.

Imagen 3. Mapa de Santander Temperatura promedio.



Fuente: [43].

1.2.3.5. Protocolo de Montreal

Hacia el año 1930, el químico Thomas Midgley desarrollo los primeros gases refrigerantes que no eran inflamables ni tóxicos, iniciando el uso de los clorofluorocarbonados. Su éxito en la generación de frio llevo a que la se incrementara la producción de estos gases para los sistemas de aire acondicionado en un 20% hacia 1960. Hacia los años 70, el mundo se encontraba emitiendo alrededor de un millón de toneladas de refrigerante

por año a la atmosfera, sin pensar en las consecuencias que estas acciones tendrían en el futuro.

Debido a los descubrimientos de los agujeros en la capa de ozono se decidió actuar mediante un protocolo, denominado Protocolo de Montreal en el año 1987, donde se establecieron mecanismos para eliminación gradual tanto de la producción como del uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono, con obligaciones según sea el aporte de cada uno de los países del protocolo. Es decir, los países industrializados se comprometieron a eliminar el consumo de estos gases y producción desde enero de 1996, y los no industrializados deben eliminar el 50% para el 2005, el 85% para el 2007 y la totalidad en el 2010.

Colombia logro reducir el 50% de sus emisiones desde diciembre del 2002, esto mediante la prohibición de fabricar e importar estos refrigerantes.

El protocolo ha venido logrando sus objetivos, y en paralelo, dinamizando la industria química para crear alternativas que sustituyan a los CFCs, como los HFCs, sustancias que no poseen potencial de agotamiento del ozono, sin embargo, poseen un potencial de calentamiento global y un tiempo de residencia en la atmosfera bastante alto, convirtiéndolos en gases de efecto invernadero más activos y con PCG más alto que el dióxido de carbono. [8]

En la actualidad, la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal tiene como objetivo evitar hasta 0,4 °C de calentamiento global para fines de este siglo y reducir la producción y los consumos proyectados de HFCs en un 80% durante los próximos 30 años. La enmienda entro con 65 países que ratificaron el acuerdo y entró en vigor desde el 1 de enero del presente año, 2019. Finalmente, esta nueva propuesta permite que el Protocolo de Montreal evolucione para mitigar las problemáticas actuales, aumentos en los gases de efecto invernadero. [22]

1.2.3.6. Protocolo de Kioto

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es un tratado internacional que busca solucionar las problemáticas generadas por el cambio climático. Su principal aporte fue de asignar protocolos de acción para países desarrollados y la obligación de países en desarrollo para generar balances de gases de efecto invernadero.

En 1997 entró en vigor el Protocolo de Kioto, donde asignaba a los países desarrollados metas de reducción de gases de efecto invernadero específicas, con el fin de reducir a 2012 al menos el 5% de sus emisiones en base a 1990.

Es necesario decir que la ambición en las metas esperadas por el Protocolo eran exigentes, además de la desigualdad que existía entre los países desarrollados y en desarrollo, lo que llevo a que se exigiera que los países en desarrollo asumieran compromisos de mitigación de emisiones. Estas discusiones generaron que se aplazaran los temas relacionados con el Protocolo. [28]

1.2.3.7. Acuerdo de Paris

El Acuerdo de Paris es un nuevo tratado internacional que fue adoptado en el 2015 por las partes de la Convención, COP 21, con el fin de combatir el cambio climático, acelerar los procesos de mitigación e intensificar las inversiones para lograr reducir las emisiones de carbono en la atmosfera.

La importancia de este acuerdo radica en que revivió la esperanza de estos procesos de mitigación de gases de efecto invernadero, frente a todos los problemas que presentaron sus antecesoras, logrando superar las divisiones entre países desarrollados y en desarrollo establecidas del Protocolo de Kioto. Finalmente, el Acuerdo de Paris estableció como meta principal mantener o disminuir, de ser posible, el incremento de la temperatura por debajo de 2 °C.

Colombia al ser parte del Acuerdo de Paris, se comprometió a reducir con el 20% de sus emisiones al 2.030 respecto a lo emitido en el 2010. La razón de la selección de este alto porcentaje, aun siendo un país con matriz energética altamente renovable, se debe a que se planteó como objetivo un escenario de mitigación donde la modernización y transformación de la economía no supere el costo de 20 dólares la tonelada de CO₂ reducida para las 71 medidas que analizadas en los diferentes sectores económicos del país. [29]

1.2.4. Enfriadores por Compresión de vapor

El ciclo de compresión de vapor fue el primer método inventado para retirar calor mecánicamente, y es el más usado para las aplicaciones de

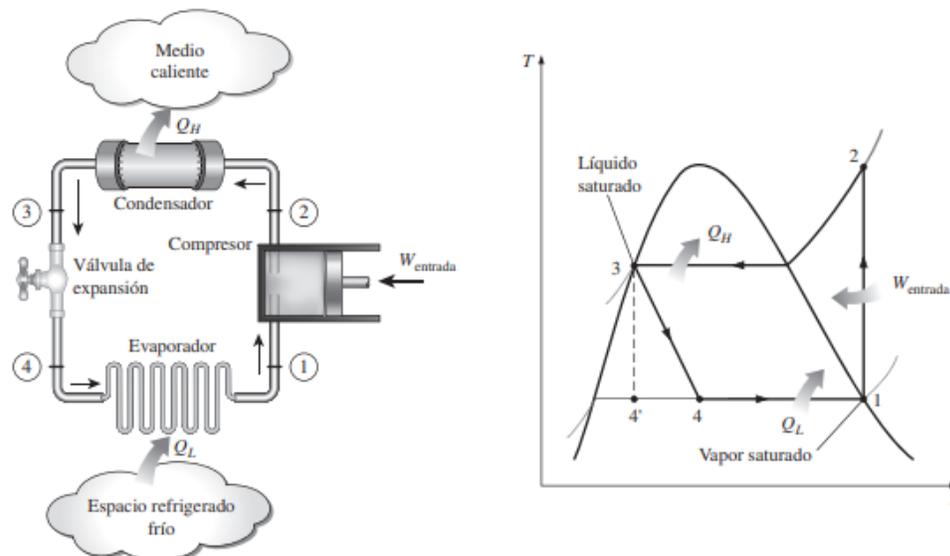
refrigeración, climatización y bombas de calor. Para su funcionamiento aprovecha las propiedades de algunos fluidos denominados refrigerantes, entre estas la más importante es que la temperatura de evaporación a presión atmosférica debe ser demasiado baja, alrededor de -40 a -50 °C. El ciclo se compone de 4 procesos que se llevan a cabo en dispositivos diferentes.

El primer proceso es una compresión isentrópica del refrigerante en estado gaseoso hasta llevarlo a la presión del condensador, este proceso se lleva a cabo en el compresor. El segundo proceso tiene cabida en el condensador, allí se libera el calor absorbido por el refrigerante al medio circundante, este proceso se da a presión constante y a la salida de este dispositivo el refrigerante se encuentra en líquido saturado.

En el tercer proceso, el refrigerante sufre una caída súbita de presión y temperatura, la encargada de este proceso es una válvula de expansión o un tubo capilar, el refrigerante entra al evaporador en un estado de vapor húmedo de baja calidad, este proceso idealmente es un proceso isoentálpico. Por último, el cuarto proceso da lugar a la absorción de calor en el evaporador, allí el refrigerante absorbe el calor suficiente para llegar hasta vapor saturado a temperatura y presión constante y nuevamente toma el primer proceso para reiniciar el ciclo. [30]

En la **Imagen 4** se muestra el diagrama $T - s$ y una ilustración del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Imagen 4. Ciclo de compresión de vapor y diagrama T vs s .



Fuente: [30]

1.2.5. Enfriadores por Absorción

La generación de frío a partir de una fuente de calor fue imposible hasta mediados del siglo XIX, cuando el Frances Ferdinand Carre patentó la maquina frigorífica que usaba la absorción de calor como método de refrigeración.

Este ciclo es muy similar a el ciclo de compresión, la variación está en la sustitución del compresor por una serie de procesos. Estos procesos se llevan a cabo en lugares denominados Absorbedor, regenerador, generador y rectificador; a continuación, se describe el proceso que sigue el amoniaco en el ciclo de absorción:

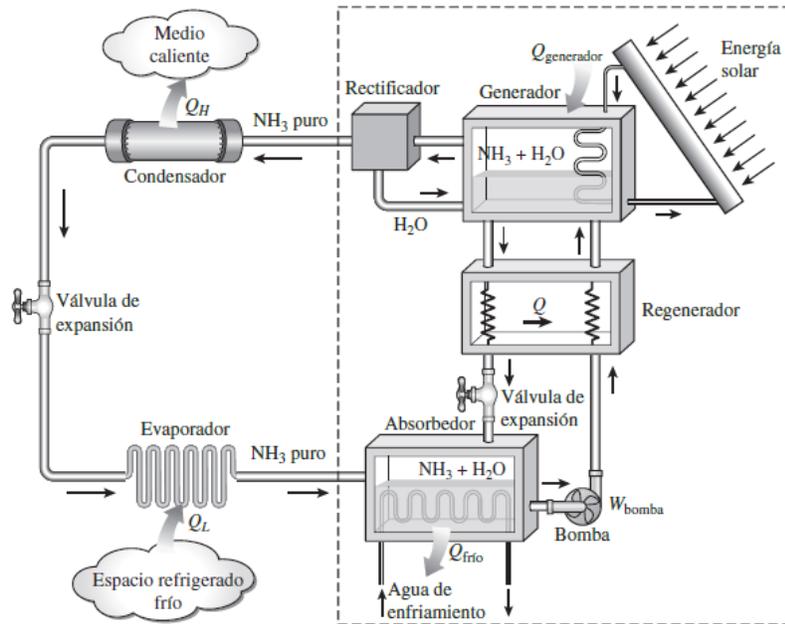
El refrigerante, al salir del evaporador entra a absorbedor, allí es disuelto en una mezcla pobre de amoniaco, este proceso es exotérmico y la cantidad de amoniaco que se puede absorber en el agua es inversamente proporcional a la temperatura de la mezcla, de esta manera se obliga a mantener un intercambio de calor constante para garantizar la mayor absorción posible del refrigerante en dicha mezcla.

Ahora, la mezcla rica en amoniaco es bombeada, en medio del proceso sufre una ganancia de calor en el regenerador y posteriormente llegar hasta el generador; lugar donde mediante inyección de calor el amoniaco es evaporado y llevado hasta el rectificador, allí se elimina completamente la composición de agua que pueda llevar el refrigerante, posteriormente es enviado al condensador y sigue el proceso como el ciclo de compresión de vapor hasta el evaporador.

La mezcla pobre resultante en el generador va hasta el absorbedor pasando por el regenerador y una válvula de expansión para nuevamente absorber el amoniaco que vuelve del evaporador. Y el ciclo se reinicia. Ver **Imagen 5**.

Existen diferentes mezclas usadas en este tipo de ciclos, la más usada es $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$, en esta mezcla el amoniaco se comporta como refrigerante y el agua como el fluido de transporte(absorbedor). Otras son las mezclas de Bromuro Litio – Agua, ($\text{BrLi-H}_2\text{O}$) y Agua – Cloruro de Litio, en los dos últimos el refrigerante es el agua; por esta razón las aplicaciones de estas dos últimas mezclas son donde la temperatura del refrigerante no esté por debajo de la temperatura de congelamiento del agua. [30]

Imagen 5. Ciclo de absorción.

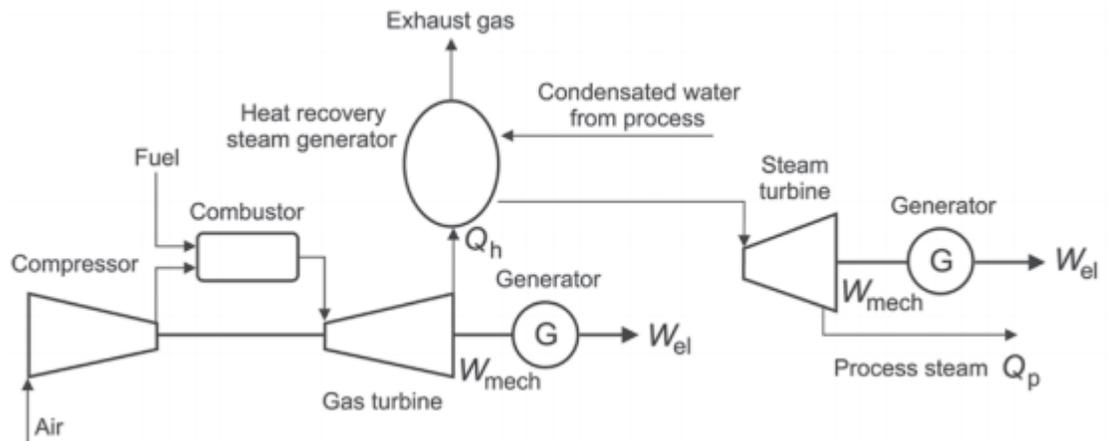


Fuente: [30]

1.2.6. Generación de agua fría con ciclo combinado de calor y potencia

Una de las principales configuraciones de distrito de enfriamiento mediante este método consiste en utilizar turbinas de gas para la generación de energía eléctrica que será usada en enfriadores de compresión, tras la quema de gas se generan gases de combustión los cuales son llevados a una caldera de recuperación y así aumentar la entalpia del agua, posteriormente el agua en forma de vapor se expande en una turbina de vapor para generar energía eléctrica que será usada en los enfriadores de compresión. Ver **Imagen 6**.

Imagen 6. Ciclo de calor y potencia.

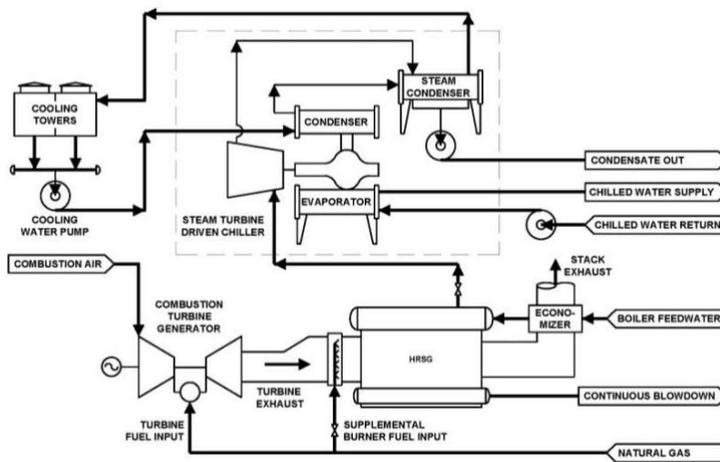


Fuente: [31]

Por otra parte, existe una variación en la configuración convencional de CHP que recibe el nombre de CCHP; el vapor generado en la caldera de recuperación va a una turbina de acoplada al compresor de un enfriador, de esta manera genera el par mecánico necesario para el funcionamiento y elimina el motor eléctrico convencional. [31] Ver **Imagen 7**.

El campus Keele de la Universidad York en Canadá, posee una carga pico de 21 MW eléctricos y 12.000 TR, mediante dos turbinas de gas de 5 MW suplen el 60% de la demanda eléctrica del campus, el calor generado en el proceso es usado para acondicionamiento de espacios durante el invierno, producción de agua caliente sanitaria, producción de agua fría para aire acondicionado mediante enfriadores de absorción y calentamiento de piscinas. [32]

Imagen 7. Ciclo combinado de enfriamiento, calor y potencia CCHP.



Fuente: [32]

1.2.7. Enfriamiento gratis o libre

Existen lugares en la naturaleza que desde el punto de vista energético son atractivos, por ejemplo, los lagos, lagunas, ríos y mares son recursos hídricos que poseen un potencial útil para ser usados en los distritos de enfriamiento; como es conocido, a medida que la profundidad en los cuerpos de agua aumenta la temperatura disminuye, esta variación en la temperatura permite a un distrito de enfriamiento sustituir los enfriadores, pues al obtener agua fría “gratis” de una de estas fuentes, no es necesario disminuir más su temperatura para llevar el agua al proceso de intercambio con los usuarios.

1.2.8. Almacenamiento de frío

El sistema de almacenamiento es una técnica usada en los distritos de enfriamiento donde la demanda es muy irregular, es decir, existen momentos con picos muy altos de demanda para suplir, pero también valles donde la demanda es demasiado baja, Este comportamiento afecta indudablemente el desarrollo de un proyecto pues, se debe contar con muchos equipos para los momentos pico y en valles se mantendrían apagados o en el peor de los casos trabajando a cargas muy bajas donde la eficiencia cae drásticamente. Ante estos casos la ingeniería opto por implementar diferentes tecnologías de almacenamiento para mejorar la forma de carga de los equipos; estos sistemas principalmente buscan que los enfriadores trabajen a un régimen constante y permitiendo un aumento en la eficiencia global del distrito, para lograrlo se implementan sistemas bidireccionales donde en momentos valle los equipos almacenan la energía sobrante y en momentos picos donde los equipos no pueden suministrar la capacidad demandada toman esta energía almacenada como respaldo.

1.2.9. Fuentes primarias de energía distrital

Hoy en día los distritos de enfriamiento requieren aprovechar al máximo los recursos disponibles en la naturaleza, para ello, se han desarrollado innumerables tecnologías cada vez más diversas en cuanto a su fuente

primaria de energía. El uso de energías renovables son solo unas de las diferentes alternativas existentes para la diversificación de la canasta energética primaria del distrito de enfriamiento. Se sugiere que están fuentes energéticas renovables como la solar, eólica y geotérmica aporten en gran porcentaje a la energía demandada por el distrito.

Existen tres grandes grupos donde se pueden contener todas las configuraciones de energía primaria que se puede usar para refrigeración: enfriamiento mediante enfriadores eléctricos, enfriamiento gratis y enfriamiento mediante enfriadores de absorción.

El primer grupo únicamente usa electricidad, esta puede provenir de fuentes renovables o no, también puede obtenerse mediante un ciclo combinado de calor y potencia, por ejemplo: en Doha la capital de Qatar se encuentra construido el distrito de enfriamiento la Perla, este se caracteriza por ser el más grande en su especie con una capacidad instalada de 130.000 TR.

En el segundo grupo consiste en utilizar el potencial existente en la naturaleza a través del uso de agua fría presente en los lagos o lagunas profundas un claro ejemplo de este método utilizado es en el distrito de enfriamiento de Toronto el cual aprovecha mediante bombas e intercambiadores de calor el agua fría del lago Ontario, posee una capacidad instalada de 75.000 TR

Por último, los enfriadores por absorción de calor soportan una gran cantidad de fuentes primarias de energía, pues estos pueden producir frío a partir de: flujos de calor residual, incineración de residuos, gases de combustión y flujos de procesos, adicionalmente se puede combinar con CHP Y CCHP. El nuevo parque olímpico de Londres cuenta con aproximadamente 1.200 TR instaladas con esta tecnología y funciona en el verano cuando la demanda de calor es baja. [32]

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Elaborar un estudio de ingeniería conceptual de un distrito de enfriamiento en el área metropolitana de Bucaramanga.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar zonas potenciales para la implementación de un distrito de enfriamiento.
- Estimar el potencial de la demanda de enfriamiento de la zona seleccionada.
- Conceptualización técnica de un distrito de enfriamiento basado en el potencial identificado.
- Realizar un análisis financiero al dimensionamiento del distrito de enfriamiento.

3. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo de grado y ejecutar exitosamente cada uno de los objetivos específicos propuestos, se identificaron 4 fases y diferentes actividades esenciales para las mismas.

3.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras.

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de los distritos energéticos.
- Buscar los diferentes métodos usados para la conceptualización de un distrito de enfriamiento.
- Consultar con personal con experiencia en distritos de enfriamiento las posibles dudas generadas.
- Definir criterios para tener en cuenta y las posibles barreras del proyecto.

3.2. Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío.

- Realizar un barrido al mapa del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de localizar, mediante observación, lugares con potencial para el distrito de enfriamiento.
- Seleccionar un área con potencial de frío a trabajar teniendo en cuenta los criterios de selección.

3.3. Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.

- Realizar un acercamiento con cada uno de los potenciales usuarios del distrito de enfriamiento.
- Recopilar información del sistema existente.
- Determinar el comportamiento de carga con perfiles tipo o específicos de cada usuario.

3.4. Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.

- Definir el sitio de instalación de la planta generadora de frío.
- Establecer el factor de ganancia de calor en el sistema.

- Definir la curva de demanda que seguirá el distrito y calcular la capacidad de generación de la central.
- Elegir los equipos de enfriamiento.
- Establecer condiciones de operación.
- Calcular los flujos de agua requerido por el sistema de distribución y de refrigeración de los equipos.
- Determinar diámetros, material y distancias equivalentes de la red de distribución.
- Calcular las pérdidas del sistema de distribución.
- Elegir las torres de enfriamiento.
- Elegir las bombas necesarias para la operación del distrito.
- Calcular la cantidad de equipos de enfriamiento, bombas y torres de enfriamiento requeridos.
- Calcular la cantidad de energía requerida por los equipos.

3.5. Fase 5: Análisis económico preliminar del proyecto.

- Recopilar información acerca de factores de costos por tonelada de refrigeración para cada uno de los componentes necesarios.
- Determinar el costo nivelado de la tonelada de refrigeración del distrito de enfriamiento planteado.
- Realizar el flujo de caja del proyecto y obtener indicadores financieros.

4. Desarrollo

4.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras.

- **Realizar una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de los distritos energéticos.**

La búsqueda de información relacionada con los distritos de enfriamiento se hace por medio de documentos guía, entidades internacionales relacionadas y profesionales con experiencia en el campo, pues es necesario conocer el funcionamiento técnico, recomendaciones de entidades con bastos conocimientos en este ámbito y experiencias aprendidas.

La información disponible acerca de distritos de enfriamiento es reducida, razón por la cual este trabajo se fundamentará principalmente de La Guía de Distritos de Enfriamiento de la ASHRAE, la Guía Teórica y Práctica de Distritos de Enfriamiento escrita por el Doctor Alaa Olama; estas brindan más información para el dimensionamiento básico de un distrito de enfriamiento, sugerencias y ejemplos de la vida real en diferentes lugares del mundo. De la misma manera, se tendrán en cuenta los documentos relacionados con estudios y experiencias aprendidas por parte de empresas colombianas como EPM y entre otros involucrados en este tipo de proyectos.

- **Buscar los diferentes métodos usados para la conceptualización de un distrito de enfriamiento.**

Sabiendo que los métodos de cálculo de carga de enfriamiento son: modelamiento de la carga con software especializado, uso de factores de carga por unidad de área, monitoreo del consumo de energía del sistema de climatización o barraje general, mediciones físicas a la infraestructura, análisis de los recibos de consumo de energía, entre otros. Se debe tener en cuenta que para la selección del método de cálculo de la carga de enfriamiento de los usuarios se necesita tener en cuenta que las edificaciones son existentes, se cuenta con escasa información pública de la obra civil ni otro tipo de información detallada requerida por herramientas de cálculo de cargas de enfriamiento, y que comúnmente las empresas no comparten este tipo de información.

se establece que la información pública de más rápido acceso son las áreas y la cantidad de pisos que tienen cada edificación, mediante la herramienta de Google Maps. Para determinar la curva de comportamiento del distrito de enfriamiento se usarán curvas de consumo de energía eléctrica proveniente del tratamiento de datos de los consumos de energía horarios de 6 meses de los usuarios para determinar el comportamiento de la demanda de enfriamiento del distrito, y en caso de no ser posible obtener dichas curvas, se hace uso de comportamientos de carga de enfriamiento encontrados en literatura.

Se aclara que los datos de consumo de energía son de propiedad de la Electrificadora de Santander S.A ESP y no serán publicados en este documento debido a un acuerdo de confidencialidad existente para con la empresa y sus usuarios. Sin embargo, el tratamiento de dichos datos podrá usarse solo si no revela información sensible directa o indirectamente del usuario. Dicho acuerdo se puede revisar en detalle en el **Anexo 12**.

- **Consultar con personal con experiencia en distritos energéticos las posibles dudas generadas.**

A través de videoconferencias, llamadas telefónicas y correos electrónicos se establece comunicación con profesionales en el tema de distritos de enfriamiento en Estados Unidos y Colombia; ellos aportan al proyecto información de vital importancia para su desarrollo, entre la cual se encuentran metodologías usadas, documentos guía y experiencias vividas en sus campos de trabajo.

- **Definir criterios para tener en cuenta y las posibles barreras del proyecto.**

Se debe realizar una búsqueda de los criterios que han tenido otros distritos para su planeación, ejecución y operación, incluso se debe profundizar en las normas o reglamentos que puedan existir para llevar a cabo este proyecto en Colombia.

4.2. Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío.

- **Realizar un barrido al mapa del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de localizar, mediante observación, lugares con potencial para el distrito de enfriamiento.**

Inicialmente, se hace uso del buscador de Google Maps para identificar usuarios potenciales en el área metropolitana de Bucaramanga, estos pueden ser: hoteles, hospitales, clínicas, universidades, centros de negocios, centros comerciales, grandes superficies de comercio y en general, empresas que por su actividad económica se vean obligados a hacer uso de grandes sistemas de climatización.

Una vez identificados los potenciales usuarios se procede a realizar un enlistado de los mismos registrando al tiempo su área y su cantidad de pisos. Se debe tener en cuenta que esta área hace referencia al área climatizada y de la misma manera con los pisos, únicamente los que se encuentren climatizados, esto mediante la herramienta de medición de área de Google Maps. Debido a que no se conoce con exactitud el área únicamente climatizada entonces se hace la aclaración de que dichos datos son solo un estimado de la posible carga de enfriamiento existente. Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se realiza el cálculo de estimación de la demanda de cada edificación usando el método anteriormente definido.

$$Q_i = A_c * P * FC \quad (1)$$

Donde,

Q_i es la demanda de enfriamiento por usuario en TR, A_c el área de climatización en m^2 , P la cantidad de pisos y FC el factor de carga en TR/ m^2 .

Es necesario tener en cuenta que el uso de los factores de carga de enfriamiento varía según el tipo de actividad económica y que el uso de los mismos depende del criterio de la persona que diseña el sistema de climatización, por esta razón, y debido a que, por experiencias de otros distritos las edificaciones no cuentan con estudios detallados de diseños de su sistema climatización, y que por lo general instalan el mínimo requerido para confort, se hará uso inicial de los factores más bajos ofrecidos por la ASHRAE.

Con la información ordenada y registrada, se procede a hacer uso de la herramienta Power Maps de Excel y generar un mapa de calor para conocer la concentración del potencial de enfriamiento.

- **Seleccionar un área con potencial de frío a trabajar teniendo en cuenta los criterios de selección.**

Haciendo uso del mapa de calor generado en la actividad anterior se identifican las áreas donde se concentra la mayor cantidad de carga de enfriamiento en el área metropolitana de Bucaramanga. En caso de que existan usuarios con alta carga muy lejano a otros entonces se descartara debido a que la viabilidad del distrito depende de conectar la mayor cantidad de carga en la menor área posible. Por último, de existir una similitud entre áreas por densidad de carga, se aplicarán los criterios restantes como: disponibilidad de red eléctrica y una localización con el uso de suelo adecuado para el distrito.

4.3. Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.

- **Realizar un acercamiento con cada uno de los potenciales usuarios del distrito de enfriamiento.**

Para el acercamiento con las empresas que integran el área seleccionada se entrega de manera física a la secretaria de administración, jefes de mantenimiento o el respectivo encargado, dos cartas donde la primera se evidencia la intención que tiene el proyecto y el cómo se podría gestionar la participación de las edificaciones en el mismo, una segunda carta, brinda información detallada del proyecto como resumen ejecutivo, metodología y beneficios por ser partícipes. Adicionalmente a la entrega física se envía por correo electrónico los mismos documentos, ya que esto agiliza el escalamiento del proyecto a las personas pertinentes.

- **Recopilar información del sistema existente.**

Mediante recorridos por las empresas se hace un reconocimiento visual del tipo de sistema de aire acondicionado instalado actual en las diferentes edificaciones, es necesario establecer que edificios cuentan con sistemas centralizados y cuales deben realizar modificaciones en la estructura actual para lograr adaptar la edificación para un futuro distrito de enfriamiento. Seguidamente, se realiza una encuesta a la persona encargada del sistema de aire acondicionado, normalmente el jefe de mantenimiento, para lograr establecer principalmente la capacidad de enfriamiento nominal, horarios de uso y tipo de

refrigerante. La encuesta contara con datos secundarios que pueden ser de ayuda más adelante para establecer indicadores o generar futuros criterios.

En caso de no conocer el dato de la capacidad de enfriamiento instalada en cada usuario, se continúa trabajando con la carga de enfriamiento calculada anteriormente.

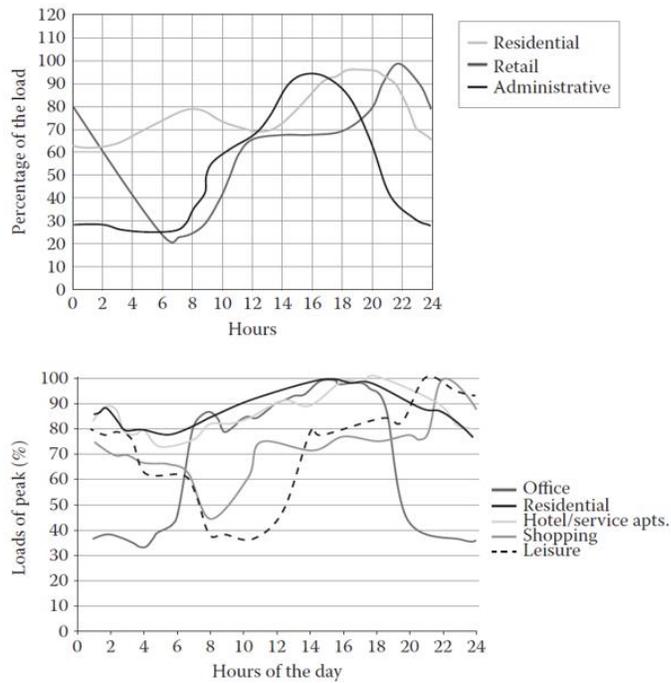
- **Determinar el comportamiento de carga con perfiles tipo o específicos de cada usuario.**

Se cuenta con una base de datos de propiedad de la Electrificadora de Santander S.A ESP, los cuales son de carácter confidencial, con registros de consumo de energía eléctrica activa horaria de aproximadamente 6 meses del barraje principal. Esta base de datos conformara los perfiles del consumo de energía térmica promedio horario de cada una de las empresas de las cuales se cuenten con dichos datos, esto debido a que no todas se encuentran teled medidas por la ESSA. Además, se aclara que debido a que el consumo de energía eléctrica en los sistemas de climatización o aires acondicionados abarcan más del 60% de su demanda, esto es visible en el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022 por la UPME y el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, entonces es posible asumir que el perfil de carga eléctrico de un usuario se ve mayormente afectado por el sistema de climatización en los sectores comerciales, hoteleros y públicos.

Una vez conocidas las curvas de consumo de energía eléctrica, se divide cada dato horario en el mayor de estos, para obtener un comportamiento en por unidad, es decir, el perfil térmico.

En caso de que el usuario no exista en la base de datos mencionada, se hace uso de perfiles de carga de enfriamiento según actividad económica provenientes del manual de Alaa Olama para distritos de enfriamiento, ver **Imagen 8**.

Imagen 8. Perfiles de comportamiento según actividad.



Fuente: [33]

Por último y en caso de ser necesario, se realizarán modificaciones a los valores del comportamiento de los perfiles de consumo de energía térmica de cada usuario con el fin de que este sea más acertado al real.

4.4. Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.

Antes de iniciar esta fase se debe aclarar que el distrito se desarrollará en 3 etapas, para la primera etapa se establece un radio de acción de 0,4 km, para el segundo 0,8 km, y finalmente, 2,2 km.

- **Definir el sitio de instalación de la planta generadora de frío.**

Para definir el sitio donde se instalará la planta del distrito se hace uso del método del centro de gravedad, el cual tiene en cuenta el requerimiento de enfriamiento de cada usuario y su respectiva localización, para obtener así las coordenadas óptimas donde se instalará la planta reduciendo así pérdidas por fricción en las tuberías y posibles aumentos en la ganancia de calor en la red de distribución.

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} \cdot Q_i}{\sum Q_i} \quad C_y = \frac{\sum d_{iy} \cdot Q_i}{\sum Q_i} \quad (2)$$

Donde,

d_{ix} Longitud del usuario, d_{iy} Latitud del usuario, Q_i Demanda de enfriamiento y C_x y C_y son longitud y latitud respectivamente donde se instalaría el distrito.

Una vez obtenidas las coordenadas donde se recomienda la instalación del distrito, el paso a seguir es consultar en la cámara de comercio el tipo de actividad económica la cual desarrolla actualmente en Colombia un distrito de enfriamiento, posteriormente en el área de planeación de la alcaldía se consulta el código POT respectivo al código CIU obtenido en la cámara de comercio, adicionalmente, se consultan las posibles restricciones que se deban tener en cuenta al momento de construir el distrito. Finalmente, en el mapa del POT donde se discrimina las áreas de actividad en el uso suelo urbano se revisa si es posible hacer uso del espacio determinado posteriormente se verifica si existe disponibilidad, es decir, se encuentra vacío. En caso de que el espacio determinado con el método de centro de gravedad no cumpla con alguno de los criterios mencionados anteriormente, se selecciona el espacio disponible más cercano a dicho centro.

Se debe tener en cuenta que para este proyecto se establece el no uso de zonas verdes o áreas protegidas y solo se instalara el distrito donde sea posible por su actividad económica, es decir, no se realizara ningún procedimiento de cambio de uso de suelo.

- **Establecer el factor de ganancia de calor en el sistema.**

Inicialmente se tiene en cuenta para la capacidad instalada del distrito de enfriamiento un factor de ganancia de calor previsto en el sistema de distribución de agua frío durante todo su recorrido incluyendo las estaciones de transferencia, este último por posibles pérdidas en el intercambiador con el medio. Este factor se definió en base al Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual es 5% para sistemas de distribución de agua fría. [34]

Una vez realizados los próximos pasos donde se definen los parámetros del sistema de distribución entonces será posible determinar la ganancia de calor específico en dicho sistema, teniendo en cuenta que no debe superar el 5% ya planeado en este paso porque de lo contrario será necesario aumentar este factor y recalcular el sistema de distribución.

- **Definir la curva de demanda que seguirá el distrito y calcular la capacidad de generación de la central.**

Previo a definir la curva de comportamiento global del distrito se realiza una verificación de que el inventario se encuentre con las cargas provenientes de las encuestas o en caso contrario de la estimación realizada con factores de carga mencionados en etapas anteriores.

Posteriormente, a cada usuario se le aplica un incremento del 5% de su carga de enfriamiento, este siendo el factor de ganancia de calor asumidas anteriormente. Luego, se realiza una sumatoria de la multiplicación del valor en por unidad en cada instante de tiempo de cada usuario por su respectiva carga de enfriamiento, obteniendo como resultado el comportamiento global horario del distrito de enfriamiento en TR.

$$Q_{distrito,i} = \sum Q_j * qu_{j,i} * 1,05 \quad (3)$$

Donde,

Q es la carga de enfriamiento de cada usuario en TR, j hace referencia a cada uno de los usuarios e i a cada instante de tiempo, y qu es un valor adimensional y es propio de cada usuario en un instante de tiempo específico.

Esta curva o perfil representa el comportamiento global de la demanda y brinda información acerca de la cantidad de toneladas que se deben generar en la planta cada hora para satisfacer a todos los clientes del distrito.

Dicha curva tiene implícitamente el factor de coincidencia o diversidad del sistema, por lo que no es necesario el cálculo y uso de este.

Ahora, es posible calcular la capacidad de generación de la planta anual en términos de TRh/año mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{distrito} = \sum_{i=1}^{24} Q_{distrito,i} * 365 \quad (4)$$

Donde,

la sumatoria de la carga horaria del distrito está en TRh/día y se multiplica por 365 días para conocer dicha generación en término de año.

Finalmente, se puede determinar el factor de planta del distrito sabiendo que esta dado por la generación de toneladas de enfriamiento real anual sobre la máxima cantidad que podría generar:

$$FP = \frac{Q_{\text{distrito}}}{Q_{MAX_{\text{distrito},i}} * 8760} \quad (5)$$

Este varía según se implemente la etapa del proyecto por lo que cada vez se conectaran más usuarios al distrito y existirá una mayor diversificación del comportamiento de la generación del distrito.

- **Elegir los equipos de enfriamiento.**

La búsqueda del equipo se realiza teniendo en cuenta 3 factores importantes: el primer factor es su capacidad de enfriamiento, se debe seleccionar un equipo que posea una carga próxima al 10% de la instalada para el distrito con el fin de que el número de equipos instalados brinde flexibilidad al momento de su operación, el segundo es el tipo de equipo, este dependerá de las fuentes disponibles de energía. Para la selección según el segundo factor de selección ver **Imagen 9**.

Imagen 9. Tecnología de Equipos y otros parámetros a considerar.

Type	Vapor Compression Chillers			Absorption Chillers	
	Reciprocating	Screw	Centrifugal	Single-Stage	Two-Stage
Prime Driver	Electric Motor	Electric Motor	Electric Motor	Hot water, 65°C <temp, <80°C	Steam or fire, temperature > 170°C
Refrigerants Used	HFC, HFO, HCFC, NH ₃ , etc.	HFC, HFO, HCFC, NH ₃ , etc.	HFC, HFO, HCFC, NH ₃ , etc.	H ₂ O with LiBr, NH ₃ with H ₂ O	H ₂ O with LiBr, NH ₃ with H ₂ O
COP	4-6	4-6	>7.0	0.6-0.75	1.2

Fuente: [15]

El tercer factor hace referencia al tipo de refrigerante que usan los equipos de enfriamiento ya que es importante tener en cuenta algunas características como su capacidad de carga térmica y potencial de calentamiento global. Ver **Imagen 10**.

Imagen 10. Características de los refrigerantes a diferentes condiciones.

Refrigerant	Medium-Pressure Refrigerants				Low-Pressure Refrigerants		
	R-134a	R-513A	R-1234yf	R-1234ze(E)	R-123	R-1233zd(E)	R-514A
Type	HFC	HFO Blend	HFO	HFO	HCFC	HCFO	HFO Blend
Flammability	1	1	2L	2L	1	1	1
Toxicity	A	A	A	A	B	A	B
Theoretical Fluid Efficiency	8.5 COP	8.3 COP	8.2 COP	8.5 COP	9.4 COP	8.85 COP	8.91 COP
Capacity Change Compared to Base	Base	Similar	5% Loss	25% Loss	Base	35% Gain	~5% Loss
GWP	1300	573	<1	<1	76	<1	2
ODP	0	0	0	0	0.012	~0	0
Atmospheric Life	4900 days	2200 days	16 days	11 days	475 days	26 days	22 days

Source: Various sources including Trane (2017)

Fuente: [15]

A continuación, se consultan las condiciones a las cuales el equipo opera como temperatura del agua de enfriamiento, presiones, velocidades en el evaporador y condensador, tensión y su coeficiente de eficiencia energética EER.

- **Establecer condiciones de operación.**

Las condiciones estándares de operación sugeridas por la ASHRAE en su Guía de Sistemas y Equipos de Climatización para un distrito de enfriamiento con enfriadores con una configuración básica son las siguientes. Ver **Tabla 1**.

Tabla 1. Condiciones de operación de los enfriadores.

Condiciones de Operación	
T _{ie} [°C]	12,2
T _{oe} [°C]	6,6
T _{ic} [°C]	29
T _{oc} [°C]	35
V _d [m/s]	2,1

Fuente: Propia – Basada en recomendaciones de la ASHRAE.

Donde,

T_{ie} y T_{oe} son las temperaturas de entrada y salida en el evaporador del enfriador, respectivamente, de la misma manera T_{ic} y T_{oc}, pero en el condensador del equipo.

Además, se asume que debido a que la ganancia de calor es mínima en el sistema de distribución entonces la temperatura de salida del equipo de enfriamiento es igual a la temperatura de entrada en el

intercambiador de calor, frontera con el usuario, y la temperatura de salida del intercambiador es igual a la temperatura de entrada al equipo de enfriamiento.

Se fija una velocidad de diseño en el distrito de 2,1 m/s, y se debe tener en cuenta que los rangos de velocidades para aguas de servicios varían entre 1,2 m/s – 3 m/s. Ver **Imagen 11**.

Imagen 11. Velocidades recomendadas para el fluido.

Type of Service	Velocity, m/s	Reference
General service	1.2 to 3.0	a, b, c
City water	0.9 to 2.1	a, b
	0.6 to 1.5	c
Boiler feed	1.8 to 4.6	a, c
Pump suction and drain lines	1.2 to 2.1	a, b

Fuente: [35]

- **Calcular los flujos de agua requerido por el sistema de distribución y de refrigeración de los equipos.**

Para el cálculo de los flujos del sistema de distribución y de las torres de enfriamiento se hace uso de la curva de comportamiento del distrito ya que en cada instante de tiempo la demanda de enfriamiento varía y por lo tanto los flujos.

El flujo del sistema de distribución se calcula con la demanda de enfriamiento en cada instante de tiempo del distrito y con parámetros de temperatura promedio de operación en el evaporador.

$$\dot{V}_{distribucion,i} = \frac{Q_{distrito,i}}{C_{p@T=9,4} * (T_{ie} - T_{oe}) * \rho_{@T=9,4}} \quad (6)$$

Donde,

\dot{V} está en m³/s, Cp en kJ/kg*C, ΔT en y ρ en kg/m³ y Q_{distrito} en kW. Este último es la carga del distrito en cada instante de tiempo ya que se está calculando el flujo de agua para cada instante de tiempo.

Para el flujo de las torres de enfriamiento se hace un incremento del 25% de la demanda de enfriamiento del distrito en cada instante de tiempo, sugerido por la ASHRAE en la Guía para Distritos de Enfriamiento [15], debido a que los compresores de los enfriadores generan calor que es retirado por el mismo refrigerante y

posteriormente este calor debe ser retirado por el agua en el condensador, aumentando la carga para las torres.

$$\dot{V}_{torre,i} = \frac{Q_{distrito,i} * 1,25}{C_{p@T=32,25} * (T_{oc} - T_{ic}) * \rho_{@T=32,25}} \quad (7)$$

Donde,

\dot{V} esta en m³/s, Cp en kJ/kg*C, ΔT en C y ρ en kg/m³ y Q_{distrito} en kW. Al igual que en el cálculo anterior la carga está en cada instante de tiempo y el flujo.

Ahora, se procede a determinar cuánta agua se debe reponer en la torre de enfriamiento, para esto se calculan tres perdidas principales: perdidas por evaporación, perdidas por arrastre y perdidas por las purgas.

$$\dot{V}_{reposicion} = E + D + B \quad (8)$$

Debido a que el cálculo del caudal de agua de reposición se hará diario, se debe realizar una sumatoria de los flujos del condensador horarios y posteriormente determinar con este la perdida por evaporación diaria.

$$E = 0,0014 * \sum_{i=1}^{24} \dot{V}_{torre,i} * \Delta T_c \quad (9)$$

Donde,

E está en m³/día, \dot{V} en m³/h y ΔT en C.

Luego se calcula la perdida de flujo de agua por arrastre, aunque este flujo lo debe proporcionar el fabricante, es posible estimarlo de la siguiente manera:

$$D = 0,0002 * \sum_{i=1}^{24} \dot{V}_{torre,i} \quad (10)$$

Donde,

D está en m³/día y \dot{V} en m³/h.

Finalmente se determina el flujo de agua que debe reponer al depósito de la torre de enfriamiento debido a las purgas que se realizan al sistema:

$$B = \frac{E - [(C - 1) * D]}{(C - 1)} \quad (11)$$

Donde,

C son los ciclos de concentración de la torre y es propio del tipo de fluido con el que trabaja la torre de enfriamiento. La ASHRAE sugiere usar 6 ciclos de concentración.

- **Determinar diámetros, material y distancias equivalentes de la red de distribución.**

Primero se realiza un diagrama básico con la ruta que tendrán las tuberías desde el distrito hasta cada uno de los usuarios, a continuación, se mide y registra la longitud de dicho enrutado junto a los cambios de nivel en que se encuentra cada usuario, luego, se determinan los flujos que pasaran por cada derivación de la tubería teniendo en cuenta que se debe trabajar con los flujos de los usuarios en el momento de mayor demanda del comportamiento del distrito, esto con el fin de dimensionar la red para el momento de mayor requerimiento.

Ahora se calculan los diámetros de cada tramo teniendo en cuenta la velocidad de diseño establecida anteriormente.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * \dot{V}_{tramo}}{\pi * V_d}} \quad (12)$$

Donde,

D_i es el diámetro de cada tramo en m, \dot{V} es el flujo por cada tramo en m^3/s y V_d es la velocidad de diseño 2,1 m/s.

El paso que sigue es seleccionar un material para las tuberías que tenga la capacidad de soportar las presiones de trabajo del sistema, 1034 kPa o 150 psi, presión máxima de trabajo del equipo de enfriamiento según la guía del equipo, poseer una conductividad térmica baja para evitar ganancias de calor, factor de rugosidad lo más bajo posible para disminuir al máximo las pérdidas por fricción y por lo tanto disminuir la cantidad de bombas en el sistema de bombeo principal, la tubería del material seleccionado también debe tener diversidad de diámetros.

Por último, se seleccionan los diámetros para las tuberías más próximos a los cálculos anteriormente, los nuevos diámetros provienen de tablas de proveedores y por lo tanto pueden ser mayores o menores a los determinados. El criterio de selección del diámetro será la velocidad del fluido, la cual es calculada con la siguiente ecuación y variando con el nuevo diámetro seleccionado para mantenerse en los límites de velocidad.

$$V_r = \frac{\dot{V}_{tramo}}{\frac{\pi * D_r^2}{4}} \quad (13)$$

Donde,

D_r es el diámetro real que se encuentra comercialmente en cada tramo en m, V_r es la velocidad recalculada con el nuevo diámetro en m/s y \dot{V} es el flujo por cada tramo en m³/s.

Este proceso es repetitivo hasta que el diámetro sea menor posible, logrando así la reducción del costo de inversión del sistema de tubería, y mantener la velocidad cercana a 2,1 m/s, pero sin exceder 3 m/s.

- **Calcular las pérdidas del sistema de distribución.**

En este paso se realiza el cálculo de las pérdidas del sistema, diferenciando dos tipos de pérdidas: carga y térmicas.

Para efectos de este trabajo se usan intercambiadores de tubo y carcasa por su baja caída de presión, definiendo que el fluido del distrito se transportara por los tubos. Además, se asume la caída de presión por tubos del intercambiador en 0,7 kg/cm² o 7 m de pérdida con base a la caída de presión máxima establecida en el documento Diseño Efectivo de Intercambiadores de Tubo y Carcasa basado en TEMA (la Asociación de Manufactureros de Intercambiadores Tubulares). [36]

Para el cálculo de las pérdidas totales del sistema de distribución se suman las pérdidas de cada tramo en serie, luego se agregan la mayor de las pérdidas de los tramos en paralelo, este procedimiento se vuelve a realizar para el circuito de vuelta al distrito. Finalmente, se le suma la pérdida del intercambiador y el estimado de las pérdidas menores en accesorios, obteniendo así las pérdidas totales que serán usadas posteriormente para la determinación del sistema de bombeo.

Este procedimiento es necesario ya que el sistema es un ciclo donde los clientes están en paralelo entre sí.

$$H = 2 * \left(\sum h_{Lserie} + h_{Lparalelo} \right) + 7 + h_t \quad (14)$$

Las pérdidas de carga hacen referencia a la resistencia que debe vencer el fluido para desplazarse, estas se dividen en perdidas dinámicas mayores y menores, en la tubería y accesorios respectivamente. Adicionalmente, las perdidas estáticas son aquellas que se generan por la diferencia de altura entre dos puntos, estas últimas puede convertirse en ganancias de energía para el fluido en caso de que el usuario final este por debajo del nivel del distrito.

Para el caso de este sistema y debido a que es un ciclo, las perdidas estáticas son nulas ya que la energía requerida para llegar a un usuario que esté por encima del nivel del distrito es la misma la que gana el fluido cuando vuelve.

A continuación, se calcula para cada tramo el Reynolds:

$$Re = \frac{D_r * V_r * \rho_{@T=9,4C}}{\mu_{@T=9,4C}} \quad (15)$$

Donde,

Re es adimensional, D_r es el diámetro y está en m, V_r en m/s, ρ en kg/m^3 y μ es la viscosidad en $N*s/m^2$.

Luego se calcula el factor de fricción de cada tramo con la aproximación explícita de Colebrook encontrada en el Manual Técnico de Crane, pero primeramente se establece que la rugosidad de la tubería de polietileno de alta densidad es de 0,001524 mm.

$$f = \left[A - \frac{(B - A)^2}{C - 2 * B + A} \right]^{-2} \quad (16)$$

Para el cálculo del f, es necesario primero determinar cada uno de los valores para calcular la estimación del factor de fricción.

$$A = -2 * \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{D_r} \right) + \left(\frac{12}{Re} \right) \right] \quad (17)$$

$$(18)$$

$$B = -2 * \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{D_r} \right) + \left(\frac{2,51 * A}{Re} \right) \right]$$

$$C = -2 * \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{D_r} \right) + \left(\frac{2,51 * B}{Re} \right) \right]$$
(19)

Donde,

ε es la rugosidad del material de la tubería en m y D_r es el diámetro ya establecido para cada tramo anteriormente en m.

Una vez se obtiene el factor de fricción se aplica la formula Darcy-Weisbach y se determinan las perdidas por fricción en cada uno de los tramos de tubería, en este punto se hacen uso de las longitudes de los tramos registradas anteriormente.

$$h_L = f * \frac{L}{D_r} \frac{V^2}{2 * g}$$
(20)

Donde,

L es la longitud en m del tramo que se está calculando, V es la velocidad en m/s, g es la gravedad en m/s², D_r es el diámetro de la tubería en m y f es el factor de fricción calculado en el paso anterior.

Las perdidas menores normalmente son bajas en las redes de distribución de agua, por eso su nombre, y más cuando son sistemas de agua fría que debido a su bajo temperatura tiene alta viscosidad. Para el desarrollo de este trabajo se tuvieron en cuenta dos válvulas por tramo y por cliente, además, las pérdidas de codos y válvulas estarán implícitas en la distancia equivalente presente en el cálculo anterior.

Ahora se calcula la constante del accesorio k con la siguiente ecuación:

$$k = 8 * \left[\frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_r} \right) \right)^2} \right] \quad (21)$$

Posteriormente se calculan las perdidas menores:

$$h_t = \sum k * \frac{V_r^2}{2 * g} \quad (22)$$

Donde,

V_r es la velocidad del fluido en m/s, g es la gravedad en m/s^2 , k es la constante de cada accesorio presente y h_t representa las pérdidas generadas en m.

Para las perdidas térmicas del sistema, se hace una sumatoria de la multiplicación de cada una de las ganancias de calor obtenidas en cada tramo por su respectiva longitud para determinar la ganancia de calor total del sistema.

$$q_{sistema} = \sum q_{tramo} * L_{tramo} \quad (23)$$

Donde,

q_{tramo} está en TR/m y L_{tramo} en m.

Para obtener q_{tramo} primero se debe determinar la composición del subsuelo a la distancia a la cual se plantea enterrar la tubería. Se asume que el sistema se encuentra enterrado a 2 m desde la corona de la tubería, diámetro externo, a la superficie. El valor establecido anteriormente se basa en la Norma de Instalación en Zanjas de Tuberías PEAD en Redes de Acueductos por EPM donde sugiere que la profundidad mínima para sitios de alto tránsito es de 1,2 m desde la corona de la tubería hasta la superficie del terreno. [37]

Ahora se debe determinar la composición del suelo a la profundidad donde estará la tubería o lo más próxima posible, para esto se toma la composición del subsuelo en diferentes puntos del recorrido del sistema de distribución para posteriormente establecer un promedio

de esta composición final. Principalmente se habla de porcentaje de arcilla, limo y arena. Ver **Imagen 12**.

Una vez obtenido la composición promedio del subsuelo a 2 m de la superficie, se determina la conductividad térmica del suelo, asumiendo que la zona posee una humedad media entre el 4% - 20%, para esto se usan los valores sugeridos por la ASHRAE para la determinación de este parámetro.

Imagen 12. Composición del suelo según humedad.

Soil Moisture Content (By Mass)	Thermal Conductivity, Btu/h-ft ² ·F (W/m·K)		
	Sand	Silt	Clay
Low, <4%	0.17 (0.29)	0.08 (0.14)	0.08 (0.14)
Medium, 4%–20%	1.08 (1.87)	0.75 (1.30)	0.58 (1.00)
High, >20%	1.25 (2.16)	1.25 (2.16)	1.25 (2.16)

Fuente: [15]

$$\lambda_{suelo} = C_{arena} * \lambda_{arena} + C_{limo} * \lambda_{limo} + C_{arcilla} * \lambda_{arcilla} \quad (24)$$

Donde,

λ es la conductividad térmica en W/m²·C y C la composición del subsuelo en porcentaje.

Para los siguientes cálculos es necesario conocer que la conductividad térmica del polietileno de alta densidad es 0,45 W/m²·C. A continuación, se realiza el procedimiento para determinar la ganancia de calor en el sistema donde requiere conocer los diámetros externos de cada uno de los tramos. Ahora se calcula el cociente entre la distancia de la corana de la tubería a la superficie y el radio externo de cada tramo. Estos resultados son necesarios para determinar la aproximación de la resistencia entre la superficie y el radio externo de la tubería propuestos por la ASHRAE. Si el resultado es mayor a 2 entonces:

$$R_s = \frac{\ln \left\{ \left(\frac{d}{r_o} \right) + \left[\left(\frac{d}{r_o} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}}{2 * \pi * \lambda_{suelo}} \quad (25)$$

Pero si el resultado es mayor a 4, entonces:

$$R_s = \frac{\ln\left(\frac{2 * d}{r_o}\right)}{2 * \pi * \lambda_{suelo}} \quad (26)$$

Donde,

d es la distancia en m entre la corona de la tubería y la superficie, r_o es el radio externo de la tubería en m.

Ahora se determina la aproximación de la resistencia térmica propia de la tubería de polietileno de alta densidad. Se debe tener presente que la conductividad térmica del polietileno de alta densidad es 0,45 W/m°C.

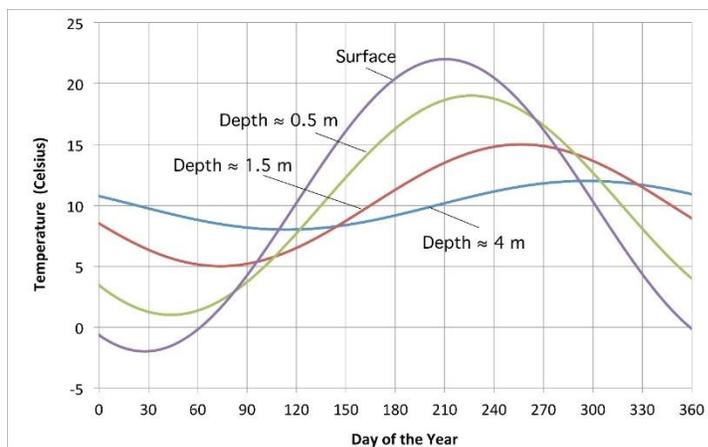
$$R_p = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 * \pi * \lambda_{PEAD}} \quad (27)$$

Donde,

λ es la conductividad térmica de la tubería en W/m°C, r_o y r_i son los diámetros externo e interno respectivamente en m.

Luego, es necesario determinar la temperatura del suelo a 2 m por debajo de la superficie, y se hace mediante la **Imagen 13**. La temperatura a dicha profundidad es de aproximadamente 12,5 °C.

Imagen 13. Temperatura del subsuelo según profundidad.



Fuente: [38]

Ahora se calcula la ganancia de calor por unidad de longitud de la tubería, en TR/m.

$$q_{tramo} = \frac{(T_f - T_s)}{R_s + R_p} * 0,000284345 \quad (28)$$

Donde,

T_f es la temperatura del fluido en C, T_s la temperatura del subsuelo en y la constante 0,000284345 permite hacer la conversión de W a TR.

Finalmente, se puede calcular la ganancia de calor total del sistema de distribución, por lo que es posible saber el porcentaje de aporte al sistema mediante la siguiente ecuación:

$$q_{\%} = \frac{q_{sistema}}{Q_{distrito}} * 100\% \quad (29)$$

- **Escoger las torres de enfriamiento.**

Para la selección de estos equipos se usa como primera referencia la cantidad de calor que puede retirar, la siguiente característica para tener en cuenta son los rangos capacidad de flujo que dicha torre puede manejar para lograr el retiro de calor de diseño, pues es necesario que tenga la capacidad de retirar el calor presente y también maneje el caudal proveniente de los enfriadores.

- **Elegir las bombas necesarias para la operación del distrito.**

Una vez determinada las pérdidas tanto dinámicas como estáticas del sistema de distribución de agua de enfriamiento, se hace uso de las curvas características de bombas centrifugas que junto a la curva de carga del sistema brindan el punto de operación en el cual funcionara el sistema de bombeo.

La selección de la bomba se realiza con la herramienta de selección de bombas de Grundfos, empresa especializada en bombas.

- **Calcular la cantidad de equipos de enfriamiento, bombas y torres de enfriamiento requeridos.**

Para conocer el número de equipos de enfriamiento, bombas de distribución, torres de enfriamiento y bombas para las torres que se necesitan en el distrito se debe seguir el proceso descrito a continuación:

Primero, identificar en la curva de operación del distrito el punto de mayor demanda de enfriamiento, el cual también es el de mayor demanda de flujo.

Segundo, una vez identificado el punto de mayor demanda entonces se selecciona la unidad de trabajo, es decir, si se dimensionan equipos de enfriamiento entonces se trabaja con mayor demanda de enfriamiento, si son bombas entonces con el flujo y para las torres la demanda de enfriamiento.

Tercero, dividir la cantidad anterior en la capacidad nominal del equipo seleccionado.

$$N_e = \frac{C_{max}}{C_{Ne}} \quad (30)$$

Donde,

C_{max} es la capacidad máxima de operación, C_{Ne} es la capacidad nominal de los equipos y N_e es el número de equipos necesarios para la correcta operación.

Además, en caso de que el resultado sea un número decimal, se aproxima al siguiente número entero.

Hay que tener en cuenta que, como ya se dijo en la actividad de determinar el flujo, para definir la cantidad de torres de enfriamiento necesarias, no se utiliza la capacidad instalada del distrito, pues se debe considerar un aumento de 25% y esto afectará el número de equipos necesarios para garantizar las condiciones de operación de los equipos de enfriamiento.

- **Calcular la cantidad de energía requerida por los equipos.**

Para esta actividad es importante definir que el punto de operación al cual se están trabajando los equipos es al 100% de su capacidad porque se asume que todo lo que se genera se distribuye hacia los usuarios.

En base a que, en el mapa operativo presentado por YORK de sus equipos YZ de 300 y 700 TR, se observa una disminución en el indicador energético a medida que aumenta la capacidad del equipo.

Para los equipos de enfriamiento de este trabajo se toma como condiciones de operación una carga de 100% y temperatura de

entrada al condensador de 85 F, lo que da como resultado una eficiencia de 0,53 kW/TR, ver **Anexo 1**.

Por lo tanto, la ecuación para conocer el consumo de energía anual es:

$$E_{enfriador} = Q_{distrito} * \rho_{100\%@T=29\text{ }^{\circ}\text{C}} \quad (31)$$

Donde,

el $Q_{distrito}$ es la capacidad de generación de enfriamiento en TRh/año y $E_{enfriador}$ está calculado en kWh/año.

El cálculo del consumo de energía anual es genérico para los otros equipos, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$E_x = \sum_{i=1}^{24} P_x * N_{x,i} * 365 \quad (32)$$

Donde,

E_x es la energía anual consumida por los equipos restantes en kWh/año, P_x es la potencia eléctrica del equipo y N_x es la cantidad de equipos funcionando horariamente durante un día, además, se multiplica por 365 días para obtener así la energía anual.

4.5. Fase 5: Análisis económico preliminar del proyecto.

Para efectos de este análisis financiero es necesario aclarar que:

- Se trabajará en pesos constantes referidos al año 2020.
 - La TRM usada es de 3.421,26 COP/US.
 - La tasa de oportunidad del proyecto usada está en términos reales.
 - Los valores obtenidos son bajo condiciones específicas de operación.
 - El distrito tiene una vida útil de 25 años.
- **Recopilar información acerca de factores de costos por tonelada de refrigeración para cada uno de los componentes necesarios.**

Debido a la dificultad que existe para obtener cotizaciones por parte de proveedores y ausencia de información técnica en la red de los diferentes equipos requeridos en la planta, se toma la decisión de usar factores de costos según los equipos, algunos encontrados en literatura y otros facilitados por una firma consultora bajo. Los datos provenientes de dicha empresa no serán publicados porque, aunque no se tiene un acta de confidencialidad con la empresa, esta información es propia de ella y no se encuentra para el público.

Para los costos de inversión se cuenta con información proveniente de experiencias vividas de la firma consultora GLHN Architects & Engineers, Inc, la cual brinda factores de costos por TR necesarios para esta fase del proyecto, estos incluyen:

- Costo de equipo de enfriamiento centrifugo.
- Costo de sistema de bombeo.
- Costo de torres de enfriamiento.
- Costo de sistema de tuberías de la planta.
- Costo del sistema de control de la planta.
- Costo del sistema eléctrico.
- Costo de la instalación de los equipos.
- Costo de la obra civil.
- Costo de la tubería del sistema de distribución.
- Costo de instalación del sistema de distribución e instalación de sistema de control automático en la estación de transferencia de calor.

Obteniendo así un valor de inversión para la planta de enfriamiento de 4.789.764 COP/TR y 2.189.606 COP/TR para el sistema de distribución.

Otros factores necesarios para esta fase son los costos de mantenimiento por TR, los cuales son tomados de "Study of district cooling implementation opportunity in Jakarta", y están clasificados de la siguiente manera:

- Mantenimiento preventivo y correctivo anual para los enfriadores es el 15.190,39 COP/TR, sin embargo, el equipo de enfriamiento del distrito cuenta con tecnología de cojinetes magnéticos, permitiendo reducir notablemente los costos de mantenimiento por el no uso de aceite. Por esta razón se reduce este costo a 10.263,78 COP/TR.

- Mantenimiento preventivo y correctivo anual de bombas y torres de enfriamiento es 16.320 COP/TR.

Los costos de operación de los equipos se sacan a partir de la operación de cada uno de ellos bajo las condiciones de operación establecidas.

- **Determinar el costo nivelado de la tonelada de refrigeración del distrito de enfriamiento planteado.**

Una vez realizados los cálculos necesarios con las respectivas condiciones de operación, se procede a hacer el cálculo del costo nivelado de la energía, este tendrá variaciones en cada una de las fases de implementación del proyecto debido a que existen diferentes cantidades de generación en cada una de las etapas mencionadas.

$$LCoE_i = \frac{A_i + CM_i + CO_i - VS_i}{Q_{\text{distrito},i}} \quad (33)$$

Donde,

A_i es la anualidad de la inversión en el año i en COP, CM son los costos de mantenimiento del año i en COP, CO son los costos de operación en el año i en COP, Q_{distrito} son las toneladas generadas durante el año i en TRh y VS_i es el valor de salvamento en cada año en COP.

A_i se obtiene de la siguiente manera:

$$A_i = \frac{I * (1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (34)$$

Donde,

i es la tasa interna de oportunidad del inversionista real y n es el número de periodos en el cual se va a dividir la inversión.

Debido a que normalmente los inversionistas suministran una tasa de oportunidad nominal, es necesario deflactarla para conocerla en términos reales y poder aplicarla en este tipo de análisis financiero (dinero constante). El proceso de deflactar una tasa nominal consiste en ajustarla con la inflación del año inmediatamente anterior, esto con el fin de tenerla en los mismos términos de los valores usados para el

flujo de caja, la igualdad de Fisher describe la relación entre las tasas nominales y reales:

$$(1 + i_n) = (1 + i) * (1 + i_r) \quad (35)$$

Donde,

i_n es la tasa interna de oportunidad en términos nominales, i es la inflación del periodo inmediatamente anterior al periodo evaluado, la cual para este análisis financiero corresponde al 2018 con un valor de 3,18% e i_r es la tasa interna de oportunidad en términos reales.

La tasa interna de oportunidad que se usará para este proyecto será de 12% efectivo anual nominal.

Los costos de mantenimiento igual que los de operación constan de la sumatoria de costos generados en la planta, ya sea, preventivo o correctivo en el caso del mantenimiento y costos generados por los consumos de suministros necesarios para la operación de la planta en el caso de los costos de operación, que se realicen durante el año en estudio:

$$CM_i = \sum CM_{ei} + CM_{bti} \quad (36)$$

$$CO_i = \sum C_{wi} + C_{mi} \quad (37)$$

Donde,

CM_{ei} es el costo de mantenimiento de los enfriadores en el año i en COP, CM_{bti} es el costo de mantenimiento de las bombas y las torres de enfriamiento en el año i en COP, C_{wi} es el costo del agua que se debe reponer en las torres de enfriamiento en COP y C_{mi} es el costo de la electricidad consumida por la planta durante el año de operación en estudio en COP.

Al evaluar este proyecto con un horizonte de 25 años se generará un valor de salvamento en el último año, pues debido a que hay adquisición de equipos en diferentes momentos del proyecto estos no se alcanzan a depreciar completamente. Además, este se tomará en cuenta únicamente en el último año, es decir, no se repartirá en partes iguales el valor que se obtenga por concepto de venta de equipos.

$$VS_{25} = I_i - \sum_{i=1}^{25} D_i \quad (38)$$

Donde,

D_i es la depreciación anual que sufren los equipos en COP y I_i es la inversión inicial en equipos en COP.

- **Realizar flujo de caja del proyecto y obtener indicadores financieros del proyecto.**

Para generar el flujo de caja de este proyecto se usarán únicamente 2 tipos de ingresos: por operación, es decir, los ingresos que se generan al vender las TRh producidas y el ingreso por valor de salvamento en el último año, omitiendo el ingreso que algunos distritos cargan a los usuarios por capacidad, es decir, tener disponible cierta cantidad de TR. Además, se asume que todos los usuarios se conectan al distrito y que su consumo es el determinado y presentado en este documento.

Además, se establece que la venta de TRh es 20% más del costo nivelado obtenido anteriormente debido al margen de ganancia.

Los egresos contabilizados en el flujo de caja son los costos anteriormente mencionados y el impuesto a la renta que en Colombia tiene un valor de 33% sobre las utilidades.

5. Resultados

5.1. Fase 1: Definición de conocimientos y determinación de barreras.

- **Realizar una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de los distritos energéticos.**

Se cuenta con una base de datos de documentos que aportaran al desarrollo de este proyecto. Dicha base de datos está compuesta por documentos, diapositivas, material multimedia y contactos de personal que trabajan en el tema. Estos documentos en su mayoría se encuentran referenciados a lo largo de este documento.

- **Buscar los diferentes métodos usados para la conceptualización de un distrito de enfriamiento.**

Teniendo en cuenta la limitación de tiempo, dinero, base de datos de software por parte de la universidad e información sensible que solicitan los softwares libres, se decide hacer uso de factores de carga de enfriamiento por unidad de área y clasificada por sector económico, publicados en la Guía de Distritos de Enfriamiento de la ASHRAE; ver **Anexo 2**, ya que dichos factores son muy próximos a la capacidad que debería instalar una edificación, son de fácil acceso y su aplicación es sencilla.

- **Consultar con personal con experiencia en distritos energéticos las posibles dudas generadas.**

Las conversaciones con estos expertos ayudaron a ratificar y solucionar inquietudes sobre la estructura de calculo que se tenía planteada. Desafortunadamente no se va a revelar los contactos que se formaron para este proyecto ni la información que revelaron pues fue requisito de su parte. Sin embargo, este documento se encuentra enriquecido con las experiencias aprendidas de ellos.

- **Definir criterios para tener en cuenta y las posibles barreras del proyecto.**

Los criterios que se tendrán en cuenta se enlistan a continuación: potenciales usuarios o clientes ancla, disponibilidad y cercanía de la red eléctrica, contar con espacio y hacer uso del tipo de suelo adecuado a la actividad económica del distrito, este último criterio,

debe ser consultado directamente con el área de ordenamiento y planeación de la alcaldía

En cuanto a las restricciones para este tipo de instalaciones debido a que en Colombia no existe aún una reglamentación, son netamente ambientales, de planeación y civiles, sin embargo, se encuentra en desarrollo el Reglamento Técnico de Sistemas e Instalaciones Térmicas (RETSIT) el cual será publicado en el año 2020, razón por la cual no fue tenido en cuenta para este proyecto, pero se presume que tendrá algunos lineamientos correspondientes para las centrales de generación de frío.

Finalmente, algunas barreras que se identifican son: la falta de información por parte del área de ordenamiento y planeación de la alcaldía, el desinterés por parte de las empresas para este tipo de proyectos y sus largos trámites para la ejecución de estos, la corta experiencia técnica por parte de algunas empresas del sector en Colombia, no contar con un mapa de calor propio del área metropolitana y la incapacidad de la universidad para gestionar contactos con empresas para facilitar el ingreso a las mismas, estas y otras barreras deben ser solucionadas para el desarrollo del proyecto.

5.2. Fase 2: Definición de potenciales zonas para el suministro de frío.

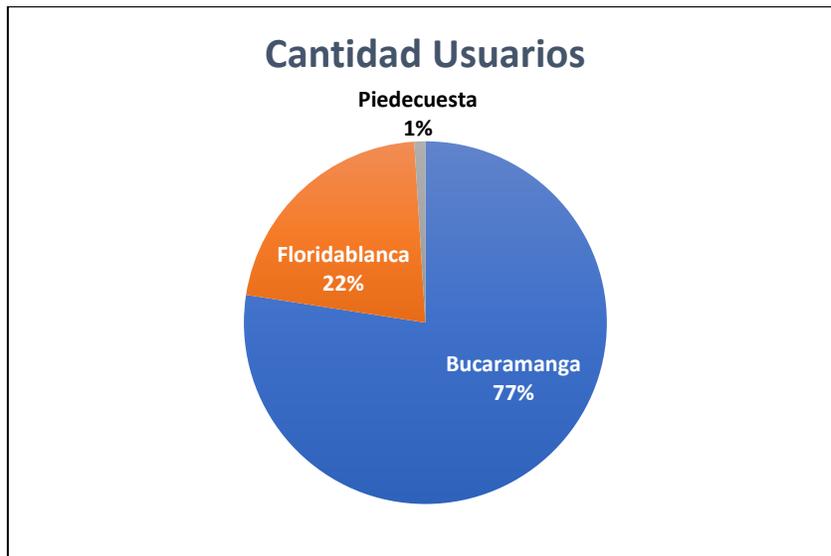
- **Realizar un barrido al mapa del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de localizar, mediante observación, un lugar con potencial para el distrito de enfriamiento.**

Inicialmente se creó una base de datos de empresas las cuales se identificaron haciendo uso de Google Maps; se buscaba en el mapa del área metropolitana de Bucaramanga con palabras clave referentes a las actividades económicas que se desarrollan como: “hoteles”, “centros médicos”, “hospitales” y así sucesivamente. Como resultado se obtuvo una lista de 109 empresas, ver **Anexo 3**, donde en algunos de estos se tiene certeza del uso de sistemas de aire acondicionado y en otros se presume por el tipo de actividad que desarrolla. Dicha base de datos cuenta con el registro del nombre de la empresa, dirección, coordenadas, cantidad de pisos, área enfriada y su respectivo factor de carga de enfriamiento para finalmente obtener la carga de enfriamiento en TR por empresa.

Es necesario aclarar que se omiten Girón y Piedecuesta, pues a pesar de que poseen condiciones climáticas favorables para un distrito de enfriamiento, en el barrido realizado no se encuentra suficiente demanda potencial para evaluar la viabilidad de una central en alguno de estos dos municipios. Además, algunas edificaciones de Bucaramanga y Floridablanca quedan por fuera del inventario a causa de su complejidad en la determinación de área enfriada.

Del inventario de cargas realizado para el área metropolitana de Bucaramanga, se evidencia que Bucaramanga cuenta con el 77% de los usuarios totales mientras que Floridablanca y Piedecuesta con un 22% y 1%, respectivamente. Ver **Gráfica 1**. Vale resaltar que de los 79 usuarios potenciales en Bucaramanga tan solo se requiere de 21 para lograr agrupar el 80% de la demanda de enfriamiento en el municipio. En el caso de Floridablanca, de 22 usuarios potenciales solo se requiere 9 para acumular el mismo 80% de la demanda de este municipio.

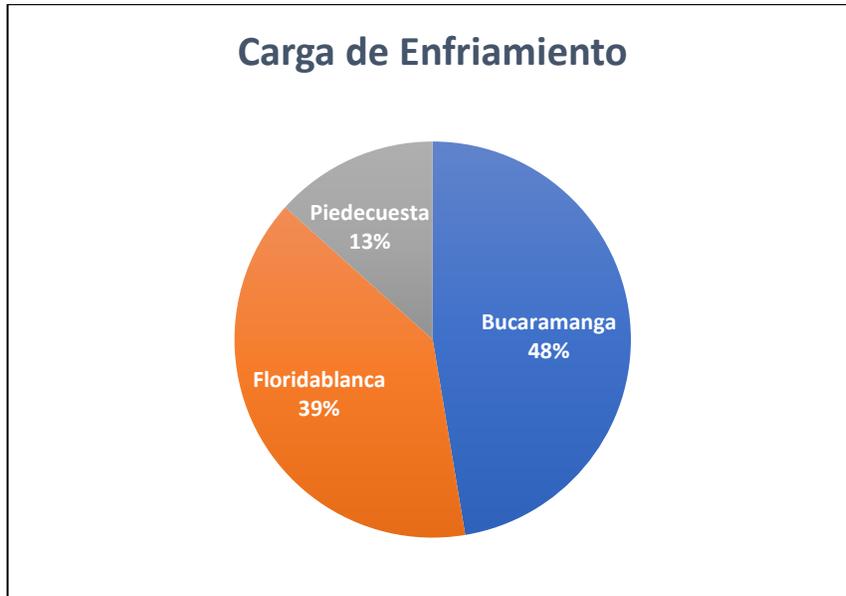
Gráfica 1. Distribución de usuarios en municipios del área metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: Propia.

Adicionalmente, Se pudo identificar un potencial de enfriamiento en el área metropolitana de Bucaramanga de 33.989,52 TR, donde, Bucaramanga posee el 48% de la carga de enfriamiento total determinada en el inventario, Floridablanca un 39% y Piedecuesta 13%. Ver **Gráfica 2**.

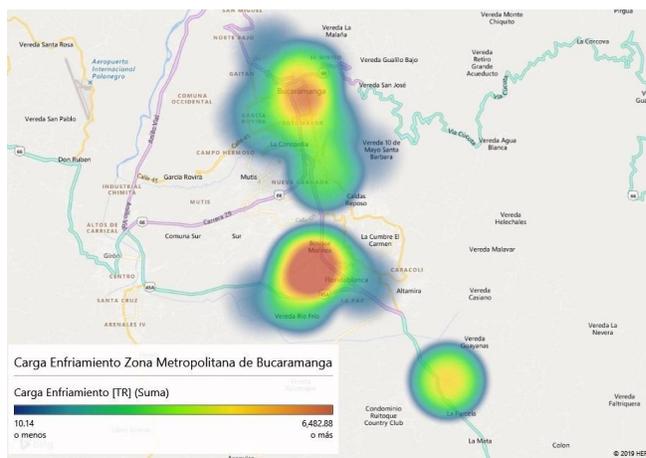
Gráfica 2. Distribución de carga de enfriamiento en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: Propia.

Por otro lado, en la **Imagen 14** se muestra la carga de enfriamiento del inventario realizado para el área metropolitana de Bucaramanga. Dicho mapa permite identificar donde se localiza no solo la mayor demanda de enfriamiento sino también que tan agrupadas se están, siendo la cercanía entre los usuarios un factor esencial para la implementación de un distrito.

Imagen 14. Mapa de calor zona metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: Propia.

El principal demandante de enfriamiento para el municipio de Bucaramanga es el centro comercial Cacique con una carga de enfriamiento teórica de 2.167,13 TR, sin embargo, la mayoría de la demanda se encuentra concentrado en el área de Cabecera y Mejoras Públicas, para Floridablanca es la clínica Foscal Internacional con 3.562,4 TR teóricos, en este caso se puede observar una alta concentración de demanda de enfriamiento en el área del Bosque, y para Piedecuesta únicamente se tuvo en cuenta el hospital Internacional con un aporte de 4.538,02 TR, tanto la clínica Foscal Internacional como el hospital Internacional no se encuentran en su máxima capacidad ya que actualmente se encuentran en proceso de desarrollo por lo que falta tiempo para alcanzar las cargas mencionadas anteriormente.

- **Seleccionar un área con potencial de frío a trabajar teniendo en cuenta los criterios de selección.**

Se define mediante el uso del mapa de calor anterior que, aunque Bucaramanga cuenta con el 77% de usuarios y una demanda de 16.101,23 TR, Floridablanca es un mejor potencial, ya que con solo 22% de los usuarios totales logra casi igualar la demanda de Bucaramanga con 13.350,27 TR. Además, el mapa muestra que la distancia entre usuarios es inferior en el sector del Bosque en Floridablanca, es decir, la demanda de enfriamiento de Bucaramanga se encuentra más dispersa. Ver *Imagen 15*.

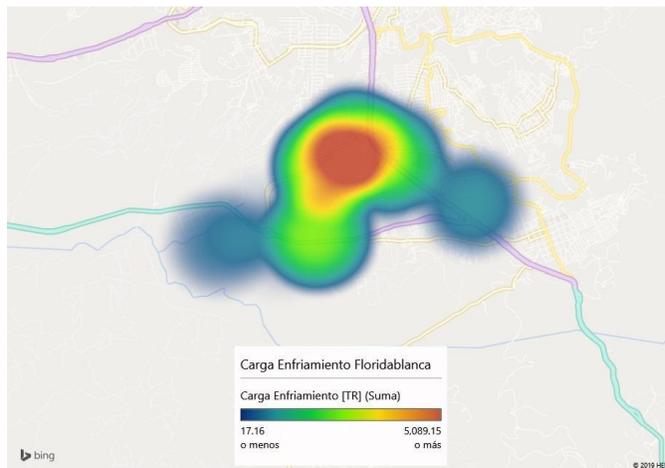
El Bosque es una zona urbanística ubicada geográficamente al occidente de Floridablanca, en su mayoría la población pertenece a los estratos socioeconómicos 4 y 5. Además, se encuentran complejos médicos que por su naturaleza hacen uso de grandes cantidades de energía con destino al acondicionamiento de espacios. A sus alrededores se encuentran diferentes centros comerciales, grandes superficies de comercio y centros de negocio.

Entre los usuarios potenciales para el distrito se encuentran:

- Foscal.
- Fundación Cardiovascular de Colombia.
- Centro Médico Carlos Ardila Lulle.
- Metro Cañaveral.
- Movistar Cañaveral
- Caracolí – Sonesta.

- C.C Cañaverál.
- Jumbo Floridablanca.
- C.C La Florida.
- Hotel Roseliere.
- UNAB El Bosque.
- Mas X Menos Cañaverál.
- FOSCAL Internacional.
- Makro Floridablanca.
- Ecoparque Natura.
- Tigo – UNE.
- Zona Franca.
- Alkosto Floridablanca.

Imagen 15. Mapa de calor El Bosque y sus alrededores.



Fuente: Propia.

Se evidencia un alto potencial en el sector salud del Bosque, un mediano potencial en el sector comercial de Cañaverál y Anillo Vial, además, un bajo potencial en la USTA y D1.

Debido a lo mencionado anteriormente, USTA y D1 caracolí se descartan de la conceptualización del distrito debido a que el primer usuario se encuentra aislado de los demás, y el segundo, aunque se encuentra cerca a otros clientes, el recorrido que debe hacer la tubería para llegar a dicho usuario es muy grande.

5.3. Fase 3: Caracterización y estimación de la demanda.

- **Realizar un acercamiento con cada uno de los potenciales usuarios del distrito de enfriamiento.**

Se realizó el proceso mencionado con los 19 usuarios con el fin de recopilar la mayor información posible. Este acercamiento se logró hacer con 6 empresas. Esto fue complicado debido a que las empresas requieren demasiados trámites para que la persona encargada de esa área conozca el proyecto, este acercamiento se realizó mediante citas para exponer el proyecto, solucionar dudas y conocer a fondo el desarrollo y objetivos del proyecto, posteriormente, se realizó los respectivos trámites para que se aprobaran los permisos de conocer el sistema de climatización, además, los trámites anteriores iban de la mano con la presentación del acta de confidencialidad de la Electrificadora de Santander S.A.S ESP ya que dicho acercamiento fue a nombre de la empresa. Actualmente no existe un documento firmado por cada una de las 6 empresas, sin embargo, ellas accedieron a revelar la información y permitir desarrollar el proyecto al estar bajo el acuerdo de tratamiento de datos de la ESSA.

- **Recopilar información del sistema existente.**

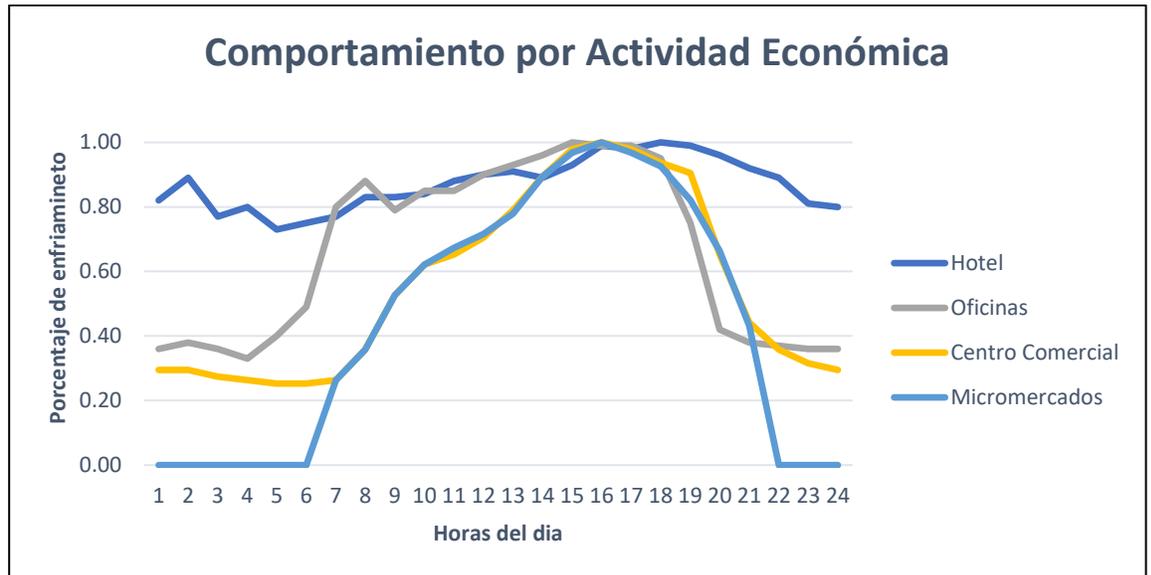
La información recopilada por medio de encuestas fue en total a 6 empresas de 19 que se tenían inicialmente, las cuales fueron en su mayoría usuarios con alto potencial para el distrito: centro comercial Caracolí, Makro Floridablanca, Fundación Cardiovascular, centro médico Carlos Ardila Lulle, universidad UNAB el bosque, centro empresarial Ecoparque Natura y Tigo – UNE. Obtener la carga de estos usuarios permitió que la conceptualización del distrito fuera más próxima a lo real.

- **Determinar el comportamiento de carga con perfiles tipo o específicos de cada usuario.**

Las curvas usadas de la Guía Prácticas y Teórica de Distritos de Enfriamiento de Alaa Olama son de: Shopping, Administrative, Hotel y Office, ver **Gráfica 3**, por su alta similitud con el comportamiento de los usuarios del mismo sector económico, adicionalmente, y como se mencionó en el desarrollo, se ajustan algunas curvas con el fin de que el comportamiento sea lo más parecido a lo real, este es el caso de micro mercados donde presentaba un incremento de demanda cerca

de las 22 horas, pero debido a que los usuarios de esta conceptualización no trabajaban las 24 horas entonces se ajustó el comportamiento.

Gráfica 3. Comportamiento por actividad económica.



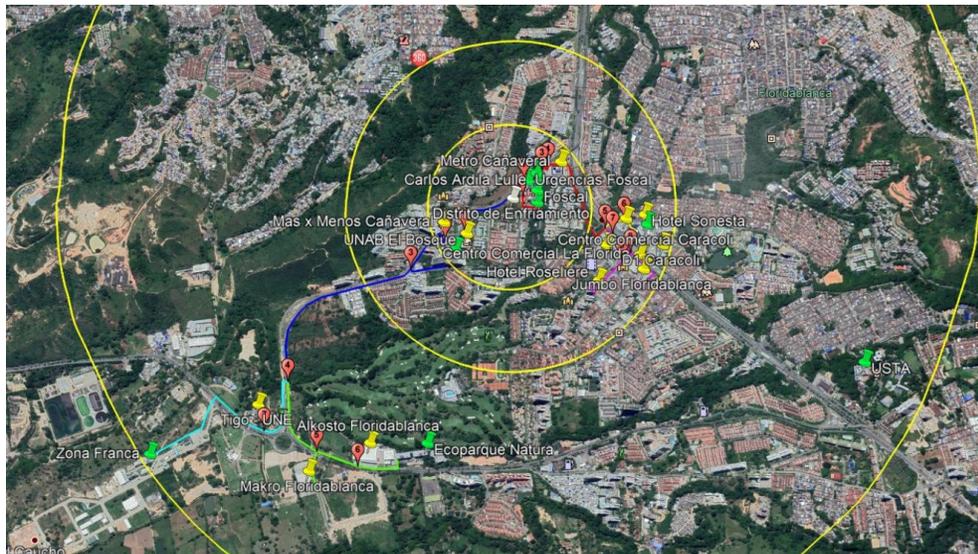
Fuente: Propia – basada en curvas de Alaa Olama.

En cuanto a las curvas obtenidas a partir del departamento de medición de la ESSA, no es posible publicarlas en este documento por la confidencialidad de la información.

5.4. Fase 4: Conceptualización del distrito de enfriamiento.

Como se mencionó en el desarrollo, la implementación de este distrito está dividido en 3 etapas, la **Imagen 16** muestra cada una de ellas, la primera (el círculo más pequeño), cuenta con 7.027.59, la segunda con 9.593 y la tercera con una capacidad total de 13.076 toneladas de refrigeración.

Imagen 16. Mapa con etapas de implementación.



Fuente: Propia.

En la **Tabla 2**, se presentan las empresas con sus respectivas cargas de enfriamiento y según la etapa de implementación o conexión al distrito de enfriamiento, siendo el color verde la primera etapa, azul la segunda y amarillo la tercera.

Tabla 2. Empresas con sus capacidades de enfriamiento.

Empresas	Carga Enfriamiento [TR]
Foscal Internacional	3.562,40
Foscal	1.591,15
Carlos Ardila Lulle	640,00
Fundacion Cardiovascular	500,00
UNAB El Bosque	300,00
Metro Cañaverál	122,35
Mas x Menos Cañaverál	12,01
Caracolí	890,00
Cañaverál	568,40
La Florida	268,91
Jumbo Floridablanca	194,03
Sonesta	333,93
Roseliere	156,18
Movistar Cañaverál	39,87
Makro Floridablanca	125,00
Alkosto Floridablanca	254,69
Ecoparque Natura	2.300,00
Zona Franca	521,82
Tigo - UNE	150,00

Fuente: Propia

El dimensionamiento de equipos en esta fase se realiza para el momento de mayor requerimiento por parte de los usuarios, pues este es el punto más crítico durante la operación y el sistema debe soportarlo.

- **Definir el sitio de instalación de la planta generadora de frío.**

Para el desarrollo de la metodología de este ítem, es necesario referirse al inventario de refrigeración **Anexo 4**, allí se encuentra la información necesaria.

A partir de la aplicación de la **ecuación (2)** planteada en el desarrollo se obtienen los siguientes resultados:

$$Cx = 7.068645 \qquad Cy = -73.111321$$

No obstante, al hacer un reconocimiento de ese punto se identifica que es un área protegida, por lo que se procede a buscar un terreno cercano y que cumpla con los requerimientos necesarios para el normal desarrollo de la actividad económica que desempeña este tipo de instalaciones. Como resultado se identifica un lote baldío propiedad de la administración municipal de Floridablanca Ver **Imagen 17**, el cual es consultado con la oficina de planeación para conocer el tipo de actividad que se puede desarrollar allí, y se obtiene la siguiente respuesta: según el plan de ordenamiento territorial 2018 – 2030 el lote ubicado en las coordenadas (7,072998 N, -73,111055 W) se registra como de uso dotacional para complementarios generales de escala zona, local o metropolitano, donde se podría instalar un distrito de enfriamiento, ya que la actividad económica (CIU 3530) que desarrolla este tipo de instalaciones se encuentra entre las permitidas por esta clasificación de uso suelo. Además, el área que dispone el lote identificado es de aproximadamente 10.770 m², área más que suficiente que la instalación del distrito, además su altura de 866 metros sobre el nivel del mar favorecerá el sistema de distribución del distrito.

Imagen 17. Lote baldío con disposición para el distrito.



Fuente: Propia – Google Earth.

Ya que se decide que el distrito es apto para instalarse en este espacio entonces se procedió a consultar el tipo de restricciones que existían para este tipo de uso suelo y para la escala de metropolitano en el área de planeación de la alcaldía de Floridablanca y en el Acuerdo No. 035 de 2018: el proyecto debe contar con por lo menos 1000 m² y no tiene límite máximo y debe contar con las licencias ambientales y urbanísticos correspondientes, se aclara que no hay límite de pisos construidos para la central. Lo mencionado anteriormente son restricciones al presente año 2019. [39]

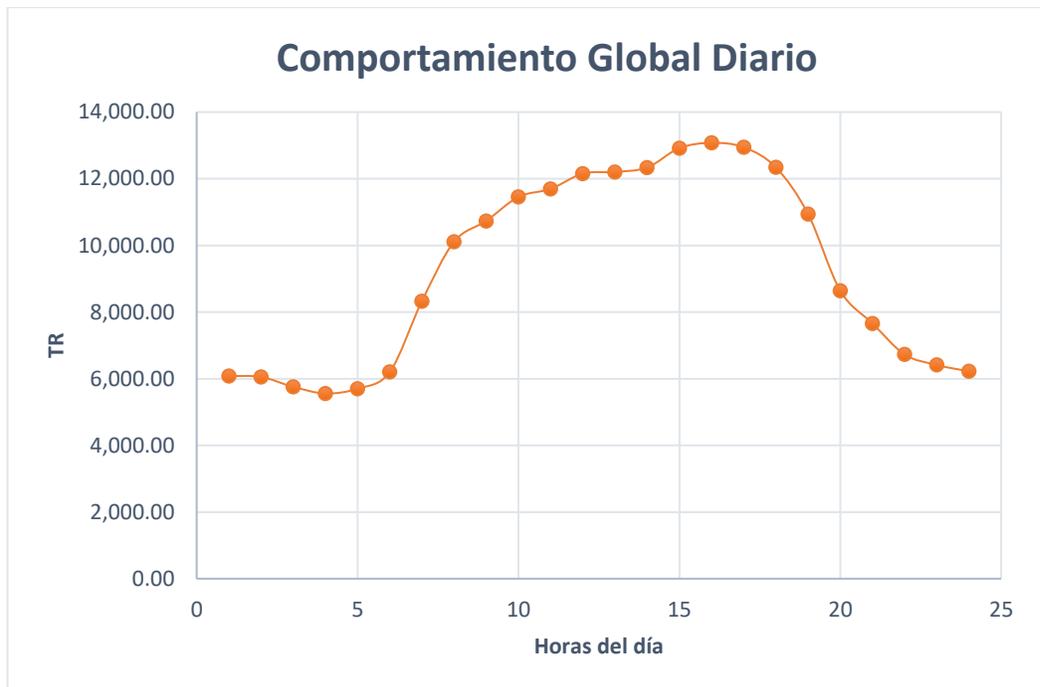
- **Establecer el factor de ganancia de calor en el sistema.**

El factor de ganancia de calor definido para el sistema fue del 5% de la capacidad instalada, y al realizar el cálculo de la ganancia específica del sistema dio como resultado 0,43% de la capacidad instalada. Esto significa que el distrito cuenta con un rango amplio contemplado para estas pérdidas y que incluso podría disminuirse el valor fijado inicialmente, pero no se hará ya que parte de 5% de la capacidad es requerimiento para el autoabastecimiento en la climatización de zonas comunes del distrito y el restante como factor de seguridad.

- **Definir la curva de demanda que seguirá el distrito y calcular la capacidad de generación de la planta.**

Después de operar las diferentes curvas de consumo pertenecientes a los clientes y las tomadas de literatura se obtiene una curva de comportamiento (operación) global del distrito, es decir, su última etapa, ver **Gráfica 4**.

Gráfica 4. Curva en magnitud del comportamiento del distrito térmico.



Fuente: Propia

Una vez conocido que la capacidad máxima instalada en el distrito es de 13.076,1881 TR entonces es posible establecer cuanto área tendrá la central del distrito con factores publicados en la Guía de Distritos de Enfriamiento de la ASHRAE, Ver **Tabla 3**, dichos factores contemplan el espaciamiento de seguridad de los equipos y el espacio disponibles para el desplazamiento del personal.

Tabla 3. Factores para dimensionamiento de áreas.

	Factores [m ² /TR]	Area [m ²]
Area Torres	0,0399482	652,9627223
Area Bombas	0,0297289	388,7406887
Area Equipos Enfriamiento	0,069675	911,0834065
Area Electrica	0,050167	655,9931289

Fuente: Propia.

Con estas áreas estimadas se pretende conocer las dimensiones de la central, las cuales son: 2 pisos de 1.100 m² **Imagen 18** donde en el primer piso se encontrará los sistemas de bombeo, el área de control, el sistema eléctrico y oficinas, en el segundo, estarán los equipos de enfriamiento, y en la azotea se ubicarán las torres de enfriamiento. Estos datos son enteramente del distrito de enfriamiento para la carga actual por lo que se propone que el área total del distrito sea de 1.500 m² para tener espacio disponible en caso de que existan futuras conexiones o expansiones por parte de los clientes.

Imagen 18. Ubicación del distrito.



Fuente: Propia.

También, es posible conocer la cantidad de TRh que se generarán año a año durante las diferentes fases de implementación, capacidades instaladas y radios de acción. Ver **Tabla 4.**

Tabla 4. Datos por etapas de implementación.

Implementación del proyecto		
Etapa I	Etapa II	Etapa III
54%	73%	100%
Radio 0,4 km	Radio 0,8 km	Radio 2,2 km
7.027,58 TR	9.593,34 TR	13.076,18 TR
Generación [TRh/año]		
47.339.099,12	61.244.816,84	81.123.900,44

Fuente: Propia.

- **Seleccionar equipos de enfriamiento.**

Debido a que la zona donde se encuentra el distrito no posee potencial de recuperación de calor residual y cuenta con alta confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, se descarta el uso de equipos de absorción y se procede a seleccionar el enfriador por compresión que cumpla con los requisitos planteados.

Después de una búsqueda por diferentes fabricantes de equipos de enfriamiento por compresión, se define que los equipos a usar son de la marca YORK referencia YZ de 1.425 TR, ver **Imagen 19**, el cual por sus características disminuyen costos de operación y mantenimiento, pues estos cuentan con rodamientos magnéticos lo que elimina la fricción que se presenta en equipos con rodamientos convencionales, no necesita lubricantes, además este enfriador usa como fluido de trabajo el refrigerante R-1233zd, gracias a que es un refrigerante de nueva generación (HFO, hidrofluoroolefinas) el cual cuenta con PAO igual a 0 y PCG igual a 1, por lo tanto, es beneficioso para el medio ambiente en cuestión de emisiones.

El equipo YZ cuenta con la característica de operar a velocidades de flujos en el evaporador de entre 0,91 m/s a 3,66 m/s. Su presión de trabajo es de 1.034 kPa y hasta 2.070 kPa. Finalmente, su tensión de trabajo varía es 460 V, 400 V o 380 V a una frecuencia de 60 Hz.

Imagen 19. Equipo de enfriamiento YORK YZ Centrifugal Chiller.



Fuente: Johnson Controls

- **Establecer condiciones de operación.**

Una vez seleccionado el enfriador, se busca en la ficha técnica las condiciones de operación ideal de este, y se determinan las siguientes:

- Las temperaturas de entrada y salida del condensador y evaporador son las mismas que recomienda la ASHRAE.
- La velocidad de diseño es de 2,1 m/s.
- La presión de operación tanto en el evaporador como en el condensador es de 1034 kPa.
- Los enfriadores en su mayoría de tiempo trabajarán al 100% de su capacidad nominal.

- **Calcular los flujos de agua requerido por el sistema de distribución y de refrigeración de los equipos.**

Mediante el uso de la **ecuación (6) (7)** se puede obtener el flujo máximo que pasará por el sistema de distribución.

En el siguiente ejemplo se muestra el cálculo de los flujos en el momento de mayor demanda (4pm):

$$\dot{V}_{distribucion,4} = \frac{13.076 * 3,51685}{4,189 * (12,2 - 6,6) * 999,7} = 1,9609 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{torre,i} = \frac{13.076 * 3,51685 * 1,25}{4,183 * (35 - 29) * 994,9} = 2,3020 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seguidamente, se presenta un resumen de los flujos del sistema de enfriamiento y torre de enfriamiento del distrito. Ver **Tabla 5**.

Tabla 5. Flujos cada hora en por etapa de implementación.

Tiempo [h]	Etapa I		Etapa II		Etapa III	
	Flujo Enfriamiento [m ³ /s]	Flujo Torre Enfriamiento [m ³ /s]	Flujo Enfriamiento [m ³ /s]	Flujo Torre Enfriamiento [m ³ /s]	Flujo Enfriamiento [m ³ /s]	Flujo Torre Enfriamiento [m ³ /s]
1	0,5980	0,7021	0,7437	0,8731	0,9122	1,0709
2	0,5788	0,6795	0,7300	0,8570	0,9078	1,0658
3	0,5588	0,6560	0,6949	0,8158	0,8633	1,0135
4	0,5436	0,6382	0,6790	0,7972	0,8335	0,9785
5	0,5403	0,6343	0,6679	0,7840	0,8550	1,0038
6	0,5712	0,6705	0,7008	0,8228	0,9301	1,0920
7	0,7043	0,8268	0,8519	1,0001	1,2490	1,4663
8	0,8846	1,0385	1,0693	1,2554	1,5160	1,7798
9	0,9556	1,1219	1,1923	1,3997	1,6098	1,8899
10	1,0002	1,1742	1,2666	1,4870	1,7178	2,0167
11	1,0184	1,1956	1,2986	1,5245	1,7539	2,0591
12	1,0473	1,2295	1,3437	1,5775	1,8227	2,1398
13	1,0208	1,1984	1,3398	1,5729	1,8302	2,1486
14	1,0049	1,1798	1,3493	1,5841	1,8501	2,1719
15	1,0412	1,2224	1,4139	1,6599	1,9373	2,2743
16	1,0539	1,2372	1,4387	1,6889	1,9610	2,3021
17	1,0394	1,2202	1,4180	1,6648	1,9411	2,2788
18	0,9809	1,1515	1,3484	1,5829	1,8507	2,1727
19	0,8798	1,0328	1,2350	1,4498	1,6405	1,9259
20	0,7752	0,9101	1,0531	1,2364	1,2960	1,5215
21	0,7223	0,8480	0,9346	1,0972	1,1490	1,3489
22	0,6675	0,7837	0,8359	0,9813	1,0090	1,1846
23	0,6425	0,7543	0,7932	0,9312	0,9617	1,1290
24	0,6202	0,7281	0,7644	0,8973	0,9328	1,0951

Fuente: Propia.

Ahora para conocer el flujo de reposición diario se procede a hacer la sumatoria de los flujos de la torre horarios hasta tenerlo en magnitud diaria, lo que da como resultado 140.865 m³/día. Con este dato ya es posible conocer el flujo restante:

$$E = 0,0014 * 140.865 * 6 = 1.183,266 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$D = 0,0002 * 140.865 = 28,173 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$B = \frac{1.183,226 - [(6 - 1) * 28,173]}{(6 - 1)} = 208,4802 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Finalmente, se hace la sustitución y se obtiene que:

$$\dot{V}_{reposicion} = 1.183,266 + 28,173 + 208,48 = 1.419,9192 \text{ m}^3/\text{dia}$$

El procedimiento descrito anteriormente es para la etapa III del proyecto donde se encuentra en funcionamiento la totalidad del distrito. Este procedimiento es replicable para las otras fases,

obteniendo como resultado que en la etapa I el agua de reposición es 828,582, en la etapa II 1.071,975 y con la etapa final, como se determinó anteriormente, 1.419,921 m³/día.

Toda la información para los cálculos se encuentra en el **Anexo 5**, el cual describe el comportamiento del distrito cada hora.

- **Determinar diámetros, material y distancias equivalentes de las tuberías de distribución.**

En la herramienta Google Earth, se genera un trazado de la red de distribución ver **Anexo 6**, que por su gran extensión se toma la decisión de dividirlo en dos secciones línea A, ver **Imagen 20** y línea B, ver **Imagen 21**, las cuales suministrarán agua helada de la siguiente manera:

Línea A

- FOSCAL.
- Fundación Cardiovascular de Colombia.
- Centro Médico Carlos Ardila Lulle.
- Metro Cañaveral.
- Movistar Cañaveral
- Caracolí – Sonesta.
- C.C Cañaveral.
- Jumbo Floridablanca.
- C.C La Florida.
- Hotel Roseliere.

Línea B

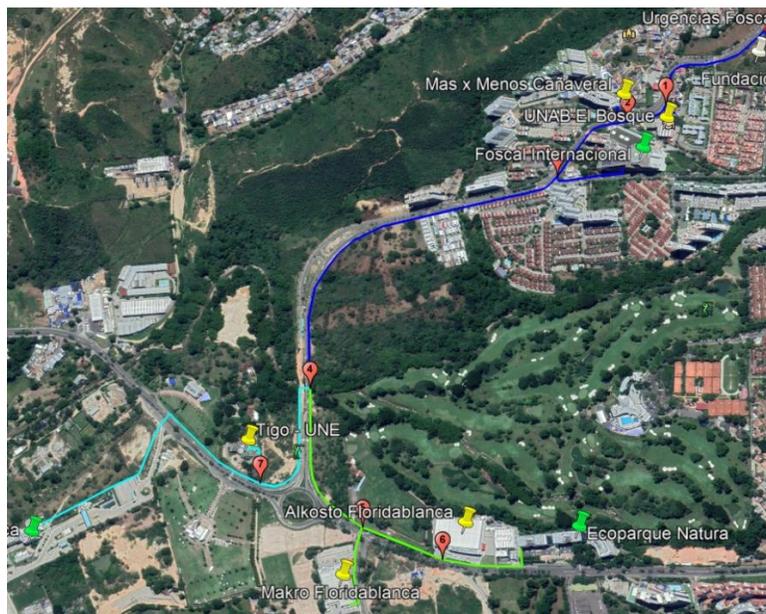
- UNAB El Bosque.
- Mas X Menos Cañaveral.
- FOSCAL Internacional.
- Makro Floridablanca.
- Ecoparque Natura.
- Tigo – UNE
- Zona Franca

Imagen 20. Recorrido línea A de distribución.



Fuente: Propia.

Imagen 21. Recorrido línea B de distribución.



Fuente: Propia.

La red de distribución de agua helada cuenta con tubería de polietileno de alta densidad DR 13,5 sin aislamiento.

A continuación, se muestra el cálculo del diámetro de la sección que va desde la salida del distrito (nodo 0) hasta el nodo 1 de la línea A,

donde se hacen derivaciones para los usuarios FOSCAL e FCV, la información sobre cada una de las derivaciones y tramos de la red se encuentran en los **anexos 7 y 8**:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 0,829052}{\pi * 2,1}} = 0,70898m = 708,98mm$$

Ahora, el resultado se aproxima al diámetro anterior disponible que corresponde a 642,366mm, donde, el fluido alcanza una velocidad de 2,55m/s por la reducción, pero no sobrepasa el límite sugerido. Este proceso se repite para cada uno de los segmentos usados a lo largo de las dos líneas de suministro presentes en el distrito.

Una vez se estableció la velocidad se procede a calcular los diámetros nominales necesarios, los cuales rondan entre 36 y 1-1/4 pulgadas. En el proceso de cálculo resultan diámetros inexistentes, para lo cual se toma la decisión de aproximarlos al diámetro más cercano anterior al calculado.

Dichos tramos se encuentran explícitos en las **Tablas 6 y 7** y haciendo referencia a la numeración de los nodos de la **Imagen 20** e **Imagen 21**.

Tabla 6. Nodos de la línea A con sus características.

Tramos	Linea Principal A			
	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]
0 - 1	708,984	0,829	642,366	2,558
1 - 2	446,522	0,329	385,420	2,819
1 - 3	550,706	0,500	513,842	2,412
3 - 4	494,794	0,404	428,244	2,803
4 - 5	482,999	0,385	428,244	2,671
5 - 6	346,841	0,198	299,771	2,811
5 - 7	336,139	0,186	299,771	2,640
7 - 8	242,331	0,097	230,175	2,328
8 - 9	201,083	0,067	184,683	2,490

Fuente: Propia.

Tabla 7. Nodos de la línea B con sus características.

Linea Principal B				
Tramos	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]
0 - 1	828,417	1,132	770,788	2,426
1 - 2	811,123	1,085	770,788	2,326
2 - 3	810,416	1,083	770,788	2,321
3 - 4	562,737	0,522	513,842	2,519
4 - 5	503,165	0,418	471,018	2,396
5 - 6	491,317	0,398	428,244	2,764
4 - 7	251,987	0,105	230,175	2,517

Fuente: Propia.

El cálculo anterior es aplicable para las derivaciones de cada uno de los usuarios, dichos resultados están expuestos en la **Tabla 8 y 9**:

Tabla 8. Usuarios conectados a la línea A con especificaciones de su conexión.

Linea A				
Empresas	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]
Foscal	389,7520	0,2505	385,42	2,1475
Fundacion Cardiovascular	217,8885	0,0783	230,18	1,8818
Carlos Ardila Lulle	241,7753	0,0964	230,18	2,3170
Metro Cañaverl	107,3939	0,0190	96,37	2,6080
Linea AA				
Movistar Cañaverl	61,3881	0,0062	74,93	1,4095
Caracoli - Sonesta	341,3648	0,1922	299,77	2,7232
Linea AR				
Cañaverl	232,9484	0,0895	230,18	2,1509
Jumbo Floridablanca	135,2405	0,0302	119,09	2,7083
La Florida	160,2277	0,0423	141,86	2,6790
Roseliere	121,4970	0,0243	119,09	2,1858

La línea AA hace referencia a la ramificación de la línea A de color amarillo y la línea AR a la ramificación rosada.

Tabla 9. Usuarios conectados a la línea B con especificaciones de su conexión.

Linea Principal B				
Empresas	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]
UNAB El Bosque	168,3880	0,0468	184,683	1,7458
Mas x Menos Cañaverl	33,8593	0,0019	35,560	1,9039
Foscal Internacional	583,1826	0,5609	513,842	2,7050
Linea BV				
Makro Floridablanca	108,5488	0,0194	96,368	2,6644
Alkostro Floridablanca	154,9438	0,0396	141,859	2,5053
Ecoparque Natura	466,2453	0,3585	428,244	2,4892
Linea BC				
Tigo - UNE	119,0683	0,0234	119,088	2,0993
Zona Franca	222,0814	0,0813	230,175	1,9549

La línea BV hace referencia a la ramificación de la línea B de color verde y la línea BC a la ramificación cian.

Se puede observar que todas las velocidades de los flujos de cada uno de los tramos se encuentran entre los rangos especificados anteriormente. Vale aclarar, que la velocidad de diseño establecida en 2,1 m/s es de referencia ya que, al determinar el diámetro real o comercial, este variará, lo importante es mantenerse en el rango establecido.

- **Calcular las pérdidas del sistema de distribución.**

Debido a la extensión en los cálculos para las pérdidas de carga se recomienda visualizar los resultados de cada uno de los parámetros que conforman esta fase del proyecto en el **Anexo 9**, pero lo que es importante mencionar es que para la línea A se tuvieron en cuenta los siguientes tramos para determinar las pérdidas totales de esta línea: 0 – 1, 1 – 3, 3 – 4, 4 – 5, más la línea del usuario con mayores pérdidas, Jumbo. Para la línea B: 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4, más la línea de Makro.

Este cálculo es necesario realizarlo de esta manera ya que es un sistema de distribución en paralelo con diferentes elevaciones por lo que en diferentes puntos el fluido ganará energía y en otros perderá.

A continuación, el perfil de elevación desde el distrito de enfriamiento hasta el usuario más bajo de la línea A, hotel Roseliere. Ver **Imagen 22**.

Imagen 22. Perfil de desnivel Línea A.



Fuente: Google Earth.

Durante todo el recorrido se tendrán las respectivas ramificaciones o derivaciones a cada usuario. Esto es posible verlo en detalle en el **Anexo 8**. A continuación, un resumen los tramos de las líneas principales y ramificaciones a usuarios. Se recuerda que la

numeración de los nodos se hace relación a la **Imagen 20** e **Imagen 21**, y que los valores de elevaciones presentes en las **Tablas 10 y 11** son tomados desde el nivel del mar.

Tabla 10. Elevación de los nodos y longitud de tramos de la línea A.

Linea Principal A		
Tramos	Distancia [m]	Elevacion [m]
0 - 1	84,88	870
1 - 2	72,39	863
1 - 3	101,44	869
3 - 4	36,51	868
4 - 5	533,78	843
5 - 6	103,60	846
5 - 7	46,96	846
7 - 8	125,42	849
8 - 9	61,06	847

Fuente: Propia

Tabla 11. Distancia de conexión y elevación del usuario.

Linea A		
Empresas	Distancia [m]	Elevacion [m]
Foscal	13,57	863
Fundacion Cardiovascular	145,64	853
Carlos Ardila Lulle	28,82	867
Metro Cañaveral	22,91	866
Linea AA		
Movistar Cañaveral	18,25	847
Caracoli - Sonesta	77,7	851
Linea AR		
Cañaveral	17,1	846
Jumbo Floridablanca	261,25	855
La Florida	41,5	848
Roseliere	246,26	842

Fuente: Propia

Y el perfil de elevación desde el distrito de enfriamiento hasta el usuario más bajo de la línea B, zona franca. Ver **Imagen 23**.

Imagen 23. Perfil de desnivel línea B.



Fuente: Google Earth.

Durante todo el recorrido se tendrán las respectivas ramificaciones o derivación por tramo y para cada usuario, de la misma manera como se mencionó en la línea A. Ver **Tabla 12 y 13.**

Tabla 12. Longitud y elevación de los nodos de conexión de la línea B.

Tramos	Linea Principal B	
	Distancia [m]	Elevacion [m]
0 - 1	354,99	854
1 - 2	109,76	846
2 - 3	232,93	819
3 - 4	962,5	776
4 - 5	402,87	791
5 - 6	216,69	795
4 - 7	342,14	786

Fuente: Propia

Tabla 13. Distancia de conexión y elevación del usuario.

Linea Principal B		
Empresas	Distancia [m]	Elevacion [m]
UNAB El Bosque	44,04	852
Mas x Menos Cañaveral	48,03	852
Foscal Internacional	187,88	827
Linea BV		
Makro Floridablanca	210,59	790
Alkostro Floridablanca	57,94	795
Ecoparque Natura	244,97	798
Linea BC		
Tigo - UNE	117,27	783
Zona Franca	737,51	777

Fuente: Propia

Dichas pérdidas dieron en total para la línea A, 52,4466 metros de cabeza, y para la línea B, 58,7751 metros. Estas pérdidas tienen en cuenta el trayecto de ida y vuelta, accesorios y las pérdidas en el intercambiador.

Se tomaron 21 puntos en diferentes partes del sistema de distribución del distrito, para determinar en cada uno de esos puntos la

composición del subsuelo a 2 metros de profundidad con la herramienta SoilGrid. El resultado final fue el promedio realizado entre estos puntos; arcilla 29%, limo 27% y arena 45%. Al reemplazar en la ecuación 24, se obtuvo como resultado que la conductividad térmica del subsuelo era de 1,47038 W/m°C.

Para el caso de la línea B los tramos que van desde el nodo 0 al 3 representan la mayor ganancia de calor por longitud de tubería y esto se debe a que sus diámetros son exactamente iguales, y, por lo tanto, su área de transferencia de calor. Por otro lado, la mayor ganancia de calor por longitud de tubería en los usuarios es Foscal Internacional.

A continuación, un resumen de las ganancias de calor para cada uno de los tramos y usuarios tanto de la línea A como de la línea B.

Tabla 14. Ganancias de calor en la línea A

Linea Principal A		Linea A	
Tramos	q [TR]	Empresas	q [TR]
0 - 1	-0,4521929	Foscal	-0,0614958
1 - 2	-0,3280529	Fundacion Cardiovascular	-0,5735456
1 - 3	-0,5018664	Carlos Ardila Lulle	-0,1134962
3 - 4	-0,1707128	Metro Cañaverall	-0,073884
4 - 5	-2,4958383	Linea AA	
5 - 6	-0,4373514	Movistar Cañaverall	-0,0559199
5 - 7	-0,1982435	Caracoli - Sonesta	-0,3280135
7 - 8	-0,4939172	Linea AR	
8 - 9	-0,2277251	Cañaverall	-0,0673416
		Jumbo Floridablanca	-0,8812236
		La Florida	-0,1455374
		Roseliere	-0,8306568

Fuente: Propia

Tabla 15. Ganancias de calor en la línea B

Linea Principal B		Linea Principal B	
Tramos	q [TR]	Empresas	q [TR]
0 - 1	-2,017468	UNAB El Bosque	-0,1642485
1 - 2	-0,6237846	Mas x Menos Cañaverall	-0,1282994
2 - 3	-1,3237805	Foscal Internacional	-0,9295214
3 - 4	-4,7618924	Linea BV	
4 - 5	-1,939288	Makro Floridablanca	-0,6791461
5 - 6	-1,0131949	Alkostro Floridablanca	-0,2031913
4 - 7	-1,3473833	Ecoparque Natura	-1,145426
		Linea BC	
		Tigo - UNE	-0,3955621
		Zona Franca	-2,904392

Fuente: Propia

Para la línea A, el tramo y usuario que mayor ganancia de calor tienen en su sistema de distribución son del nodo 4 al 5 y Jumbo Floridablanca, para el caso de la línea B son del nodo 3 al 4 y Zona Franca, respectivamente. Estas ganancias se deben a que la tubería de esos tramos y usuarios son las más largas.

Adicionalmente, existe una correlación entre la demanda de enfriamiento y la ganancia de calor en sus tramos de tubería, ya que, a mayor demanda, mayor flujo de agua de enfriamiento y por consiguiente mayor es el diámetro que debe tener la tubería, por esta razón es necesario seleccionar el menor diámetro comercial posible, con el fin de disminuir estas pérdidas y así mismo la inversión por la tubería, teniendo en cuenta la velocidad de diseño establecida y los límites.

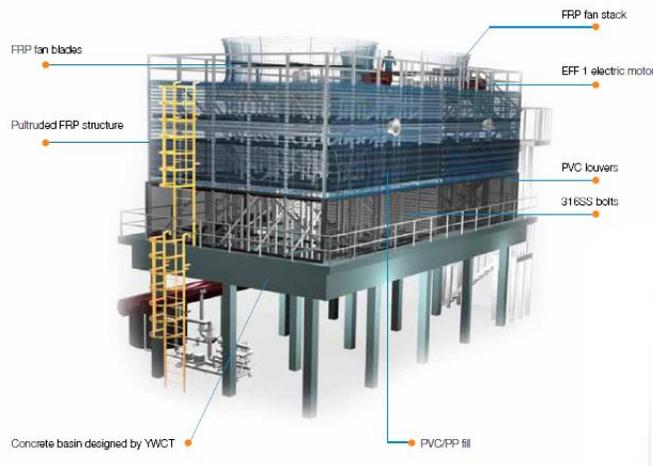
En los **Anexos 7 y 8** se pueden observar los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros necesarios para calcular la ganancia de calor tramo a tramo.

Finalmente, se suman todas las ganancias de calor en cada tramo y se obtiene que la ganancia de calor total del sistema de ida y vuelta es 56,0271 TR, lo que representa 0,43% de la capacidad instalada en equipos de enfriamiento.

- **Elegir las torres de enfriamiento.**

Las torres seleccionadas debido a su gran capacidad de térmica es de la marca YWCT modelo FRPP series, este tipo de torres esta especialmente diseñada para sistemas de generación de frío a gran escala, es decir, distritos de enfriamiento. Ver **Imagen 24**.

Imagen 24. Torre de enfriamiento.



Fuente: [40]

Esta torre tiene una capacidad de 2.150 TR, puede manejar un rango de caudal de agua entre 650 a 1.800 m³/h y tiene una potencia requerida debido al ventilador de 74,57 kW. Finalmente, sus dimensiones son 8x8 metros y una altura de 8,5 metros.

- **Elegir las bombas necesarias para la operación del distrito.**

El fabricante de estas bombas cuenta con una línea específica para sistemas de bombeo de agua fría, además en la página web se pueden suministrar datos del sistema a instalar y esta arroja como resultado las bombas más adecuadas para dicho sistema. Según los cálculos anteriores, las bombas que mejor se ajustan a la operación del distrito son las siguientes:

Línea A

Imagen 25. Bomba centrífuga Grundfos NKG 200-150-400/368.



Fuente: [41]

Este equipo cuenta con un punto de operación mostrado en el **Anexo 10** requiere de una potencia requerida de 105,6 kW, su velocidad angular de funcionamiento es de 1.750 rpm y alcanza una eficiencia de 81,4%. Además, se tuvo que usar leyes de similitud para encontrar el punto de mejor operación, pues nominalmente esta cuenta con un rodete de diámetro 400 mm y para este sistema se usara con rodete de diámetro 368.

Línea B

Imagen 26. Bomba centrífuga Grundfos NK 150-400/382.



Fuente: [41]

Este equipo cuenta con un punto de operación mostrado en el **Anexo 10** requiere de una potencia requerida de 118,1 kW, su velocidad angular de funcionamiento es de 1.750 rpm y alcanza una eficiencia de 82,9%. También se tuvo que usar leyes de similitud para encontrar el punto de mejor operación de la máquina, pues nominalmente esta cuenta con un rodete de diámetro 400mm y para este sistema se usara con rodete de diámetro 382.

Sistema de Bombeo de las Torres

Imagen 27. Bomba centrífuga Grundfos NBGE 200-150-200/214-174,3.



Fuente: [41]

El fabricante de este equipo brinda un sistema completo de bombeo, es decir, bomba y motor con variador de frecuencia, los cuales, mediante la información suministrada del punto de operación, ver **Anexo 10**, arrojan los siguientes resultados: la bomba trabaja a una eficiencia de 80,8% y tiene un requerimiento de 13,98 kW, la velocidad de operación es de 1.750 rpm y cuenta con un rodete estándar, pues al poseer un variador de frecuencia no se necesita aplicar leyes de similitud físicamente.

- **Calcular la cantidad de equipos de enfriamiento, bombas y torres de enfriamiento requeridos.**

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo obtener la cantidad de enfriadores requeridos para el funcionamiento de la planta en el punto de mayor demanda, como ya se conoce la planta tiene una capacidad máxima de 13.076 TR y cada enfriador aporta 1.425TR.

$$N_e = \frac{13.076}{1.425} = 9,1761 \text{ equipos}$$

Debido a que la planta debe brindar confiabilidad a los clientes no se puede redondear al número entero anterior, pues en la demanda pico se generaría un déficit de frío, por tal razón el número de equipos de enfriamiento tomados para este proyecto son 10.

A modo de resumen, la cantidad de equipos que se deben instalar son. Ver **Tabla 16**.

Tabla 16. Cantidad de equipos en cada etapa.

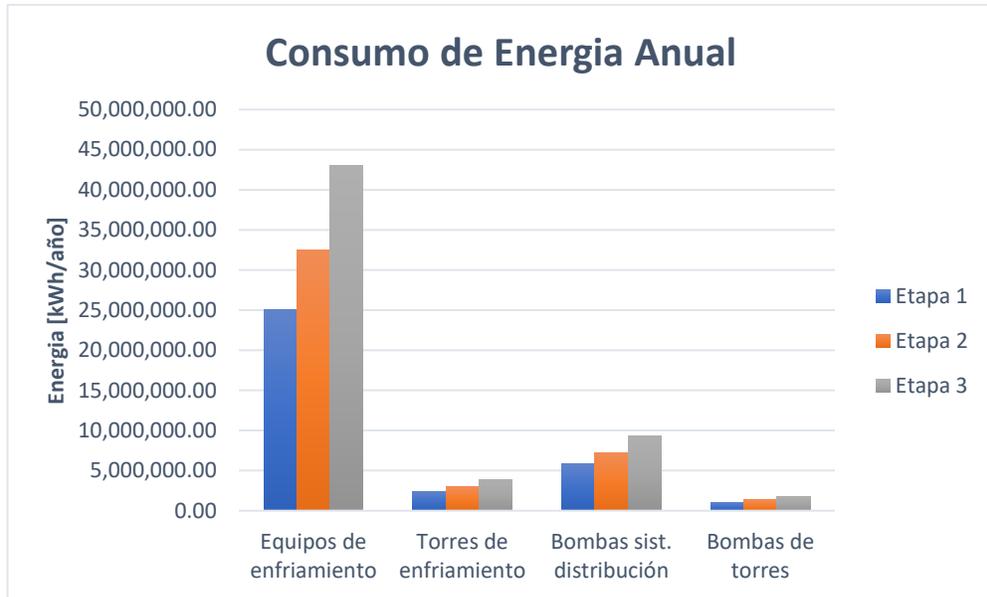
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Equipos de enfriamiento	5	7	10
Torres de enfriamiento	5	6	8
Bombas sist. distribución	7	10	13
Bombas de torres	11	15	21

Fuente: Propia

- **Calcular la cantidad de energía requerida por los equipos**

Gracias a que se contaba con una curva de operación de los equipos entonces fue posible determinar el consumo de energía real, estos consumos se muestran en el **Anexo 5** para cada uno de los equipos y horariamente, a continuación, se puede observar en la **Gráfica 5** los consumos de energía anuales, expresado en kWh, de cada uno de los equipos:

Gráfica 5. Consumo anual de energía eléctrica en cada etapa.



Fuente: Propia.

Una vez determinado estos consumos de energía se puede calcular el rendimiento promedio general de la planta cuando se alcanza el régimen en la última etapa.

$$\eta_{\text{distrito}} = \frac{57.946.081,83 \text{ kWh/año}}{81.123.900,44 \text{ TRh/año}} = 0,7142 \frac{\text{kW}}{\text{TR}}$$

El índice de desempeño energético del distrito se encuentra por debajo de algunos distritos existentes, estos se pueden observar en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Distritos en el Mundo.

Nombre	Entrada en operación	Capacidad instalada [TR]	Indicador [kW/TR]
Business Bay, Dubai	2009	35.200	1,05 – 1,08
Medical Center, Texas	1969	120.000	0,89
St. Paul, Minnesota	1993	24.637	0,9
Abdali, Jordania	2009	30.500 (equipos + TES)	0,62

Fuente: [15]

5.5. Fase 5: Análisis financiero preliminar del proyecto.

- **Recopilar información acerca de factores de costos por tonelada de refrigeración para cada uno de los componentes necesarios.**

Como ya se mencionó en el desarrollo, se hacen usos de ciertos factores por unidad de enfriamiento, los cuales por cuestión de confidencialidad no pueden ser publicados y otros que ya fueron mencionados.

- **Determinar el costo nivelado de la tonelada de refrigeración del distrito de enfriamiento planteado.**

A continuación, se muestra el cálculo de un año perteneciente a cada fase de implementación y se nota como varía este costo en el tiempo:

$$\begin{aligned}
 LCoE_1 &= \frac{8.982.706.119,17 + 216.388.892 + 17.232.464.271 - 0}{47.339.099,12} \\
 &= 558,35 \frac{COP}{TRh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 LCoE_4 &= \frac{8.982.706.119,17 + 295.391.981 + 22.062.447.481 - 0}{61.244.816,85} \\
 &= 512,53 \frac{COP}{TRh}
 \end{aligned}$$

$$LCoE_6 = \frac{8.982.706.119,17 + 402.633.354 + 29.061.365.031 - 0}{81.123.900,44}$$

$$= 473,93 \frac{COP}{TRh}$$

Debido a que en el año 25 de evaluación existe un valor de salvamento de los equipos que no se alcanzaron a depreciar completamente se hace el cálculo de este año para conocer el costo nivelado:

$$LCoE_{25} = \frac{8.982.706.119,17 + 402.633.354 + 29.061.365.031 - 6.294.198.265}{81.123.900,44}$$

$$= 396,94 \frac{COP}{TRh}$$

- **Realizar flujo de caja del proyecto y obtener indicadores financieros del proyecto.**

Una vez conocidas las condiciones de operación para cada una de las fases se procede a hacer los cálculos respectivos, con el fin de conocer la información necesaria para completar el flujo de caja y posteriormente obtener los indicadores VPN (Valor Presente Neto).

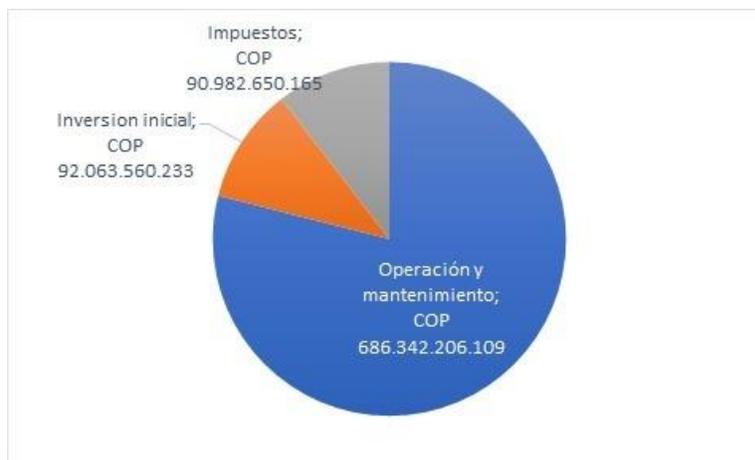
En la **Tabla 18** se muestra los costos anuales de operación y mantenimiento durante cada etapa:

Tabla 18. Costos de operación anuales por fase.

Costo Operación Fase 1	COP 17.232.464.271
Costo Operación Fase 2	COP 22.062.447.481
Costo Operación Fase 3	COP 29.061.365.031

Fuente: Propia

Gráfica 6. Distribución de costos durante la vida útil del proyecto.



Fuente: Propia

Los costos de operación fueron calculados con las tarifas promedio del año 2019, en el caso de la energía eléctrica se usó 476,8053 COP/kWh, que no es más que la tarifa que se cobra la ESSA a un usuario industrial conectado al nivel I de Tensión, pero como el distrito sería un usuario no regulado, hay que descontarle el cargo de comercialización. Es claro que la tarifa para usuarios no regulados es negociada entre las partes interesadas, pero lo anterior es una aproximación. Ver **Tabla 19**.

Tabla 19. Costo de energía eléctrica año 2019.

	Costo energía [COP/kWh]	Costo comercialización [COP/kWh]	Costo energía no regulado [COP/kWh]
enero	517,6575	54,1535	463,504
febrero	527,7105	53,9879	473,7226
marzo	537,351	54,0715	483,2795
abril	534,7823	55,7244	479,0579
mayo	516,1435	53,3833	462,7602
junio	521,6126	53,4484	468,1642
julio	528,2713	53,7562	474,5151
agosto	539,5418	54,922	484,6198
septiembre	534,8102	54,8552	479,955
octubre	537,9319	54,2706	483,6613
noviembre	546,5067	54,8882	491,6185
		Promedio	476,8052818

Fuente: Pagina web – ESSA.

Respecto al costo por el consumo de agua, se usó una tarifa de 2763.74 COP/m³.

La **Tabla 20** muestra los costos de mantenimiento por cada una de las etapas de implementación.

Tabla 20. Costos de mantenimiento anuales por fase.

Costo Mantenimiento Fase 1	COP	216.388.892
Costo Mantenimiento Fase 2	COP	295.391.981
Costo Mantenimiento Fase 3	COP	402.633.354

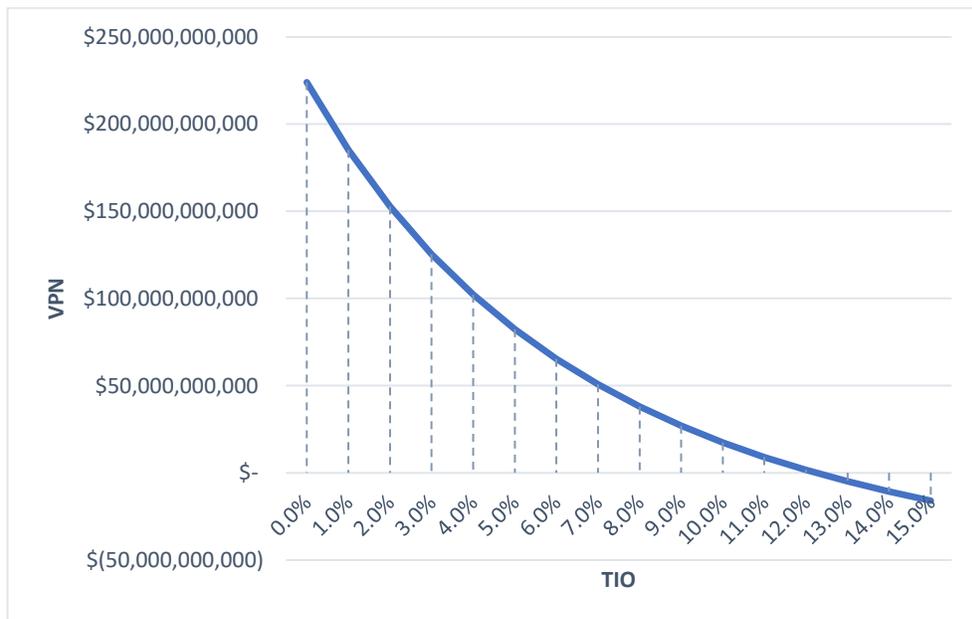
Fuente: Propia.

Después de conocer cada uno de los ítems influyentes en el flujo de caja y operarlos, se obtiene el indicador VPN, el cual tiene un valor de 31.130.845.681 COP.

A continuación, se hace una sensibilización, la cual consiste en variar la TIO manteniendo los costos y el precio de venta constantes, el resultado obtenido se muestra en la **Gráfica 7**.

Se aclara que el precio de venta de las TRh durante las 3 etapas y el último año son: 559, 513, y 475 COP, respectivamente, a estos precios se debe realizar un incremento del 20% correspondiente al margen de ganancia establecido.

Gráfica 7. Comportamiento del VPN vs TIO.



Fuente: Propia.

De la anterior gráfica se puede decir que, manteniendo las condiciones constantes de cálculo, el proyecto puede ser atractivo para inversionistas que posean una tasa real de oportunidad menor o igual a 12,239% efectivo anual.

Para mayores detalles, en el **Anexo 11** se encuentra el flujo de caja del proyecto.

Por último, se decide realizar una variante al caso base donde se realiza la inversión únicamente en la primera etapa de proyecto, es decir, las últimas dos etapas no se ejecutarán en esta variante.

Se obtiene como resultado una inversión total de 49.760.145.975 COP y un VPN de 17.437.597.999 COP y un precio de venta final al usuario de TRh de 507 COP, a las mismas condiciones del caso base. El proyecto continúa siendo técnica y financieramente rentable.

Para concluir este proyecto se hará un resumen con los resultados relevantes obtenidos:

El distrito de enfriamiento, El Bosque, se encontrará localizada en la transversal el bosque junto a Urgencias Foscal, en el barrio el bosque de Floridablanca está compuesto por una única central de enfriamiento con un área total para la central de 1.500 m², para el cual se requiere de 1.100 m². La central contara con 2 pisos donde se ubicarán los equipos de enfriamiento, los sistemas de bombeo, el área del sistema eléctrico y de control y oficinas, además, en la azotea se localizarán las torres de enfriamiento.

El distrito se desarrollará en 3 etapas donde el 53,74% de la demanda se encuentra en un radio 0,4 km, el 73,37% en 0,8 km, y su totalidad en 2,2 km. La capacidad instalada del distrito El Bosque es de 13.076 TR en equipos de enfriamiento y 16.345 TR en torres de enfriamiento para la última fase.

El distrito cuenta con 19 usuarios en total con diferentes actividades económicas, donde en su mayoría son del sector salud, comercial y administrativo.

La central usará refrigerante R-1233zd y contará en su última fase con 10 equipos de enfriamiento, 8 torres de enfriamiento, 13 bombas para el sistema de bombeo de la red de distribución y 21 bombas para el sistema de bombeo de las torres de enfriamiento. El consumo de energéticos del distrito se basa únicamente de energía eléctrica proveniente de la red eléctrica.

La red de distribución cuenta con dos líneas principales: A y B. La línea A cuenta con 10 usuarios y tiene una longitud total de ida y vuelta al

distrito de 4,08 km, su diámetro externo máximo y mínimo son 762 mm y 88,9 mm. Por otro lado, la línea B cuenta con 8 usuarios y su longitud total es de 8,54 km, además, sus diámetro externo máximo y mínimo son 914,4 mm y 42,16 mm, respectivamente. Las tuberías son de polietileno de alta densidad y sin aislamiento, además, estarán enterradas a 2 m bajo el nivel de la superficie.

El ΔT de los equipos de enfriamiento es de 5,6 °C y estos están conectados en paralelo entre sí. La generación de enfriamiento anual en la última etapa de implementación es de 81.123.900 TRh, cuenta con un factor de planta de 70,82%, además, debe reponer al día 1.419,92 m³ de agua para el funcionamiento de la planta. Finalmente, el indicador energético global de la planta es 0,7143 kW/TR.

6. Conclusiones

- Haciendo uso del levantamiento de cargas realizado por usuario en diferentes localidades del área metropolitana de Bucaramanga, se pudo identificar que existe un potencial en el centro-oriente de Bucaramanga y en la zona del barrio El Bosque de Floridablanca, este último teniendo mejores características debido a la poca separación entre los usuarios, es decir, la carga está más concentrada.
- La carga de enfriamiento total del lugar seleccionado para el estudio de ingeniería conceptual del distrito de enfriamiento es de 13.350 TR, sin embargo, al filtrar los usuarios USTA y D1 Caracolí por su separación respecto los otros usuarios, esta carga total disminuyó a 13.157 TR. Finalmente, teniendo en cuenta las curvas de comportamiento de los usuarios dicha carga descendió a 13.076 TR. Es necesario aclarar que la capacidad a instalar no tuvo una disminución drástica debido a que la mayoría de los usuarios coincidieron en tener la máxima demanda en el mismo periodo de tiempo.
- La conceptualización técnica del distrito de enfriamiento cumple los requisitos técnicos que se definieron a lo largo de este documento teniendo en cuenta que el desarrollo de este se efectuó para el caso donde se opera siguiendo la curva de demanda establecida, es decir, a tope de carga.
- El proyecto es financieramente viable para inversionistas con una tasa real de oportunidad superior al 12,239% efectivo anual y se estima que el periodo de retorno de la inversión este alrededor de los 8 años a partir del inicio del proyecto.

7. Recomendaciones y observaciones

- Es importante consultar con las entidades de planeación de donde se esté realizando la conceptualización del distrito energético sobre el código del POT según la actividad económica registrada para el distrito, de esta manera se es posible determinar si el espacio contemplado se puede usar y bajo que restricciones.
- Este trabajo no ha hecho uso del RETSIT debido a que no se ha publicado ni se conoce su contenido a la fecha, sin embargo, se recomienda que a partir el 2020, año de publicación del RETSIT, se tengan presente sus recomendaciones, si las hay, para distritos energéticos.
- Comparar la información obtenida en la conceptualización y análisis financiero con casos reales para así tener referencias y manejar unas tolerancias en los resultados.
- Debido a que los distritos energéticos nacieron con el propósito de ayudar a la reducción de gases con poder de agotamiento de ozono y poder de calentamiento global y mejorar la eficiencia de las edificaciones, por lo tanto, se debe tener muy presente el refrigerante del equipo y sus parámetros, de la misma manera se tiene que operar los equipos lo más eficiente posible con el fin de minimizar el consumo de energía, este último ayuda a reducir la huella ambiental del distrito y mejora la rentabilidad del proyecto.
- Al dirigirse a las empresas con el fin de presentar proyectos de distritos energéticos, se debe hablar en términos que se entiendan y que sean importantes para ellos como los beneficios que obtendrán y la información detallada que se solicitará. Esto será de importancia para decidir si participarán en el proyecto o no, por eso se debe ser bastante explícito y detallado.
- Cuando se realice el flujo de caja del proyecto se debe trabajar en la misma referencia del valor del dinero. También se debe definir la unidad de dinero a evaluar el proyecto porque dependiendo de este variara la tasa interna de oportunidad y el tipo de crédito que se solicite.
- Con el fin de conocer el costo de la TRh de cada uno de los usuarios se recomienda realizar un estudio de detalle, donde se caracterice completamente el sistema actual de climatización y se determinen los costos relacionados con la inversión, operación, mantenimiento y otros.
- Las empresas no son muy abiertas a la hora de vincularse a proyecto como el de distritos de enfriamiento ya que tienen poco conocimiento de esto, además, sus trámites son largos por lo que es necesario

dedicar gran parte del tiempo en esta actividad. Además, se notó un desinterés por parte de algunas empresas a pesar de que este tipo de proyectos aportan a la reducción de sus costos fijos y mejoran su huella ambiental.

- Al realizar el método de cálculo de carga para el inventario y posterior a conocer las cargas instaladas de las 6 empresas, se pudo observar que las toneladas obtenidas por el método varían respecto a las instaladas. Por lo que se espera que el dimensionado de las cargas tengan un margen de error.
- Se pudo observar que gran parte de las empresas con grandes sistemas de climatización cuenta, en su mayoría, sistemas de agua centralizada o sistemas de expansión directa centralizado, lo que permite que la adaptación de su infraestructura no requiere de grandes inversiones, además, cuentan con espacio suficiente para la implementación de las estaciones de transferencia. Este análisis requiere de estudios más profundos y de mayor detalle.
- Los usuarios de diversas actividades económicas mejoran el perfil de carga del distrito de enfriamiento debido a que sus picos de demanda se encuentran en diferentes horas del día.
- No fue posible realizar una comparación del impacto ambiental antes y después de implementar el proyecto ya que no se contaba con información detallada del tipo de refrigerante y sus cantidades en los sistemas actuales de los usuarios, además, esto superaba el alcance del proyecto por lo que se recomienda realizar aproximaciones o realizar un estudio dedicado al impacto ambiental del proyecto.
- Es necesario consultar a los proveedores para obtener un análisis más detallado del flujo de caja y así obtener indicadores más precisos que puedan dar más soporte a los cálculos realizados y dar a conocer el proyecto a inversionistas reales.
- Se debe tener en cuenta para futuras conceptualizaciones técnicas y análisis financieros el tratamiento de agua tanto del sistema cerrado del distrito como del agua de reposición de las torres.

8. Bibliografía

- [1] SIAC, «Escenario de cambio climático,» 2019.
- [2] IEDAM, «Inventario de gases de efecto invernadero en Colombia,» 2012.
- [3] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, «Manual de buenas prácticas de refrigeración,» 2014.
- [4] Sistema de información ambiental de Colombia, «Cifras sobre cambio climático,» [En línea]. Available: http://cifras.siac.gov.co/Portal-SIAC-web/faces/cambioclimatico_inicio.xhtml. [Último acceso: 2019].
- [5] Unidad Técnica del Ozono, «Boletín N°. 35 del programa ambiental y energético del uso de aire acondicionado en edificaciones,» 2014.
- [6] United Nations Environment Programme, «District energy in cities».
- [7] S. Werner, «International review of district heating and cooling,» 2017.
- [8] X. Stavro, «Implementación del protocolo de Montreal en Colombia».
- [9] S. Werner, «4th Generation district heating integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,» 2014.
- [10] BT Consultores - Serviparamo, «District cooling marches on in Colombia,» 2017.
- [11] Tractebel - Inicio, «Estudio de viabilidad técnica y financiera para un distrito en Cartagena,» 2018.
- [12] Corporación Ambiental Empresarial - Inicio, «Estimación de demanda térmica - proyecto "gran malecón",» 2019.
- [13] UPME, «Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022,» 2017.
- [14] «ENGIE Services,» [En línea]. Available: <https://www.engieservices.ca/district-heating-and-cooling>.
- [15] ASHRAE, «District cooling guide second edition,» 2019.
- [16] NASA, «Global climate change data and facts,» 2019.

- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration, «Ocean-atmosphere CO₂ exchange».
- [18] The World Bank, «Total greenhouse gas emissions,» 2019.
- [19] The World Bank, «HFC gas emissions,» 2019.
- [20] Sistema de información ambiental de Colombia, «Consumo de sustancias agotadoras de ozono,» 2019.
- [21] Gobierno Colombiano, «Segundo reporte bienal de actualización de Colombia ante la CMNUCC,» 2018.
- [22] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, «ONU programa para el medio ambiente,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/entra-en-vigor-la-enmienda-kigali-un-poderoso-aliado-en>.
- [23] IDEAM, «Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero-Colombia,» 2016.
- [24] Unidad Técnica del Ozono, «Inventario de consumo y uso de HCFC/HFC en Colombia para la coalición del clima y el aire limpio- CCAC,» 2014.
- [25] Greenhouse Gas Protocol, «Global warming potencial values,» 2014.
- [26] United Nations Environment Programme, «Annual report climate change,» 2017.
- [27] IDEAM, «Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático,» 2007.
- [28] IDEAM, «Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100,» 2015.
- [29] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «El acuerdo de París. Así actúa Colombia frente al cambio climático,» 2016.
- [30] Y. A. Cengel, Termodinámica, séptima edición, 2012.
- [31] M. Stojkov, «CHP and CCHP systems today,» 2011.
- [32] International District Energy Association-IDEA, «Cooling with CCHP».
- [33] D. A. A. Olama, Guía teórica y práctica de distritos de enfriamiento, 2017.

- [34] US green building council, «Treatment or district or campus thermal energy in LEED V2 and LEED 2009-design and construction».
- [35] ASHRAE, «Fundamentals,» 2017.
- [36] R. Mukherjee, «Effective design shell and tube exchangers,» 1998.
- [37] epm, «Norma de construcción instalación en zanja de tubería de PEAD en redes de acueducto».
- [38] D. M. d. Podesta, «Protonsforbreakfast,» [En línea]. Available: protonsforbreakfast.wordpress.com.
- [39] A. d. Floridablanca, «Acuerdo N°. 35 Plan de Ordenamiento Territorial,» Floridablanca.
- [40] «YWCT,» [En línea]. Available: ywct.com.
- [41] «Grundfos,» [En línea]. Available: co.grundfos.com.

9. Anexos

Anexo 1

Informe usando ECWT mín. - YZ 300T (1055 kW)

Partload Data (Minimum Condenser Water Temperature)										
CEFT (°F)	% LOAD									
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
85.00°	0.5355	0.5048	0.4857	0.4817	0.4958	0.5144	0.5424	0.5862	0.6928	1.126
80.00°	0.4723	0.4427	0.4323	0.4296	0.4353	0.4505	0.4689	0.5025	0.6035	0.8489
75.00°	0.4163	0.3966	0.3858	0.3772	0.3720	0.3747	0.3851	0.4119	0.4901	0.7145
70.00°	0.3694	0.3490	0.3342	0.3212	0.3134	0.3143	0.3198	0.3360	0.3928	0.5769
65.00°	0.3233	0.3030	0.2850	0.2716	0.2620	0.2600	0.2637	0.2748	0.3132	0.4702
60.00°	0.2880	0.2647	0.2441	0.2278	0.2151	0.2095	0.2086	0.2134	0.2280	0.3456
55.00°	0.2531	0.2270	0.2047	0.1867	0.1736	0.1627	0.1589	0.1655	0.1784	0.2436
50.00°	0.2177	0.1895	0.1687	0.1527	0.1395	0.1232	0.1217	0.1270	0.1377	0.1847
45.00°	0.1889	0.1564	0.1283	0.1263	0.1034	0.09102	0.09389	0.1068	0.1350	0.2690
44.00°	0.1853	0.1499	0.1237	0.1248	0.09846	0.09031	0.1003	0.1188	0.1465	0.2210
43.00°	0.1762	0.1380	0.1156	0.1146	0.09225	0.09105	0.09991	0.1186	0.1464	0.2202
42.00°	0.1664	0.1257	0.1078	0.1059	0.09521	0.09189	0.09955	0.1184	0.1464	0.2195
41.00°	0.1567	0.1131	0.1007	0.1121	0.09840	0.09279	0.09941	0.1183	0.1465	0.2185
40.00°	0.1466	0.1044	0.09920	0.1113	0.1015	0.09377	0.09951	0.1181	0.1465	0.2172

**Values are in kW/Ton.R*

Informe usando ECWT mín. - YZ 700T (2462 kW)

Partload Data (Minimum Condenser Water Temperature)										
CEFT (°F)	% LOAD									
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
85.00°	0.5334	0.4955	0.4795	0.4770	0.4940	0.5059	0.5421	0.6846	0.9989	1.436
80.00°	0.4815	0.4425	0.4216	0.4051	0.4113	0.4320	0.4611	0.5494	0.7791	1.187
75.00°	0.4328	0.3994	0.3725	0.3632	0.3559	0.3636	0.3893	0.4457	0.6252	0.9280
70.00°	0.4000	0.3615	0.3405	0.3264	0.3139	0.3099	0.3306	0.3770	0.5123	0.7795
65.00°	0.3823	0.3405	0.3137	0.2922	0.2715	0.2571	0.2593	0.2899	0.3720	0.6497
60.00°	0.3663	0.3255	0.2912	0.2594	0.2299	0.2110	0.2166	0.2314	0.2561	0.4449
55.00°	0.3507	0.3117	0.2757	0.2355	0.2009	0.1846	0.1725	0.1707	0.2099	0.2779
50.00°	0.3357	0.2985	0.2608	0.2160	0.1831	0.1689	0.1350	0.1708	0.2117	0.2808
45.00°	0.3288	0.2943	0.2555	0.2094	0.1837	0.1681	0.1441	0.1859	0.2499	0.4235
44.00°	0.3339	0.3002	0.2612	0.2146	0.1904	0.1739	0.1494	0.1913	0.2476	0.3508
43.00°	0.3307	0.2975	0.2584	0.2118	0.1890	0.1780	0.1457	0.1881	0.2446	-
42.00°	0.3275	0.2947	0.2555	0.2089	0.1884	0.1810	0.1416	0.1849	0.2416	-
41.00°	0.3242	0.2919	0.2530	0.2097	0.1891	0.1828	0.1422	0.1817	-	-
40.00°	0.3209	0.2899	0.2540	0.2110	0.1900	0.1845	0.1469	0.1783	-	-

**Values are in kW/Ton.R*

Anexo 2

Application	Occupancy						Lighting						Refrigeration Load ¹						
	ft ² /person			m ² /person			W/ft ²			W/m ²			ft ² /ton			m ² /kW			
	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	Low	Avg.	High	
Apartment, High Rise	325	175	100	30.2	16.3	9.3	1	2	4	11	22	43	450	400	350	11.9	10.6	9.3	
Auditoriums, Churches, Theaters	15	11	6	1.4	1.0	0.6	1	2	3	11	22	32	400	250	90	10.6	6.6	2.4	
Educational Facilities (Schools, Colleges, Universities)	30	25	20	2.8	2.3	1.9	2	4	6	22	43	65	240	185	150	6.3	4.9	4.0	
Factories:																			
<i>Assembly Areas</i>	50	35	25	4.6	3.3	2.3	3 ²	4.5 ²	6 ²	32 ²	48 ²	65 ²	240	150	90	6.3	4.0	2.4	
<i>Light Manufacturing</i>	200	150	100	18.6	13.9	9.3	9 ²	10 ²	12 ²	97 ²	108 ²	129 ²	200	150	100	5.3	4.0	2.6	
<i>Heavy Manufacturing</i> ³	300	250	200	27.9	23.2	18.6	15 ²	45 ²	60 ²	161 ²	484 ²	646 ²	100	80	60	2.6	2.1	1.6	
Hospitals:																			
<i>Patient Rooms</i> ⁴	75	50	25	7.0	4.6	2.3	1	1.5	2	11	16	22	275	220	165	7.3	5.8	4.4	
<i>Public Areas</i>	100	80	50	9.3	7.4	4.6	1	1.5	2	11	16	22	175	140	110	4.6	3.7	2.9	
Hotels, Motels, Dormitories	200	150	100	18.6	13.9	9.3	1	2	3	11	22	32	350	300	220	9.3	7.9	5.8	
Libraries and Museums	80	60	40	7.4	5.6	3.7	1	1.5	3	11	16	32	340	280	200	9.0	7.4	5.3	
Office Buildings ⁴	130	110	80	12.1	10.2	7.4	4	6 ²	9 ²	43	65 ²	97 ²	360	280	190	9.5	7.4	5.0	
Private Offices	150	125	100	13.9	11.6	9.3	2	5.8	8	22	62	86							
Stenographic Department	100	85	70	9.3	7.9	6.5	5 ²	7.5 ²	10 ²	54 ²	81 ²	108 ²							
Residential:																			
<i>Large</i>	600	400	200	55.8	37.2	18.6	1	2	4	11	22	43	600	500	380	15.9	13.2	10.0	
<i>Medium</i>	600	360	200	55.8	33.5	18.6	0.7	1.5	3	8	16	32	700	550	400	18.5	14.5	10.6	
Restaurants:																			
<i>Large</i>	17	15	13	1.6	1.4	1.2	1.5	1.7	2	16	18	22	135	100	80	3.6	2.6	2.1	
<i>Medium</i>													150	120	100	4.0	3.2	2.6	
Shopping Centers, Department Stores and Specialty Shops																			
Beauty and Barber Shops	45	40	25	4.2	3.7	2.3	3 ²	5 ²	9 ²	32 ²	54 ²	97 ²	240	160	105	6.3	4.2	2.8	
Department stores: Basement	30	25	20	2.8	2.3	1.9	2	3	4	22	32	43	340	285	225	9.0	7.5	5.9	
Department stores: Main Floors	45	25	16	4.2	2.3	1.5	3.5	6 ²	9 ²	38	65 ²	97 ²	350	245	150	9.3	6.5	4.0	
Department stores: Upper Floors	75	55	40	7.0	5.1	3.7	2	2.5	3.5 ²	22	27	38 ²	400	340	280	10.6	9.0	7.4	
Dress Shops	50	40	30	4.6	3.7	2.8	1	2	4	11	22	43	345	280	185	9.1	7.4	4.9	
Drug Stores	35	23	17	3.3	2.1	1.6	1	2	3	11	22	32	180	135	110	4.8	3.6	2.9	
5¢ and 10¢ Stores	35	25	15	3.3	2.3	1.4	1.5	3	5	16	32	54	345	220	120	9.1	5.8	3.2	
Hat Shops	50	43	30	4.6	4.0	2.8	1	2	3	11	22	32	315	270	185	8.3	7.1	4.9	
Shoe Stores	50	30	20	4.6	2.8	1.9	1	2	3	11	22	32	300	220	150	7.9	5.8	4.0	
Malls	100	75	50	9.3	7.0	4.6	1	1.5	2	11	16	22	365	230	160	9.6	6.1	4.2	
Refrigeration for Central Heating and Cooling Plant																			
Urban Districts													475	380	285	12.6	10.0	7.5	
College Campuses													400	320	240	10.6	8.5	6.3	
Commercial Centers													330	265	200	8.7	7.0	5.3	
Residential Centers													625	500	375	16.5	13.2	9.9	

Anexo 3 (Parte 1)

Subsectores Comerciales	Empresas	Direccion Completa	Latitud	Longitud	Municipio	Pisos	Area Total [m2]	Factor Carga [TR/m2]	Carga Enfriamiento [TR]
Centros Comerciales	Megamall	Cra 33a #29-15, Bucaramanga, Santander	7,130425	-73,112264	Bucaramanga	4	54.171,8	0,033	1.770,23
	Cuarta Etapa	Cll 51 #35-28, Bucaramanga, Santander	7,115204	-73,108722	Bucaramanga	2	4.690,7	0,033	153,28
	Quinta Etapa	Cra 35a #49-55, Bucaramanga, Santander	7,115259	-73,108029	Bucaramanga	6	14.801,1	0,033	483,67
	Cinemas Cabecera - Cinecolombia	Cra 35a #49-55, Bucaramanga, Santander	7,115534	-73,109497	Bucaramanga	1	610,2	0,033	19,94
	Cacique	Tv 93 #34-99, Bucaramanga, Santander	7,099448	-73,107239	Bucaramanga	4	66.317,4	0,033	2.167,13
	Acropolis	Cll 56 #9-140, Bucaramanga, Santander	7,104222	-73,122602	Bucaramanga	2	4.063,3	0,033	132,78
	Cañaveral	Cll 30 #25-71, Floridablanca, Santander	7,070066	-73,106863	Floridablanca	2	17.393,9	0,033	568,40
	Caracoli	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,071801	-73,105079	Floridablanca	5	35.103,5	0,033	890,00
	La Florida	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,070471	-73,105366	Floridablanca	3	8.229,1	0,033	260,91
	Jumbo Cabecera	Cll 41 #31-120, Bucaramanga, Santander	7,121347	-73,112304	Bucaramanga	3	4.999,9	0,033	163,39
Supermercados	Éxito Cabecera	Cll 42 #29-57, Bucaramanga, Santander	7,115109	-73,109291	Bucaramanga	2	3.837,5	0,033	125,40
	Mas x Menos Cabecera	Cra 35 #44-42, Bucaramanga, Santander	7,119692	-73,110173	Bucaramanga	2	1.311,4	0,033	42,85
	Éxito La Rosita	Cra 16 con Av la rosita, Bucaramanga, Santander	7,113976	-73,122896	Bucaramanga	1	17.119,4	0,033	559,43
	Cajasan Puertas del Sol	Cra 27 #61-70, Bucaramanga, Santander	7,105685	-73,114631	Bucaramanga	1	1.910,3	0,033	62,43
	Mas x Menos Cañaveral	Cll 157 #154-137, Bucaramanga, Santander	7,071665	-73,114041	Floridablanca	1	367,5	0,033	12,01
	Metro Cañaveral	Autopista Floridablanca Calle 25, Floridablanca, Santander	7,074435	-73,108968	Floridablanca	1	3.744,2	0,033	122,35
	Jumbo Floridablanca	Cll 31a #20-42, Floridablanca, Santander	7,069836	-73,105198	Floridablanca	2	5.937,7	0,033	194,03
	Makro Floridablanca	Km 2 Anillo vial, Floridablanca, Santander	7,060494	-73,119815	Floridablanca	1	4.881,2	0,033	125,00
	Alkosto Floridablanca	Km 2,5 Anillo vial, Floridablanca, Santander	7,061824	-73,117112	Floridablanca	1	7.793,8	0,033	254,69
	Mas x Menos Cra 27	Cra 27 #21-26, Bucaramanga, Santander	7,128414	-73,119657	Bucaramanga	1	1.395,2	0,033	45,59
Micromercados	D1 San Alonso	Cra 27 #25-2, Bucaramanga, Santander	7,128237	-73,118763	Bucaramanga	1	360,4	0,033	11,78
	D1 San Francisco	Cll 14 #21-64, Bucaramanga, Santander	7,133654	-73,124863	Bucaramanga	1	549,6	0,033	17,96
	D1 Cra 27	Cra 27 #35-63, Bucaramanga, Santander	7,122505	-73,116612	Bucaramanga	1	675,7	0,033	22,08
	D1 Cra 33	Cra 33 #42-51, Bucaramanga, Santander	7,121615	-73,111724	Bucaramanga	1	217,3	0,033	7,10
	D1 Cabecera	Cra 36 #48-31, Bucaramanga, Santander	7,116358	-73,108585	Bucaramanga	1	392,8	0,033	12,83
	D1 Caracoli	Cra 12a #27-56, Floridablanca, Santander	7,070919	-73,104389	Floridablanca	1	563,5	0,033	18,41
	Justo y Bueno San Alonso	Cra 30 #21-80, Bucaramanga, Santander	7,128988	-73,117038	Bucaramanga	1	452,1	0,033	14,77
	Justo y Bueno Cll 56	Cll 56 #35-23, Bucaramanga, Santander	7,110116	-73,10843	Bucaramanga	1	411,9	0,033	13,46
	Militar	Cll 32 #14-23, Bucaramanga, Santander	7,132701	-73,109771	Bucaramanga	2	6.819,4	0,044	298,73
	Universitario	Cra 33 #28-126, Bucaramanga, Santander	7,127877	-73,114111	Bucaramanga	12	28.439,7	0,044	1.245,83
Hospitales	Los Comunereros	Cra 27 #30-15, Bucaramanga, Santander	7,125985	-73,118105	Bucaramanga	7	18.703,9	0,044	819,34
	San Luis	Cra 26 #48-56, Bucaramanga, Santander	7,116569	-73,116192	Bucaramanga	8	5.876,1	0,044	257,41
	Fundacion Cardiovascular	Cll 155a #23-58, Floridablanca, Santander	7,072643	-73,109964	Floridablanca	11	12.687,1	0,044	500,00
	Urgencias Foscal	Ave El Bosque #23-60, Floridablanca, Santander	7,073557	-73,110384	Floridablanca	8	21.190,6	0,044	928,27
	Internacional	Valle de Menzuly Km 7, Piedecuesta, Santander	7,035582	-73,068615	Piedecuesta	9	103.593,9	0,044	4.538,02
	Chicamocho - Gonzales Valencia	Ave Gonzalez #55b-10, Bucaramanga, Santander	7,109966	-73,111661	Bucaramanga	5	3.863,5	0,044	169,24
Clínicas	Chicamocho - Mejoras Públicas	Cll 40 #27a-22, Bucaramanga, Santander	7,120354	-73,115038	Bucaramanga	9	4.205,3	0,044	184,21
	Urgencias de Bucaramanga	Cra 33 #53-27, Bucaramanga, Santander	7,111491	-73,109815	Bucaramanga	5	7.993,6	0,044	350,16
	Foscal Internacional	Cll 157 #23-99, Floridablanca, Santander	7,070051	-73,113521	Floridablanca	9	81.322,6	0,044	3.562,40
	Foscal	Cll 155a #23-60, Floridablanca, Santander	7,073156	-73,10998	Floridablanca	10	15.132,1	0,044	662,87
	Higuera Escalante Cabecera	Cll 48 #32-25, Bucaramanga, Santander	7,116603	-73,111812	Bucaramanga	2	1.123,0	0,044	49,20
	Centro Medico	Carlos Ardila Lulle	Cra 24 #154-106, Floridablanca, Santander	7,073896	-73,11001	Floridablanca	13	12.689,4	0,044
	Chicamocho	Cra 28 #40-37, Bucaramanga, Santander	7,12071	-73,114479	Bucaramanga	10	3.217,2	0,044	140,93
Universidades	UIS								
	UDI	Cll 9 #23-55, Bucaramanga, Santander	7,138287	-73,124203	Bucaramanga		14.985,8	0,045	676,26
	UCC	Cll 30a #33-51, Bucaramanga, Santander	7,129032	-73,1133	Bucaramanga		7.312,0	0,045	329,97
	UMB	Cll 33 #27-12, Bucaramanga, Santander	7,124264	-73,117378	Bucaramanga	3	1.597,8	0,045	72,10
	UNAD	Cra 27 #40-43, Bucaramanga, Santander	7,119458	-73,115572	Bucaramanga	4	912,1	0,045	41,16
	UTS								
	UDES	Cll 70 #55-210, Bucaramanga, Santander	7,105814	-73,094777	Bucaramanga		10.832,3	0,045	488,83
	UNAB La Casona	Cll 42 #34-14, Bucaramanga, Santander	7,121461	-73,110929	Bucaramanga	2	928,3	0,045	41,89
	UNAB El Jardín	Av 42 #48-11, Bucaramanga, Santander	7,116802	-73,104939	Bucaramanga		11.193,9	0,045	505,15
	UNAB Terrazas	Cra 47 #53-78, Bucaramanga, Santander	7,112381	-73,105375	Bucaramanga		843,5	0,045	38,06
	UNAB El Bosque	Cll 157 #14-55, Floridablanca, Santander	7,071199	-73,113034	Floridablanca	6	8.324,0	0,045	300,00
	USTA	Cra 27 #180 - 395, Floridablanca, Santander	7,066022	-73,095418	Floridablanca		17.752,0	0,045	801,09
UPB									

Anexo 3 (Parte 2)

Universidades	UIS								
	UDI	Cli 9 #23-55, Bucaramanga, Santander	7,138287	-73,124203	Bucaramanga		14.985,8	0,045	676,26
	UCC	Cli 30a #33-51, Bucaramanga, Santander	7,129032	-73,1133	Bucaramanga		7.312,0	0,045	329,97
	UMB	Cli 33 #27-12, Bucaramanga, Santander	7,124264	-73,117378	Bucaramanga	3	1.597,8	0,045	72,10
	UNAD	Cra 27 #40-43, Bucaramanga, Santander	7,119450	-73,115572	Bucaramanga	4	912,1	0,045	41,16
	UTS								
	UDES	Cli 70 #55-210, Bucaramanga, Santander	7,105814	-73,094777	Bucaramanga		10.832,3	0,045	488,83
	UNAB La Casona	Cli 42 #34-14, Bucaramanga, Santander	7,121461	-73,110929	Bucaramanga	2	928,3	0,045	41,89
	UNAB El Jardín	Av 42 #48-11, Bucaramanga, Santander	7,116802	-73,104939	Bucaramanga		11.193,9	0,045	505,15
	UNAB Terrazas	Cra 47 #53-70, Bucaramanga, Santander	7,112381	-73,105375	Bucaramanga		843,5	0,045	38,06
	UNAB El Bosque	Cli 157 #14-55, Floridablanca, Santander	7,071199	-73,113034	Floridablanca	6	8.324,0	0,045	300,00
	USTA	Cra 27 #180 - 395, Floridablanca, Santander	7,066022	-73,095418	Floridablanca		17.752,0	0,045	801,09
	UPB								
Centros Negocio o Administrativos	Ecoparque Natura	Km 2,176 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,06188	-73,114548	Floridablanca	7	38.203,4	0,030	2.300,00
	Zona Franca	Km 4 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,061043	-73,126973	Floridablanca	7	17.436,9	0,030	521,82
	Tigo - UNE	Km 3,8 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,063379	-73,122117	Floridablanca	2	1.395,1	0,030	150,00
	Primera Etapa Cabecera								
	Segunda Etapa Cabecera								
	Tercera Etapa Cabecera								
	Cajasan	Cra 27 #61-78, Bucaramanga, Santander	7,105743	-73,114251	Bucaramanga	5	2.717,5	0,030	81,32
	Metropolitán	Cra 29 #45-79, Bucaramanga, Santander	7,11816	-73,111809	Bucaramanga	14	15.641,1	0,030	468,08
	Green Gold								
	ESSA Central	Cra 19 #24-56, Bucaramanga, Santander	7,124923	-73,125783	Bucaramanga	3	7.305,0	0,030	285,65
Hoteles	Sonesta	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,072226	-73,105203	Floridablanca	13	10.923,6	0,031	333,93
	Roseliere	Cli 30 #24-38, Floridablanca, Santander	7,069296	-73,107145	Floridablanca	20	5.109,0	0,031	156,18
	Holiday Inn	Tv Oriental Cli 93, Bucaramanga, Santander	7,099664	-73,106932	Bucaramanga	12	15.749,2	0,031	481,45
	Bga	Cra 36 #48-76, Bucaramanga, Santander	7,116228	-73,108793	Bucaramanga	10	2.361,7	0,031	72,20
	TRYP	Cra 38 #48-66, Bucaramanga, Santander	7,116349	-73,108525	Bucaramanga	8	3.105,5	0,031	94,94
	Hampton	Cra 33 #46-07, Bucaramanga, Santander	7,117932	-73,111094	Bucaramanga	9	3.448,5	0,031	105,42
	Dann Carlton	Cli 47 #28-83, Bucaramanga, Santander	7,117727	-73,112433	Bucaramanga	11	10.932,2	0,031	334,20
	Chicamocha	Cli 34 #31-24, Bucaramanga, Santander	7,124499	-73,113719	Bucaramanga	10	9.601,8	0,031	293,53
	Spinning Center Gym	Cli 42 #29-57, Bucaramanga, Santander	7,120802	-73,11286	Bucaramanga	3	1.774,4	0,041	72,06
	Mc Donalds Cabecera	Cra 36 #44-95, Bucaramanga, Santander	7,119562	-73,10906	Bucaramanga	2	557,9	0,009	49,57
Varios	Panamericana	Cra 27 #5-75, Bucaramanga, Santander	7,11746	-73,115018	Bucaramanga	2	6.063,6	0,041	246,27
	Homecenter	Cra 21 #45-20, Bucaramanga, Santander	7,115678	-73,120472	Bucaramanga	1	7.538,1	0,041	306,16
	Dentix	Cra 35a #51-03, Bucaramanga, Santander	7,114734	-73,108831	Bucaramanga	2	315,7	0,038	12,13
	Movistar Cañaveral	Cli 30 #25-71, Floridablanca, Santander	7,072044	-73,106021	Floridablanca	1	364,6	0,109	39,87
	Alcaldia	Cra 11 #34-52, Bucaramanga, Santander	7,117668	-73,130204	Bucaramanga	5	11.928,0	0,030	356,96
	Gobernación	Cli 37 #10-36, Bucaramanga, Santander	7,116118	-73,129796	Bucaramanga	4	12.430,7	0,030	372,01
Sector Publico	Fiscalia	Cra 19 #24-61, Bucaramanga, Santander	7,125188	-73,125041	Bucaramanga	8	11.199,1	0,030	335,15
	UNAB	Av 42 #48-11, Bucaramanga, Santander	7,116800	-73,104939	Bucaramanga	1	1.563,2	0,027	41,93
	Pedro Gomez Valderrama	Cli 30 #26-117, Bucaramanga, Santander	7,126491	-73,119002	Bucaramanga	1	387,5	0,027	10,39
Auditorios o Teatros	Santander	Cli 33 #18-60, Bucaramanga, Santander	7,121138	-73,124014	Bucaramanga	1	1.355,3	0,027	36,35
	Corfescu	Cli 34 #26 - 46, Bucaramanga, Santander	7,122421	-73,117602	Bucaramanga	1	651,5	0,027	17,47
	Davivienda Cra 35a	Cli 52 #35a-45, Bucaramanga, Santander	7,11356	-73,108875	Bucaramanga	1	263,3	0,030	7,88
	Bancolombia Cra 35a	Cra 35a #51-41, Bucaramanga, Santander	7,114488	-73,10877	Bucaramanga	2	381,2	0,030	11,41
Bancos	AV Villas Cra 35a	Cra 35a #51-11, Bucaramanga, Santander	7,114656	-73,108815	Bucaramanga	2	350,1	0,030	10,48
	Banco de Bogota Cli 52	Cli 52 #34-32, Bucaramanga, Santander	7,113253	-73,108955	Bucaramanga	1	298,4	0,030	8,93
	Colpatria Cabecera del Llano	Cli 51 #34-48, Bucaramanga, Santander	7,114569	-73,109667	Bucaramanga	2	447,6	0,030	13,40
	Davivienda Cra 33	Cli 49 #33-23, Bucaramanga, Santander	7,114912	-73,110607	Bucaramanga	1	141,8	0,030	4,24
	BBVA Cabecera del Llano	Cli 52 #33-42, Bucaramanga, Santander	7,113117	-73,109935	Bucaramanga	2	255,5	0,030	7,65
	Scotiabank Colpatria	Cli 52 #33-37, Bucaramanga, Santander	7,113377	-73,109993	Bucaramanga	2	361,8	0,030	10,83
	Bancolombia Cra 32	Cra 32 #47-53, Bucaramanga, Santander	7,116939	-73,111937	Bucaramanga	1	296,8	0,030	8,88
	Davivienda Cra 29	Cra 29 #48-72, Bucaramanga, Santander	7,11563	-73,1126	Bucaramanga	2	744,6	0,030	22,28
	Banco de Occidente	Cra 29 #48-24, Bucaramanga, Santander	7,116053	-73,112482	Bucaramanga	2	811,7	0,030	24,29
	Banco GNB Sudameris Cabecera	Cli 48 #28-61, Bucaramanga, Santander	7,116564	-73,112639	Bucaramanga	1	482,2	0,030	14,43
	Itau Cra 29	Cra 29 #45-79, Bucaramanga, Santander	7,117832	-73,115101	Bucaramanga	2	562,8	0,030	16,84
	BBVA Las Palmas	Cli 44 #28-63, Bucaramanga, Santander	7,119522	-73,119522	Bucaramanga	1	348,7	0,030	10,43
	Banco del Occidente Las Palmas	Cli 44a #25a-45, Bucaramanga, Santander	7,119924	-73,112197	Bucaramanga	2	854,5	0,030	25,57
	Bancolombia Cra 34	Cra 34 #42-106, Bucaramanga, Santander	7,120163	-73,111178	Bucaramanga	4	1.074,2	0,030	32,15
	Banco Pichincha Cabecera	Cra 35 #42-39, Bucaramanga, Santander	7,120953	-73,110033	Bucaramanga	1	391,7	0,030	11,72
	Banco de Bogota Guarín	Cra 33 #33-44, Bucaramanga, Santander	7,126019	-73,113036	Bucaramanga	1	190,5	0,030	5,70
	Banco Agrario	Cli 35 #17-34, Bucaramanga, Santander	7,119059	-73,12481	Bucaramanga	4	1.205,5	0,030	36,08
	Davivienda Cra 27	Cra 27 #51-2, Bucaramanga, Santander	7,114139	-73,115149	Bucaramanga	2	352,4	0,030	10,55
	Davivienda Centro	Cli 35 #17-56, Bucaramanga, Santander	7,119226	-73,124465	Bucaramanga	2	564,2	0,030	16,88
	Banco de la Republica	Cra 19 #34-93, Bucaramanga, Santander	7,120005	-73,123316	Bucaramanga	9	6.108,2	0,030	182,80

Anexo 4

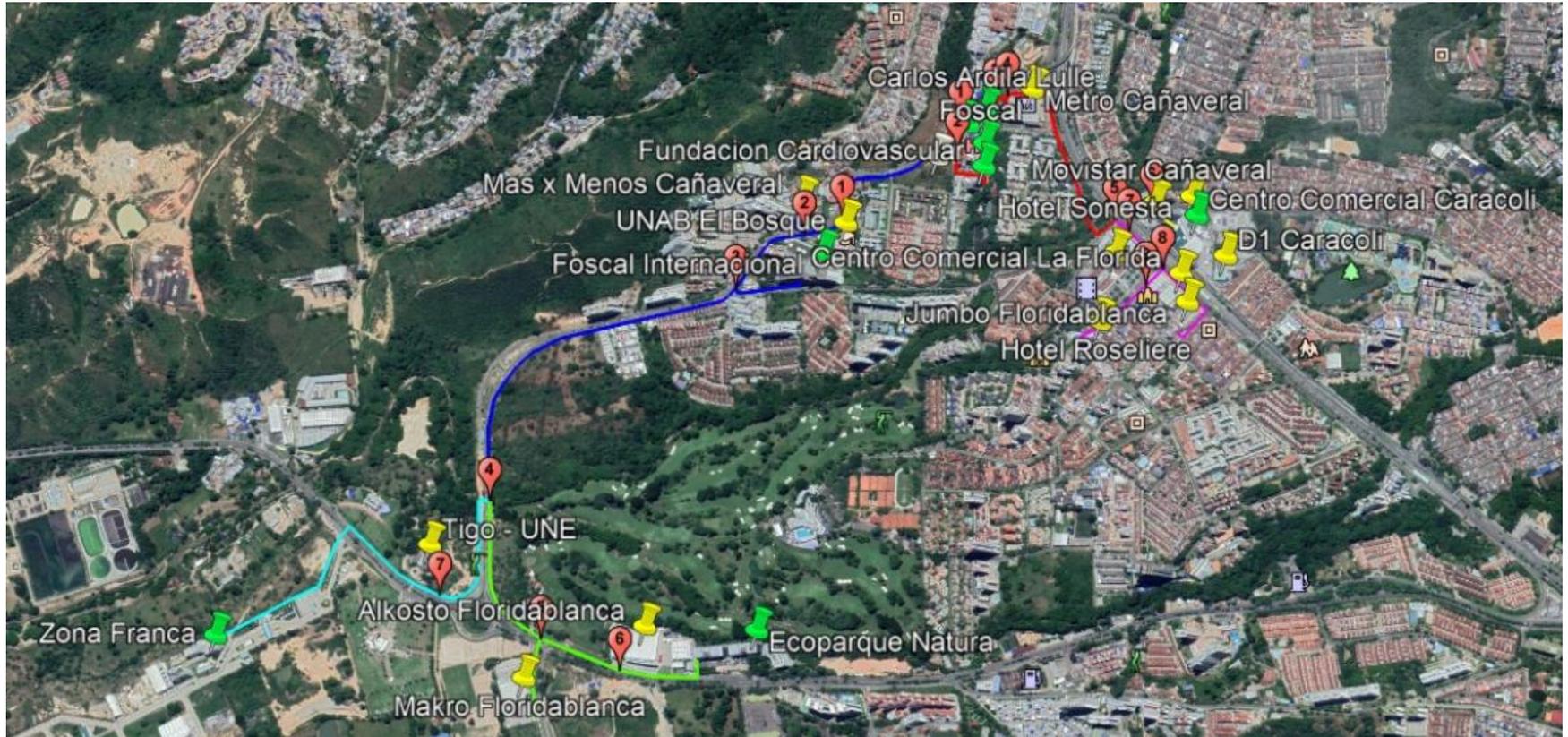
Subsectores Comerciales	Empresas	Direccion Completa	Latitud	Longitud	Municipio	Pisos	Area Total [m2]	Factor Carga [TR/m2]	Carga Enfriamiento [TR]
Centros Comerciales	Cañaveral	Cll 30 #25-71, Floridablanca, Santander	7,070866	-73,106863	Floridablanca	2	17.393,9	0,033	568,40
	Caracoli	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,071801	-73,105079	Floridablanca	5	35.103,5	0,033	890,00
	La Florida	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,070471	-73,105366	Floridablanca	3	8.229,1	0,033	268,91
Supermercados	Mas x Menos Cañaveral	Cll 157 #154-137, Bucaramanga, Santander	7,071665	-73,114041	Floridablanca	1	367,5	0,033	12,01
	Metro Cañaveral	Autopista Floridablanca Calle 25, Floridablanca, Santander	7,074435	-73,108968	Floridablanca	1	3.744,2	0,033	122,35
	Jumbo Floridablanca	Cll 31a #20-42, Floridablanca, Santander	7,069836	-73,105198	Floridablanca	2	5.937,7	0,033	194,03
	Makro Floridablanca	Km 2 Anillo vial, Floridablanca, Santander	7,060494	-73,119815	Floridablanca	1	4.881,2	0,033	125,00
	Alkostro Floridablanca	Km 2,5 Anillo vial, Floridablanca, Santander	7,061824	-73,117112	Floridablanca	1	7.793,8	0,033	254,69
Micromercados	D1 Caracoli	Cra 12a #27-56, Floridablanca, Santander	7,070919	-73,104389	Floridablanca	1	563,5	0,033	18,41
Hospitales	Fundacion Cardiovascular	Cll 155a #23-58, Floridablanca, Santander	7,072643	-73,109964	Floridablanca	11	12.687,1	0,044	500,00
	Urgencias Foscal	Ave El Bosque #23-60, Floridablanca, Santander	7,073557	-73,110384	Floridablanca	8	21.190,6	0,044	928,27
Clinicas	Foscal Internacional	Cll 157 #23-99, Floridablanca, Santander	7,07051	-73,113521	Floridablanca	9	81.322,6	0,044	3.562,40
	Foscal	Cll 155a #23-60, Floridablanca, Santander	7,073156	-73,10998	Floridablanca	10	15.132,1	0,044	662,87
Centro Medico	Carlos Ardila Lulle	Cra 24 #154-106, Floridablanca, Santander	7,073896	-73,11001	Floridablanca	13	12.689,4	0,044	640,00
Universidades	UNAB El Bosque	Cll 157 #14-55, Floridablanca, Santander	7,071199	-73,113034	Floridablanca	6	8.324,0	0,045	300,00
	USTA	Cra 27 #180 - 395, Floridablanca, Santander	7,066022	-73,095418	Floridablanca		17.752,0	0,045	801,09
Centros Negocio o Administrativos	Ecoparque Natura	Km 2,176 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,06188	-73,114548	Floridablanca	7	38.203,4	0,030	2.300,00
	Zona Franca	Km 4 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,061043	-73,126973	Floridablanca	7	17.436,9	0,030	521,82
	Tigo - UNE	Km 3,8 Anillo Vial, Floridablanca, Santander	7,063379	-73,12217	Floridablanca	2	1.395,1	0,030	150,00
Hoteles	Sonesta	Cra 27 #29-145, Floridablanca, Santander	7,072226	-73,105203	Floridablanca	13	10.923,6	0,031	333,93
	Roseliere	Cll 30 #24-38, Floridablanca, Santander	7,069296	-73,107145	Floridablanca	20	5.109,0	0,031	156,18
Varios	Movistar Cañaveral	Cll 30 #25-71, Floridablanca, Santander	7,072044	-73,106021	Floridablanca	1	364,6	0,109	39,87

Anexo 5

Tiempo	LINEA A				LINEA B			
	Capacidad Enfriamiento [TR]	Flujo Enfriamiento [m3/s]	Cantidad Bombas	Consumo [kW]	Capacidad Enfriamiento [TR]	Flujo Enfriamiento [m3/s]	Cantidad Bombas	Consumo [kW]
1	2652,02	0,40	3,00	316,80	3430,73	0,51	4,00	472,40
2	2636,15	0,40	3,00	316,80	3417,43	0,51	4,00	472,40
3	2479,94	0,37	3,00	316,80	3277,06	0,49	3,00	354,30
4	2432,57	0,36	3,00	316,80	3125,17	0,47	3,00	354,30
5	2365,95	0,35	3,00	316,80	3335,64	0,50	4,00	472,40
6	2489,14	0,37	3,00	316,80	3713,31	0,56	4,00	472,40
7	2962,14	0,44	3,00	316,80	5366,47	0,80	5,00	590,50
8	3725,63	0,56	4,00	422,40	6383,72	0,96	6,00	708,60
9	4317,38	0,65	4,00	422,40	6417,30	0,96	6,00	708,60
10	4640,18	0,70	5,00	528,00	6814,88	1,02	7,00	826,70
11	4780,92	0,72	5,00	528,00	6914,66	1,04	7,00	826,70
12	4946,78	0,74	5,00	528,00	7207,29	1,08	7,00	826,70
13	4986,06	0,75	5,00	528,00	7218,43	1,08	7,00	826,70
14	5097,17	0,76	5,00	528,00	7239,58	1,09	7,00	826,70
15	5409,94	0,81	5,00	528,00	7508,24	1,13	7,00	826,70
16	5528,36	0,83	6,00	633,60	7547,83	1,13	7,00	826,70
17	5441,07	0,82	5,00	528,00	7502,73	1,13	7,00	826,70
18	5192,57	0,78	5,00	528,00	7148,44	1,07	7,00	826,70
19	4835,76	0,73	5,00	528,00	6103,45	0,92	6,00	708,60
20	4052,27	0,61	4,00	422,40	4589,84	0,69	5,00	590,50
21	3449,74	0,52	4,00	422,40	4211,85	0,63	4,00	472,40
22	2969,42	0,45	3,00	316,80	3759,08	0,56	4,00	472,40
23	2791,37	0,42	3,00	316,80	3621,27	0,54	4,00	472,40
24	2696,91	0,40	3,00	316,80	3523,39	0,53	4,00	472,40

Enfriadores			Torres y Bombas						
Capacidad Enfriamiento [TR]	Flujo Enfriamiento [m3/s]	Cantidad Equipos Enfriamiento	Capacidad Torres Enfriamiento [TR]	Flujo Torre Enfriamiento [m3/s]	Cantidad Bombas	Consumo [kW]	Cantidad Torres	Consumo [kW]	
6.082,75	0,91	5,00	7.603,43	1,07	10,00	139,80	4	298,28	
6.053,58	0,91	5,00	7.566,98	1,07	10,00	139,80	4	298,28	
5.757,01	0,86	5,00	7.196,26	1,01	9,00	125,82	4	298,28	
5.557,74	0,83	4,00	6.947,18	0,98	9,00	125,82	4	298,28	
5.701,59	0,86	5,00	7.126,99	1,00	9,00	125,82	4	298,28	
6.202,45	0,93	5,00	7.753,06	1,09	10,00	139,80	4	298,28	
8.328,61	1,25	6,00	10.410,76	1,47	13,00	181,74	5	372,85	
10.109,35	1,52	8,00	12.636,68	1,78	16,00	223,68	6	447,42	
10.734,68	1,61	8,00	13.418,35	1,89	17,00	237,66	7	521,99	
11.455,06	1,72	9,00	14.318,82	2,02	18,00	251,64	7	521,99	
11.695,58	1,75	9,00	14.619,48	2,06	18,00	251,64	7	521,99	
12.154,08	1,82	9,00	15.192,60	2,14	19,00	265,62	8	596,56	
12.204,49	1,83	9,00	15.255,61	2,15	19,00	265,62	8	596,56	
12.336,76	1,85	9,00	15.420,94	2,17	19,00	265,62	8	596,56	
12.918,18	1,94	10,00	16.147,73	2,27	20,00	279,60	8	596,56	
13.076,19	1,96	10,00	16.345,24	2,30	21,00	293,58	8	596,56	
12.943,81	1,94	10,00	16.179,76	2,28	20,00	279,60	8	596,56	
12.341,01	1,85	9,00	15.426,26	2,17	19,00	265,62	8	596,56	
10.939,21	1,64	8,00	13.674,01	1,93	17,00	237,66	7	521,99	
8.642,11	1,30	7,00	10.802,64	1,52	14,00	195,72	6	447,42	
7.661,59	1,15	6,00	9.576,99	1,35	12,00	167,76	5	372,85	
6.728,50	1,01	5,00	8.410,63	1,18	11,00	153,78	4	298,28	
6.412,64	0,96	5,00	8.015,81	1,13	10,00	139,80	4	298,28	
6.220,29	0,93	5,00	7.775,36	1,10	10,00	139,80	4	298,28	

Anexo 6



Anexo 7

Linea A													
Empresas	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Flujo [m3/h]	Distancia [m]	Elevacion [m]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]	Diametro Externo [mm]	d/ro	Rs [mC/W]	Rp [mC/W]	q [TR/m]	q [TR]
Foscal	389,752	0,25055	901,96	13,57	863	385,42	2,15	457,20	8,75	0,31	0,06040	-0,00453	-0,06150
Fundacion Cardiovascular	217,889	0,07830	281,89	145,64	853	230,18	1,88	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,00394	-0,57355
Carlos Ardila Lulle	241,775	0,09641	347,08	28,82	867	230,18	2,32	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,00394	-0,11350
Metro Cañaverl	107,394	0,01902	68,48	22,91	866	96,37	2,61	114,30	35,00	0,46	0,06036	-0,00322	-0,07388
Total		0,44428	1599,42	210,94		Promedio	2,24					Total	0,82242
Linea AA													
Movistar Cañaverl	61,388	0,00622	22,38	18,25	847	74,93	1,41	88,90	44,99	0,49	0,06046	-0,00306	-0,05592
Caracoli - Sonesta	341,365	0,19220	691,91	77,70	851	299,77	2,72	355,60	11,25	0,34	0,06040	-0,00422	-0,32801
Total		0,19841	714,29	95,95		Promedio	2,07					Total	0,38393
Linea AR													
Cañaverl	232,948	0,08950	322,20	17,10	846	230,18	2,15	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,00394	-0,06734
Jumbo Floridablanca	135,240	0,03017	108,60	261,25	855	119,09	2,71	141,29	28,31	0,44	0,06045	-0,00337	-0,88122
La Florida	160,228	0,04234	152,44	41,50	848	141,86	2,68	168,28	23,77	0,42	0,06040	-0,00351	-0,14554
Roseliere	121,497	0,02435	87,65	246,26	842	119,09	2,19	141,29	28,31	0,44	0,06046	-0,00337	-0,83066
Total		0,18636	670,89	566,11		Promedio	2,43					Total	1,92
Linea Principal B													
Empresas	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Flujo [m3/h]	Distancia [m]	Elevacion [m]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]	Diametro Externo [mm]	d/ro	Rs [mC/W]	Rp [mC/W]	q [TR/m]	q [TR]
UNAB EI Bosque	168,388	0,04677	168,36	44,04	852	184,68	1,75	219,08	18,26	0,39	0,06040	-0,00373	-0,16425
Mas x Menos Cañaverl	33,859	0,00189	6,81	48,03	852	35,56	1,90	42,16	94,87	0,57	0,06025	-0,00267	-0,12830
Foscal Internacional	583,183	0,56094	2019,39	187,88	827	513,84	2,71	609,60	6,56	0,28	0,06044	-0,00495	-0,92952
Total		0,60960	2194,56	279,95		Promedio	2,12					Total	1,22207
Linea BV													
Makro Floridablanca	108,549	0,01943	69,96	210,59	790	96,37	2,66	114,30	35,00	0,46	0,06036	-0,00322	-0,67915
Alkostro Floridablanca	154,944	0,03960	142,55	57,94	795	141,86	2,51	168,28	23,77	0,42	0,06040	-0,00351	-0,20319
Ecoparque	466,245	0,35854	1290,75	244,97	798	428,24	2,49	508,00	7,87	0,30	0,06040	-0,00468	-1,14543
Total		0,41757	1503,26	513,50		Promedio	2,55					Total	2,02776
Linea BC													
Tigo - UNE	119,068	0,02338	84,18	117,27	783	119,09	2,10	141,29	28,31	0,44	0,06046	-0,00337	-0,39556
Zona Franca	222,081	0,08135	292,84	737,51	777	230,18	1,95	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,00394	-2,90439
Total		0,10473	377,02	854,78		Promedio	2,03					Total	3,29995

Anexo 8

Linea Principal A												
Tramos	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Distancia [m]	Elevacion [m]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]	Diametro Externo [mm]	d/ro	Rs [mC/W]	Rp [mC/W]	q [TR/m]	q [TR]
0 - 1	708,984	0,82905	84,88	870	642,37	2,56	762,00	5,25	0,25	0,06040	-0,0053	-0,4522
1 - 2	446,522	0,32885	72,39	863	385,42	2,82	457,20	8,75	0,31	0,06040	-0,0045	-0,3281
1 - 3	550,706	0,50021	101,44	869	513,84	2,41	609,60	6,56	0,28	0,06044	-0,0049	-0,5019
3 - 4	494,794	0,40379	36,51	868	428,24	2,80	508,00	7,87	0,30	0,06040	-0,0047	-0,1707
4 - 5	482,999	0,38477	533,78	843	428,24	2,67	508,00	7,87	0,30	0,06040	-0,0047	-2,4958
5 - 6	346,841	0,19841	103,60	846	299,77	2,81	355,60	11,25	0,34	0,06040	-0,0042	-0,4374
5 - 7	336,139	0,18636	46,96	846	299,77	2,64	355,60	11,25	0,34	0,06040	-0,0042	-0,1982
7 - 8	242,331	0,09686	125,42	849	230,18	2,33	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,0039	-0,4939
8 - 9	201,083	0,06669	61,06	847	184,68	2,49	219,08	18,26	0,39	0,06040	-0,0037	-0,2277

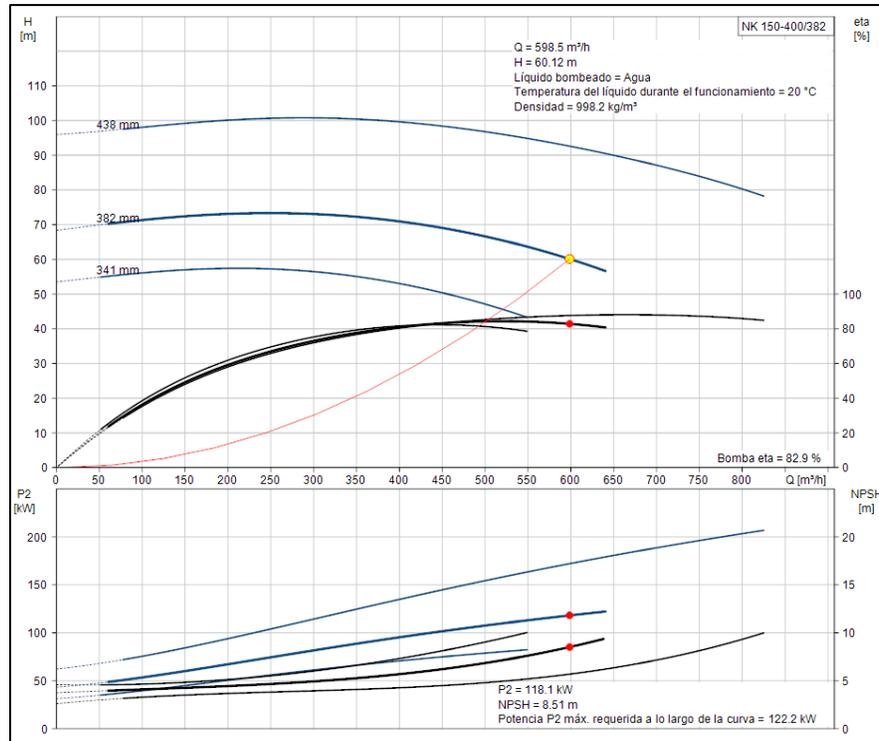
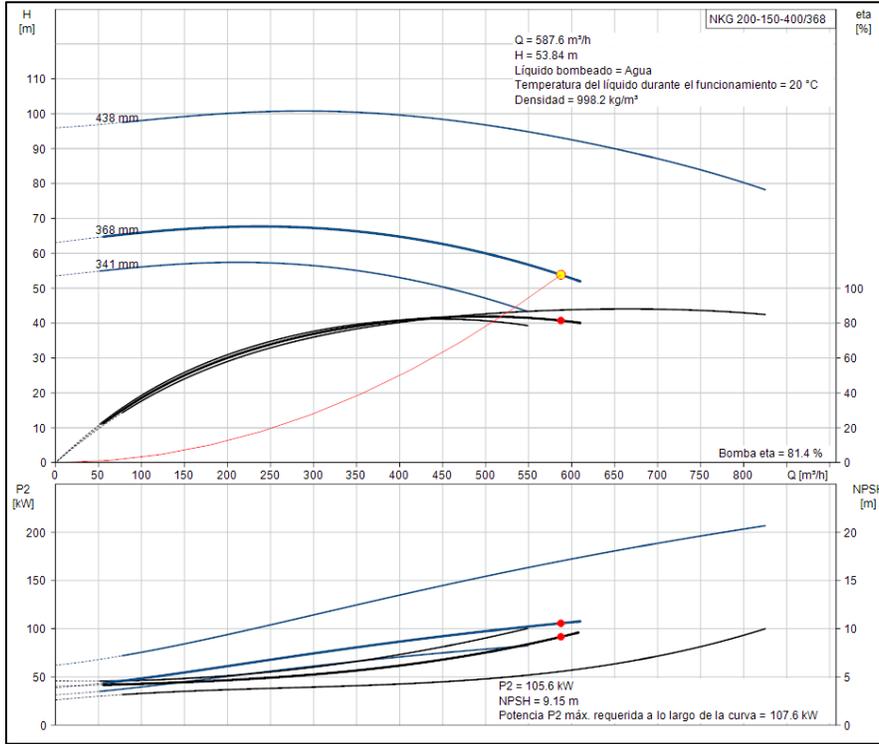
Linea Principal B												
Tramos	Diametro [mm]	Flujo [m3/s]	Distancia [m]	Elevacion [m]	Diametro Real [mm]	Velocidad [m/s]	Diametro Externo [mm]	d/ro	Rs [mC/W]	Rp [mC/W]	q [TR/m]	q [TR]
0 - 1	828,417	1,13190	354,99	854	770,79	2,43	914,40	4,37	0,23	0,06043	-0,0057	-2,0175
1 - 2	811,123	1,08513	109,76	846	770,79	2,33	914,40	4,37	0,23	0,06043	-0,0057	-0,6238
2 - 3	810,416	1,08324	232,93	819	770,79	2,32	914,40	4,37	0,23	0,06043	-0,0057	-1,3238
3 - 4	562,737	0,52230	962,50	776	513,84	2,52	609,60	6,56	0,28	0,06044	-0,0049	-4,7619
4 - 5	503,165	0,41757	402,87	791	471,02	2,40	558,80	7,16	0,29	0,06044	-0,0048	-1,9393
5 - 6	491,317	0,39814	216,69	795	428,24	2,76	508,00	7,87	0,30	0,06040	-0,0047	-1,0132
4 - 7	251,987	0,10473	342,14	786	230,18	2,52	273,05	14,65	0,37	0,06041	-0,0039	-1,3474

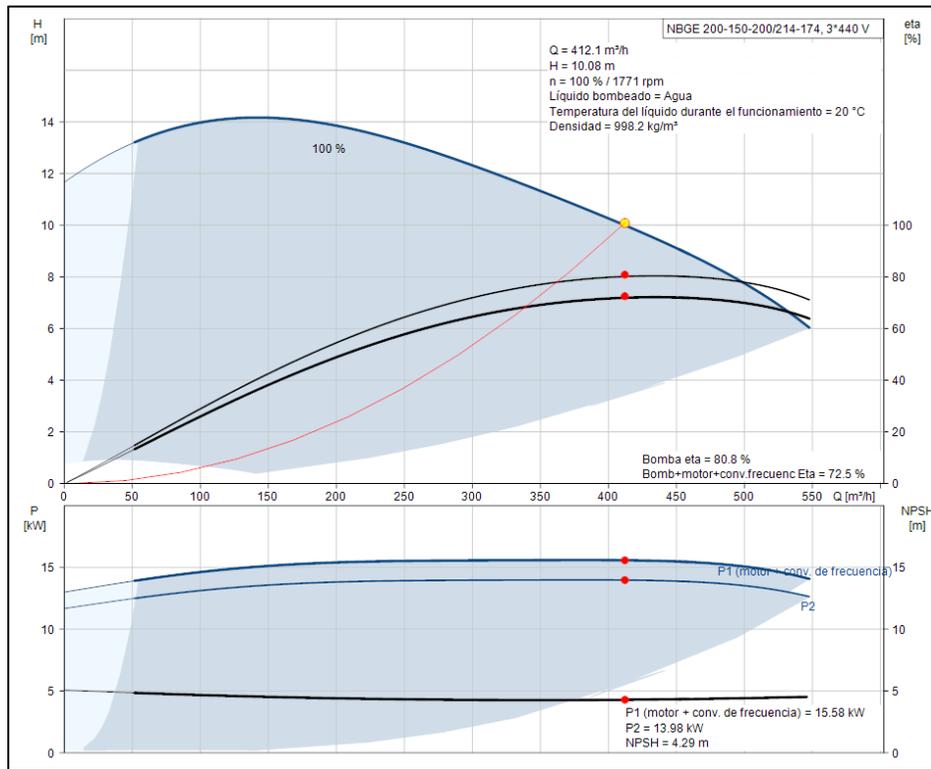
Anexo 9

	Linea A																		
	0 - 1	1 - 2	1 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 8	8 - 9	9 - 10	Foscal	Fundacion Cardiovascular	Carlos Ardila Lulle	Metro	Movistar	Caracoli - Sonesta	Cañaverall	Jumbo	La Florida	Roseliere
	Perdidas Dinamicas Mayores																		
D [m]	0,642	0,385	0,514	0,428	0,428	0,300	0,300	0,230	0,185	0,385	0,230	0,230	0,096	0,075	0,300	0,230	0,119	0,142	0,119
V [m/s]	2,56	2,82	2,41	2,80	2,67	2,81	2,64	2,33	2,49	2,15	1,88	2,32	2,61	1,41	2,72	2,15	2,71	2,68	2,19
$\rho@T=9,4$ [kg/m ³]	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7
$\mu@T=9,4$ [N*s/m ²]	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135
Re [-]	1.220.490,74	806.855,32	920.562,31	891.665,16	849.659,10	625.913,51	587.884,39	397.928,01	341.482,46	614.732,73	321.702,58	396.104,36	186.668,25	78.443,52	606.305,96	367.709,83	239.544,58	282.268,45	193.333,37
ϵ [mm]	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524
d [mm]	642,4	385,4	513,8	428,2	428,2	299,8	299,8	230,2	184,7	385,4	230,2	230,2	96,4	74,9	299,8	230,2	119,1	141,9	119,1
A	9,96	9,59	9,72	9,68	9,64	9,37	9,32	8,99	8,85	9,37	8,82	8,99	8,33	7,60	9,35	8,93	8,54	8,69	8,37
B	9,35	9,02	9,13	9,10	9,06	8,82	8,77	8,47	8,34	8,81	8,30	8,46	7,87	7,21	8,79	8,41	8,06	8,19	7,90
C	9,40	9,07	9,18	9,15	9,11	8,87	8,82	8,52	8,39	8,86	8,35	8,51	7,92	7,25	8,85	8,46	8,11	8,24	7,95
f	0,01132	0,01216	0,01188	0,01195	0,01205	0,01272	0,01286	0,01380	0,01421	0,01274	0,01435	0,01381	0,01597	0,01903	0,01279	0,01400	0,01521	0,01474	0,01584
L [m]	84,88	72,39	101,44	36,51	533,78	103,60	46,96	125,42	61,06	13,57	145,64	28,82	22,91	18,25	77,70	17,10	261,25	41,50	246,26
g [m/s ²]	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
hL [m]	0,50	0,93	0,70	0,41	5,46	1,77	0,72	2,08	1,48	0,11	1,64	0,47	1,32	0,47	1,25	0,25	12,48	1,58	7,98
	Perdidas Dinamicas Menores [m]																		
ft	0,0065	0,0070	0,0067	0,0069	0,0069	0,0073	0,0073	0,0076	0,0078	0,0070	0,0076	0,0076	0,0087	0,0090	0,0073	0,0076	0,0084	0,0082	0,0084
K	0,0521	0,0561	0,0538	0,0552	0,0552	0,0582	0,0582	0,0605	0,0626	0,0561	0,0605	0,0605	0,0694	0,0723	0,0582	0,0605	0,0671	0,0652	0,0671
Cantidad Valvulas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	4	2	2	2	2
ht [m]	0,0348	0,0454	0,0319	0,0443	0,0402	0,0469	0,0414	0,0334	0,0396	0,0527	0,0219	0,0331	0,0481	0,0146	0,0880	0,0286	0,0501	0,0477	0,0327
Perdidas Totales [m]	52,4466																		

	Linea B														
	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	4 - 7	UNAB Bosque	Mas x Menos	Foscal Internacional	Makro	Alkosto	Ecoparque Natura	Tigo - UNE	Zona Franca
	Perdidas Dinamicas Mayores														
D [m]	0,771	0,771	0,771	0,514	0,471	0,428	0,230	0,185	0,036	0,514	0,096	0,142	0,428	0,119	0,230
V [m/s]	2,43	2,33	2,32	2,52	2,40	2,76	2,52	1,75	1,90	2,71	2,66	2,51	2,49	2,10	1,95
$\rho@T=9,4$ [kg/m ³]	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7	999,7
$\mu@T=9,4$ [N*s/m ²]	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135
Re [-]	1.388.696,77	1.331.320,63	1.329.000,75	961.224,20	838.353,96	879.176,29	430.270,70	239.463,51	50.285,11	1.032.341,58	190.704,74	263.958,35	791.738,13	185.681,34	334.202,84
ϵ [mm]	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524	0,001524
d [mm]	770,8	770,8	770,8	513,8	471,0	428,2	230,2	184,7	35,6	513,8	96,4	141,9	428,2	119,1	230,2
A	10,07	10,04	10,04	9,75	9,64	9,67	9,06	8,56	7,20	9,81	8,35	8,63	9,59	8,33	8,85
B	9,45	9,42	9,42	9,16	9,05	9,09	8,53	8,07	6,86	9,22	7,89	8,14	9,01	7,87	8,33
C	9,51	9,48	9,47	9,21	9,11	9,14	8,58	8,12	6,90	9,27	7,93	8,19	9,06	7,92	8,38
f	0,01107	0,01115	0,01115	0,01179	0,01207	0,01198	0,01361	0,01517	0,02102	0,01165	0,01591	0,01492	0,01219	0,01597	0,01425
L [m]	354,99	109,76	232,93	962,50	402,87	216,69	342,14	44,04	48,03	187,88	210,59	57,94	244,97	117,27	737,51
g [m/s ²]	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
hL [m]	1,53	0,44	0,93	7,14	3,02	2,36	6,53	0,56	5,25	1,59	12,58	1,95	2,20	3,53	8,89
	Perdidas Dinamicas Menores [m]														
ft	0,0064	0,0064	0,0064	0,0067	0,0068	0,0069	0,0076	0,0078	0,0103	0,0067	0,0087	0,0082	0,0069	0,0084	0,0076
K	0,0508	0,0508	0,0508	0,0538	0,0545	0,0552	0,0605	0,0626	0,0821	0,0538	0,0694	0,0652	0,0552	0,0671	0,0605
Cantidad Valvulas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ht [m]	0,0305	0,0280	0,0279	0,0348	0,0319	0,0430	0,0391	0,0195	0,0303	0,0401	0,0502	0,0417	0,0349	0,0301	0,0236
Perdidas Totales [m]	58,7751														

Anexo 10





Anexo 11

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Concepto	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
+Ingreso de Operación	COP 31.717.871.138	COP 31.717.871.138	COP 31.717.871.138	COP 31.717.871.138	COP 37.608.654.697	COP 37.608.654.697	COP 46.136.045.405	COP 46.136.045.405	COP 46.136.045.405
-Costos de Operación y Mantenimiento	-COP 17.448.853.163	-COP 17.448.853.163	-COP 17.448.853.163	-COP 17.448.853.163	-COP 22.357.839.462	-COP 22.357.839.462	-COP 29.463.998.385	-COP 29.463.998.385	-COP 29.463.998.385
-Depreciación	-COP 1.961.925.954	-COP 1.961.925.954	-COP 1.961.925.954	-COP 1.961.925.954	-COP 2.678.220.624	-COP 2.678.220.624	-COP 5.612.468.363	-COP 5.612.468.363	-COP 5.612.468.363
=Ganancias Operativas Gravables	COP 12.307.092.022	COP 12.307.092.022	COP 12.307.092.022	COP 12.307.092.022	COP 12.572.594.611	COP 12.572.594.611	COP 11.059.578.657	COP 11.059.578.657	COP 11.059.578.657
-Impuesto a la renta	-COP 4.061.340.367	-COP 4.061.340.367	-COP 4.061.340.367	-COP 4.061.340.367	-COP 4.148.956.222	-COP 4.148.956.222	-COP 3.649.660.957	-COP 3.649.660.957	-COP 3.649.660.957
+Ingreso Venta de Activos (V V - S L)									
-Impuesto sobre Ingreso Venta Activos									
=Ganancias Netas Contables	COP 8.245.751.654	COP 8.245.751.654	COP 8.245.751.654	COP 8.245.751.654	COP 8.423.638.389	COP 8.423.638.389	COP 7.409.917.700	COP 7.409.917.700	COP 7.409.917.700
+Depreciación	COP 1.961.925.954	COP 1.961.925.954	COP 1.961.925.954	COP 1.961.925.954	COP 2.678.220.624	COP 2.678.220.624	COP 5.612.468.363	COP 5.612.468.363	COP 5.612.468.363
-Inversión	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97
+Valor Salvamento									
=Flujo de Fondos Neto	COP -	COP 1.175.895.942	COP 1.175.895.942	COP 1.175.895.942	COP 2.070.077.348	COP 2.070.077.348	COP 3.990.604.397	COP 3.990.604.397	COP 3.990.604.397

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
COP 46.136.045.405										
-COP 29.463.998.385										
-COP 5.612.468.363										
COP 11.059.578.657										
-COP 3.649.660.957										
COP 7.409.917.700										
COP 5.612.468.363										
-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97
COP 3.990.604.397										

20	21	22	23	24	25
2039	2040	2041	2042	2043	2044
COP 46.136.045.405	COP 38.583.007.486				
-COP 29.463.998.385					
-COP 5.612.468.363					
COP 11.059.578.657	COP 3.506.540.738				
-COP 3.649.660.957	-COP 1.157.158.444				
					COP 6.294.198.265
					-COP 2.077.085.428
COP 7.409.917.700	COP 6.566.495.132				
COP 5.612.468.363					
-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97	-\$9.031.781.665,97
COP 3.990.604.397	COP 3.147.181.830				

Anexo 12

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Entre **LAS PARTES** que a continuación se presentan:

- I. Por una **PARTE, MAURICIO MONTOYA BOZZI** mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía No. 91.498.215 de Bucaramanga, actuando en su calidad de Gerente de **ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.**, sociedad debidamente constituida bajo las leyes de la República de Colombia e identificada con NIT 890.201.230-1 todo lo cual consta en el Certificado de Existencia y Representación Legal expedido por la Cámara de Comercio de Bucaramanga que se adjunta como Anexo No. 1, quien en adelante y para todos los efectos del presente **ACUERDO** se denominará "**ESSA**", y de la otra,

- II. **REPRESENTANTE LEGAL ENTIDAD**, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía No. XXX expedida en XXX, actuando en su calidad de Representante Legal de la **XXX** sociedad debidamente constituida bajo las leyes de la República de Colombia e identificada con NIT XXX-X, todo lo cual consta en el Certificado de Existencia y Representación Legal expedido por la Cámara de Comercio de Bucaramanga que se adjunta como Anexo No. 2, quien en Adelante y para los efectos del presente **ACUERDO** se denominará "**XXX**"

Individualmente denominadas **PARTE** o conjuntamente denominadas **LAS PARTES**, acuerdan celebrar el presente **Acuerdo de Confidencialidad** (en adelante el "**ACUERDO**"), previas las siguientes:

CONSIDERACIONES

1. Qué **XXX** es una entidad pública/privada/mixta, que se encarga de "**BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA ENTIDAD.**"

2. **ESSA** tiene como fin solicitar a **XXX**, la información disponible y necesaria acerca de la **CARACTERIZACIÓN DE LA CAPACIDAD Y CONSUMO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y/O PROCESOS A PARTIR DE ENERGÍA TÉRMICA (FRÍO Y CALOR)**, que permita elaborar y presentar una propuesta de **FORMULACIÓN DE UN DISTRITO TÉRMICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**.
3. Que con dicha finalidad **XXX** entregará la información de carácter confidencial, según los términos y condiciones establecidas en el presente acuerdo.
4. Que debido al carácter confidencial de la información a la cual tendrán acceso **LAS PARTES**, se hace necesario suscribir un acuerdo con el fin de mantener en reserva dicha información;
5. Que el presente Acuerdo de Confidencialidad establece el uso y la protección de la Información Confidencial;

En consideración de lo anterior, **LAS PARTES** manifiestan que celebran el presente Acuerdo de Confidencialidad el cual se registrará por las siguientes cláusulas:

CLÁUSULAS

CLÁUSULA PRIMERA –DEFINICIONES.

- b. **Parte Reveladora:** Se constituye en **PARTE REVELADORA**, cualquiera de **LAS PARTES** que suministre a la otra Información Confidencial o no confidencial.

- c. **Parte RECEPTORA:** Se constituye en **PARTE RECEPTORA**, cualquiera de **LAS PARTES** que reciba de la otra Información Confidencial o no confidencial.
- d. Por **Información Confidencial** se entiende lo siguiente:
1. Cualquier información corporativa, accionaria, técnica, financiera, comercial y estratégica, así como cualquier información relacionada con las operaciones de negocios presentes y futuros o condiciones financieras de **LAS PARTES**, bien sea escrita, oral o visual, que se haya o no clasificado como confidencial por **LAS PARTES**.
 2. Los archivos de cada una de **LAS PARTES** y el contenido de cada uno de ellos.
 3. Información de los estados financieros, listados de costos, listados precios, toda actividad pasada, presente o futura de cada una de **LAS PARTES** que se relacione con su negocio.
 4. La información y los reportes que puedan ser generados por cada una de **LAS PARTES**, los cuales estén relacionados con el servicio que prestan.
 5. Información sobre contratos o procesos de contratación, propuestas comerciales, formas de financiación, balances, estados financieros, costos, reglamentos internos y hojas de vida de los empleados de cada una de **LAS PARTES**.
 6. Todo documento, impreso, correspondencia, faxes, imágenes, correos electrónicos y otros en los que alguna de **LAS PARTES** haya proporcionado a la otra **PARTE** tarifas por los bienes o servicios que ofrece.
 7. Cualquier otra información societaria, técnica, jurídica, financiera, comercial, de mercado, estratégica, de productos, de nuevas tecnologías, modelos de negocios que tengan **LAS PARTES** en el presente o en el futuro.
 8. Cualquier otro tipo de información relacionada con **LAS PARTES** que de aquí en adelante acuerden mutuamente incluir dentro de la definición de Información Confidencial;
 9. Cualquier información relacionada con los desarrollos realizados, resultados obtenidos y trazabilidad en materia de “sistemas de medición avanzada (medición inteligente) de ESSA.”

Se exceptúan de lo anterior la siguiente información:

1. Aquella que haya sido de dominio público, o que sea publicada sin que medie ninguna acción y/o intervención de la **PARTE RECEPTORA**.
2. Aquella cuya revelación y/o divulgación se realice en desarrollo o por mandato de una ley, decreto, sentencia u orden de autoridad competente en ejercicio de sus funciones legales. En este caso, La **PARTE** obligada a divulgar la información confidencial se compromete, antes de divulgar la información, a avisar inmediatamente a la otra **PARTE** de este **ACUERDO** para que pueda tomar las medidas necesarias para proteger su Información Confidencial y de igual manera, se compromete a tomar las medidas necesarias para atenuar los efectos de tal divulgación.
3. Aquella que antes de revelarla estuviera en posesión legítima de la **PARTE RECEPTORA**.

En cualquier caso, únicamente se revelará la información confidencial exacta o la porción de la misma específicamente solicitada.

CLÁUSULA SEGUNDA – OBJETO.

En virtud del presente **ACUERDO**, **LAS PARTES** se obligan a no revelar, compartir, divulgar, exhibir, mostrar, comunicar, utilizar y/o emplear la información confidencial que reciban de la otra **PARTE** con otra(s) persona(s) natural(es) o jurídica(s), en su favor o en el de terceros, a mantenerla de manera privada sujeta a la más estricta reserva y a protegerla para evitar su divulgación no autorizada, ejerciendo sobre ella el mismo grado de diligencia que utiliza para proteger la información confidencial de su propiedad.

La **PARTE RECEPTORA** de la información se obliga a guardar absoluta reserva y manejar con el mayor grado de diligencia la información confidencial de La **PARTE REVELADORA** de conformidad con las normas aplicables y con lo dispuesto en el presente **ACUERDO**.

PARÁGRAFO PRIMERO: LAS PARTES acuerdan que ni por el presente **ACUERDO** ni por la entrega de cualquier tipo de información que haya sido suministrada por **LAS PARTES** entre sí, se obligan a adoptar determinadas decisiones o acciones, ni debe considerarse una recomendación o un **ACUERDO** para la participación de **LAS PARTES** en alguna operación ni en una oferta contractual.

PARÁGRAFO SEGUNDO: La suscripción del presente **ACUERDO** por sí solo, no obliga a **LAS PARTES** a entregar o dar a conocer información a la otra **PARTE**, sea ésta confidencial o no.

PARÁGRAFO TERCERO: La Información Confidencial sólo podrá darse a conocer a aquellos empleados, trabajadores o asesores de la **PARTE RECEPTORA** que tengan necesidad de conocerla para el desarrollo de la finalidad mencionada en el punto 2 de las Consideraciones de este **ACUERDO**.

CLÁUSULA TERCERA – PROPIEDAD DE LA INFORMACIÓN.

La **PARTE RECEPTORA** acepta que toda información suministrada por la **PARTE REVELADORA** es de propiedad exclusiva de ésta. La divulgación que la **PARTE REVELADORA** haga de dicha información a la **PARTE RECEPTORA** no le conferirá expresa o implícitamente a esta última ningún derecho, cesión, título, licencia o interés sobre la misma ni tampoco sobre patentes, marcas, derechos de autor o cualquier tipo de propiedad intelectual sobre la información revelada. Por consiguiente, cualquier divulgación o utilización que de la misma se haga con propósitos diferentes a los establecidos en el presente **ACUERDO**, se considerará como un incumplimiento del mismo.

La información confidencial de la **PARTE REVELADORA** deberá ser tratada como tal y deberá ser debidamente resguardada por la **PARTE RECEPTORA**. Toda información, marcada como confidencial o no, seguirá siendo de propiedad exclusiva de la **PARTE REVELADORA** y deberá ser devuelta por la **PARTE RECEPTORA**, junto con todas las copias que de ella se hubieren

hecho, totales o parciales, cuando la **PARTE REVELADORA** la solicite o al momento en que determine que la **PARTE RECEPTORA** ya no necesita dicha información. Por lo anterior, ninguna de **LAS PARTES** de este **ACUERDO** adquiere derechos de propiedad o disposición respecto de la información suministrada por la otra **PARTE**.

CLÁUSULA CUARTA – PROHIBICIÓN DE DIVULGACIÓN.

La **PARTE RECEPTORA** no permitirá el acceso a la Información Confidencial, ni tampoco la divulgará por sí misma o por interpuesta persona, de manera parcial o total, sin el previo consentimiento escrito de la **PARTE REVELADORA**. La Información Confidencial no podrá divulgarse por ningún medio sea, entre otros en forma escrita, publicación electrónica, virtual, informes, conferencias, videos, grabaciones etc.

La **PARTE RECEPTORA** deberá abstenerse en lo sucesivo de entregar o realizar para sí o para terceros, copias, arreglos, reproducciones, adaptaciones o cualquier otra clase de mutilación, deformación o modificación de la Información Confidencial.

CLÁUSULA QUINTA – PROHIBICIÓN DE REPRODUCCIÓN.

La **PARTE RECEPTORA** se abstendrá de reproducir o hacer copias totales o parciales innecesarias de la Información Confidencial que reciba de la **PARTE REVELADORA** sin el previo consentimiento escrito de la **PARTE REVELADORA**.

CLÁUSULA SEXTA – OBLIGACION DE DEPÓSITO Y CUIDADO.

La Información Confidencial será mantenida y controlada por la **PARTE RECEPTORA** en un lugar seguro, con restricciones de acceso aceptables para la **PARTE REVELADORA** y no menos estrictas que aquellas restricciones de acceso que la **PARTE RECEPTORA** tiene establecidas para su información y documentación.

LAS PARTES acuerdan que toda Información Confidencial física deberá ser guardada por la **PARTE RECEPTORA** en un lugar con acceso limitado.

CLÁUSULA SÉPTIMA - DESTINACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

La información sólo podrá reproducirse si ello resulta necesario y solo podrá darse a conocer a aquellos empleados, trabajadores o asesores que tengan necesidad de conocerla para la respectiva finalidad. En caso de que se les entregue Información Confidencial a dichos empleados, trabajadores o asesores, se les debe advertir su carácter confidencial y se les deberá enterar de los términos de este **ACUERDO**, los cuales deben aceptar y adherir antes de recibirla.

CLAUSULA OCTAVA – UTILIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Toda información que sea entregada por La **PARTE REVELADORA** a la **PARTE RECEPTORA** deberá manejarse con carácter confidencial y será utilizada únicamente para los fines previstos en este **ACUERDO**. La Información Confidencial no puede ser utilizada por la **PARTE RECEPTORA** en detrimento de la **PARTE REVELADORA** o para fines diferentes a los establecidos en las consideraciones del presente **ACUERDO**.

CLÁUSULA NOVENA - OBLIGACIONES DE LAS PARTES.

La Información Confidencial no podrá ser utilizada por la **PARTE RECEPTORA** en detrimento de la **PARTE REVELADORA** o para fines diferentes a los establecidos en el presente **ACUERDO**, ya que solo podrá utilizarse en relación con los temas que se desarrollen en el contexto de la propuesta de **APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL IDENTIFICADO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA RED DE ESSA** y conforme a este **ACUERDO** de Confidencialidad, so pena de incurrir en las sanciones descritas en el presente **ACUERDO**.

LAS PARTES deberán cumplir con las siguientes obligaciones en relación con la Información Confidencial:

- a. Mantener la Información Confidencial en reserva o secreto, brindándole a la misma el carácter de estricta confidencialidad, y manteniéndola debidamente protegida del acceso de terceros, incluyendo a sus empleados, trabajadores, asesores, contratistas, subcontratistas que en razón a sus funciones no deban conocer la información que se protege en virtud del presente **ACUERDO**, salvo por las excepciones estipuladas en este documento, con el fin de no permitir su conocimiento o manejo por **PARTE** de personas no autorizadas.
- b. Conforme a lo dispuesto en la estipulación tercera del presente **ACUERDO**, informar a sus representantes que tengan acceso a la Información Confidencial, de su naturaleza confidencial y de la existencia de este **ACUERDO** e instruir a sus representantes para manejarla y no utilizarla sino para los temas necesarios en el desarrollo de este **ACUERDO** de confidencialidad y será responsable por cualquier uso inadecuado de la misma.
- c. No utilizar la Información Confidencial para fines diferentes a los establecidos en el presente **ACUERDO**, ni en nombre ni a favor propios, ni en nombre ni a favor de sus empresas subsidiarias, filiales, matrices, o asociadas a cualquier título o nivel, ni de sus accionistas, ni de las empresas de sus accionistas, ni de las subsidiarias, filiales, matrices, o asociadas de ellas a cualquier título o nivel, ni de sus ejecutivos, empleados, asesores o directivos, ni de las empresas de estos, ni de las subsidiarias, filiales, matrices, o asociadas de ellas a cualquier título o nivel,

ni para ningún tipo de operación pública o privada de cualquiera de los anteriores.

- d. Abstenerse de utilizar la información, con el objeto o el efecto de obtener provecho propio o de terceros por razón o con ocasión de actividades ajenas a las establecidas en el presente **ACUERDO**.
- e. En el caso de cualquier uso no autorizado, divulgación, pérdida, manipulación y/o reproducción de la Información Confidencial, la **PARTE** poseedora de la misma notificará a la otra en un término no superior a los tres (3) días calendario siguientes contados a partir de la fecha de conocimiento del hecho.
- f. Utilizar siempre la Información Confidencial sujetándose a la normatividad vigentes sobre la materia y el presente **ACUERDO**.

CLÁUSULA DÉCIMA – CUSTODIA DE LA INFORMACIÓN.

LAS PARTES garantizan que aplicarán las mismas medidas de seguridad razonables para evitar divulgación, fuga o uso no autorizado de Información Confidencial o patentada y aceptan que protegerán la Información Confidencial que se suministren entre sí, de la misma manera y en el mismo grado en que protege su propia Información Confidencial.

CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA - DEVOLUCIÓN DE INFORMACIÓN.

Toda información, sea confidencial o no, seguirá siendo de propiedad exclusiva de la **PARTE** que la revela. En cualquier momento, durante la vigencia del **ACUERDO**, dentro de los quince (15) días calendario siguientes a la solicitud

por escrito hecha cualquiera de **LAS PARTES**, o a la terminación del presente **ACUERDO**, **LAS PARTES** tendrán que devolver y/o destruir (si esto es lo que se solicita) toda la Información Confidencial, incluyendo todos los documentos y soportes que la comprenden, así como todas las copias que existan de la misma.

CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA - INCUMPLIMIENTO.

En caso de incumplimiento del presente Acuerdo por alguna de **LAS PARTES**, la **PARTE** incumplida tendrá la obligación de cancelar, las sumas de dinero que sean estimadas por un Juez de la República conforme a los daños y/o perjuicios directos que hayan sido efectivamente probados por la **PARTE** afectada.

CLÁUSULA DÉCIMA TERCERA - LEY APLICABLE Y SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS. La celebración, interpretación y ejecución de este Acuerdo se regirá por las leyes de la República de Colombia.

De igual forma **LAS PARTES** acuerdan que en el evento en que surjan diferencias entre ellas, por razón o con ocasión del presente Acuerdo, buscarán mecanismos de arreglo directo, tales como la negociación directa. Para ese efecto, las partes dispondrán de un término de diez (10) días hábiles contados a partir de la fecha en que cualquiera de ellas haga una solicitud en tal sentido. Dicho término podrá ser prorrogado por mutuo acuerdo. En el evento en que no se llegue a un acuerdo, las partes quedan en libertad de acudir a la Jurisdicción Competente.

CLAUSULA DECIMA CUARTA - NO OTORGAMIENTO DE DERECHOS.

La entrega de información sea confidencial o no, no concede, ni expresa ni implícitamente, autorización, permiso o licencia de uso de marcas comerciales,

patentes, derechos de autor o de cualquier otro derecho de propiedad industrial o intelectual.

CLÁUSULA DÉCIMA QUINTA - ACUERDO TOTAL.

Este **ACUERDO** representa el **ACUERDO** total entre **LAS PARTES** con respecto al asunto del objeto del mismo y puede modificarse únicamente mediante **ACUERDO** suscrito por **LAS PARTES**.

CLÁUSULA DÉCIMA SEXTA – DIVISIBILIDAD DEL ACUERDO.

En el supuesto de que alguno de los términos o disposiciones de este **ACUERDO** resulte inválido, ilegal o inexigible conforme a algún tratado, ley y/o reglamento, todos los demás términos y disposiciones del **ACUERDO** permanecerán plenamente vigentes. De llegarse a determinar que algunos de los términos o disposiciones resulten inválidos, ilegales o inexigibles, **LAS PARTES**, de buena fe, acordarán las modificaciones para reflejar en la mayor medida posible su intención original en la forma aceptable para que las obligaciones previstas en el presente **ACUERDO** se lleven a cabo.

CLÁUSULA DÉCIMA SÉPTIMA - DURACIÓN.

Este **ACUERDO** tendrá una duración cinco (5) años contados a partir de la firma del mismo, a menos que, en forma escrita, **LAS PARTES** convengan otra cosa. No obstante, **LAS PARTES** se comprometen a no revelar directa o indirectamente a ninguna persona, ni durante la vigencia del contrato, ni después de su terminación, ninguna información que hubiera obtenido durante la ejecución del acuerdo y que no sea de dominio público, excepto con el permiso explícito y por escrito de la otra parte.

CLÁUSULA DÉCIMA OCTAVA – CESIÓN DEL ACUERDO.

LAS PARTES no podrán ceder su posición contractual, sus obligaciones ni sus derechos bajo este **ACUERDO** sin el consentimiento escrito y expreso de la otra **PARTE**. En el documento de cesión, el sucesor deberá adherirse expresamente a los términos del presente **ACUERDO**.

CLÁUSULA DÉCIMA NOVENA - NOTIFICACIONES.

Las comunicaciones que cualquiera de **LAS PARTES** deba dirigir a la otra, se enviarán a las siguientes personas, siendo necesario que el recibo de la correspondencia sea confirmado por las personas autorizadas que **LAS PARTES** designen a continuación:

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.

Atención: GUILLERMO ANDRÉS BELTRÁN MANTILLA

Dirección: Carrera 19 No. 24 - 56. Bucaramanga.

Teléfono: (7) 6339767. Ext. 1083.

e-mail: Guillermo.Andres.Beltran@essa.com.co

XXX

Atención: ENLACE DESIGNADO PARA NOTIFICACIONES

Dirección: XXX.

Teléfono: XXX

e-mail: XXX

LAS PARTES suscriben el presente **ACUERDO** a los _____ (____) días del mes de XXX de dos mil diecinueve (2019) en dos originales del mismo tenor.

POR: ESSA POR: XXX

MAURICIO MONTOYA BOZZI
Gerente ESSA

NOMBRE REPRESENTANTE LEGAL.
Representante Legal XXX