

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un distrito térmico para mejorar la eficiencia energética en los departamentos de la urbanización “Bosque de Ceibos” de la ciudad de Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Walter Gerardo Gonzabay Rojas

Félix Patricio Santana Toapanta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, a mis padres, mi novia, hermanos, abuelos y demás miembros de mi familia, ya que fueron los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, siendo mis bases de responsabilidad y deseos de superación.

Walter Gerardo Gonzabay Rojas.

Este proyecto se lo dedico a las personas que me han apoyado en el transcurso de mi carrera universitaria, mis padres, mis hermanos, tíos, abuelos, a los que debo el resultado de la persona que me he convertido, con deseos de superación y perseverancia en cumplir todas las metas que me he propuesto.

Félix Patricio Santana Toapanta

AGRADECIMIENTOS

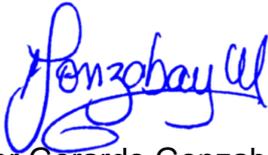
Agradecemos en primer lugar a Dios por darnos la sabiduría, al PhD. Guillermo Soriano quien planteo las bases de nuestro proyecto y estuvo como supervisor para el desarrollo de este.

Igualmente, agradecemos a la MSc. Andrea Boero por la supervisión y asesoramiento en cada una de las etapas del proyecto.

Agradecemos al Ing. Juan Jose Arroba y al Ing. Joel Guevara por estar como ayudantes con su colaboración de conocimiento en el campo de la climatización y redes de agua. Igualmente, a Ana María Velásquez por su asesoría en la redacción del documento final.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Walter Gerardo Gonzabay Rojas* y *Félix Patricio Santana Toapanta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Walter Gerardo Gonzabay Rojas



Félix Patricio Santana Toapanta

EVALUADORES

MSc. Andrea Boero

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Guillermo Soriano

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad diseñar un distrito térmico para la distribución de agua fría en la urbanización “Bosque de los Ceibos” evaluando la carga térmica, pérdidas de presión y temperatura para luego compararlo con los sistemas de climatización usados actualmente. Debido a que se considera que los sistemas actuales de climatización no son lo suficiente eco amigable y muy costos.

Para el desarrollo de este distrito térmico se necesitó evaluar la cargas térmicas de los departamentos mediante el método de diferencias de temperatura para cargas térmicas, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento; también se analizó la ganancia de calor mediante el método de transferencia entre dos tubería como se especifica en la guía de distrito térmico de *ASHRAE* y la pérdida de presión de la red de tubería mediante el método de Darcy-Weisbach con la finalidad de seleccionar correctamente los equipos que componen el distrito térmico como *chillers*, bombas y los *fan coils*.

El distrito térmico seleccionado está compuesto por dos *chillers* de compresión enfriado por aire que producen agua helada que es transporta por tubería con aislamiento de coquilla lana de roca hasta los *fan coils* ubicados en los techos de los departamentos.

El distrito térmico implementado en la urbanización genera beneficios como la reducción del 5% en costo de operación y mantenimiento, siendo esto 10 [USD] menos de los sistemas convencionales y también se reduciría el 83% en toneladas de CO₂ emitidas por los refrigerantes de los acondicionadores de aire.

Palabras claves: Proyecto integrador, distrito térmico, cargas térmicas, medio ambiente

ABSTRACT

The purpose of this project is to design of a thermal district for the distribution of cold water in the urbanization "Bosque de los Ceibos". We evaluate the thermal load, pressure losses, temperature and them comparing it with the current air conditioning system. Because it is considered that current air conditioning systems are not ecofriendly enough and are expensive.

For the development of this thermal district, it was necessary to evaluate the thermal loads of the departments through the method of temperature differences for thermal loads, solar cooling load factor, and cooling load factors. The heat gain was also analyzed by means of the transfer method between two pipes as specified in the ASHRAE thermal district guide and the pressure loss of the pipe network by means of the Darcy-Weisbach method in order select the correct equipment that makes up the thermal district such as chillers, pumps, and fan coils.

The selected thermal district is made up of two air cooled compression chillers that produce chilled water, which is transported through pipes with rock wool shell insulation to the fan coils located on the roofs of the apartments.

The thermal district implemented in the urbanization generates benefits such as a 5% reduction in operation and maintenance costs for users and an 83% reduction in tons of CO₂ emitted by refrigerants from conventional air conditioners.

Keywords: *Integrative project, thermal district, thermal loads, environment*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto.	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Descripción de la localidad	4
1.4.2 Estado del Arte	5
1.4.3 Distrito térmico.....	6
CAPÍTULO 2	8
2. Metodología.....	8
2.1 Diseño conceptual.....	9
2.1.1 Requerimientos de diseño	9
2.1.2 Criterios de diseño.....	10
2.1.3 Alternativas de solución	10
2.2 Diseño Preliminar	13

2.2.1	Análisis de cargas térmicas	13
2.2.2	Análisis de pérdidas de cabezal y temperatura la red de tubería.	18
2.2.3	Selección de equipos.....	24
2.2.4	Análisis económico y ambiental	29
2.2.5	Selección de la mejor alternativa de solución	38
CAPÍTULO 3.....		41
3.	Resultados y análisis.....	41
3.1	Esquema y descripción del distrito térmico seleccionado.	41
3.2	Comparación económica del sistema convencional con el distrito térmico. .	42
3.3	Comparación ambiental del sistema convencional con el distrito térmico. ...	43
3.4	Análisis financiero del distrito térmico seleccionado.	44
CAPÍTULO 4.....		47
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones.....	48

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AEI Agencia Internacional de Energía

DT Distrito térmico

DTF Distrito térmico de frío

PC Planta central

PCF Planta central de frío

EF factor de emisión de gases

SIMBOLOGÍA

HR	Humedad relativa
m	Metros
Btu	<i>British thermal unit</i>
Q	Caudal
TR	Toneladas de refrigeración
kW	Kilovatios
kWh	Kilovatios hora
CO ₂	Dióxido de carbono
H	Cabezal
t	Tiempo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Niveles de temperatura en la ciudad de Guayaquil	1
Figura 1.2 Proyección del consumo mundial para acondicionamiento de aire en edificaciones	2
Figura 1.3 Localización de la urbanización "Bosque de los Ceibos"	5
Figura 2.1 Metodología de diseño	9
Figura 2.2 Alternativa A.....	11
Figura 2.3 Alternativa B.....	12
Figura 2.4 Alternativa C.....	13
Figura 2.5 Distribución de la tubería.....	18
Figura 2.6 Diagrama de nodos	19
Figura 2.7 Configuración de dos tuberías enterradas	22
Figura 3.1 Distrito térmico seleccionado.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios de diseño.....	10
Tabla 2.2 Condiciones de diseño ambientales	14
Tabla 2.3 Condiciones de diseño	14
Tabla 2.4 Cargas térmicas en la urbanización "Bosque de los ceibos"	17
Tabla 2.5 Caudal requerido por cada edificio	19
Tabla 2.6 Análisis de pérdida de presión.....	20
Tabla 2.7 Análisis de transferencia de calor en tramos	23
Tabla 2.8 Calor ganado por los tramos de tubería.....	24
Tabla 2.9 Cargas térmicas para la selección de equipos.....	24
Tabla 2.10 Datos técnicos del chillers I de la alternativa A	24
Tabla 2.11 Datos técnicos del chillers II de la alternativa A	25
Tabla 2.12 Datos técnicos del chillers I de la alternativa B	25
Tabla 2.13 Datos técnicos del chillers II de la alternativa B	25
Tabla 2.14 Datos técnicos del chillers I de la alternativa C.....	26
Tabla 2.15 Datos técnicos del chillers II de la alternativa C.....	26
Tabla 2.16 Datos técnicos de la bomba de distribución.....	27
Tabla 2.17 Pérdida de cabezal del sistema de bombeo	27
Tabla 2.18 Datos técnicos de la torre de enfriamiento.....	28
Tabla 2.19 Datos técnicos de los fan coils.....	28
Tabla 2.20 Datos técnicos de la bomba de distribución hacia la torre de enfriamiento ..	29
Tabla 2.21 Costos de equipos y materiales de la alternativa A.....	30
Tabla 2.22 Costos de los equipos de los usuarios.....	30
Tabla 2.23 Costo de instalación del distrito térmico y los equipos de los usuarios	30
Tabla 2.24 Consumo eléctrico de los equipos	31
Tabla 2.25 Costo de operación anual.....	31
Tabla 2.26 Costos de mantenimiento anual de la alternativa A	31
Tabla 2.27 Costos de equipos y materiales de la alternativa B.....	32
Tabla 2.28 Costo de los equipos de los usuarios	32
Tabla 2.29 Costo de instalación de la alternativa B	33
Tabla 2.30 Consumo energético de la alternativa B	33
Tabla 2.31 Costo de operación anual de la alternativa B.....	33

Tabla 2.32 Costo de mantenimiento anual de la alternativa B	34
Tabla 2.33 Costos de equipos y materiales de la alternativa C	34
Tabla 2.34 Costos de los equipos de los usuarios.....	34
Tabla 2.35 Costo de instalación de la alternativa C	35
Tabla 2.36 Consumo energético de la alternativa C	35
Tabla 2.37 Costo de operación anual de la alternativa C	36
Tabla 2.38 Costo de mantenimiento anual de la alternativa C.....	36
Tabla 2.39 Análisis de costo de las alternativas de solución	36
Tabla 2.40 Análisis ambiental de la alternativa A	38
Tabla 2.41 Análisis ambiental de la alternativa B	38
Tabla 2.42 Análisis ambiental de la alternativa C	38
Tabla 2.43 Ponderación de los criterios de diseño	39
Tabla 2.44 Matriz de decisión.....	39
Tabla 3.1 Cuadro comparativo-económico del departamento más crítico	42
Tabla 3.2 Cuadro comparativo-económico del departamento menos crítico.....	43
Tabla 3.3 Análisis comparativo-ambiental I	43
Tabla 3.4 Análisis comparativo-ambiental II	44
Tabla 3.5 Análisis financiero del proyecto	46

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La ciudad de Guayaquil tiene una humedad extremadamente variada, el periodo insoportable se considera superior a 24 °C y se produce en el mes de enero hasta abril, con una temperatura máxima promedio de 31.2 °C (Weather Spark, 2021). En la Figura 1.1 se observa los niveles de temperatura en la ciudad de Guayaquil durante el año 2021.

Datos históricos de temperatura en Guayaquil en 2021

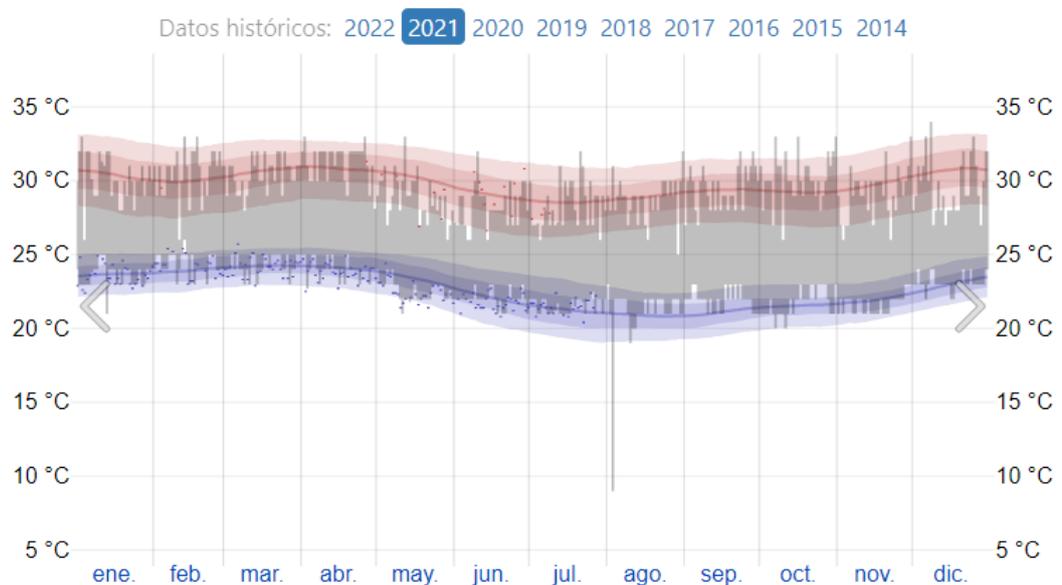


Figura 1.1 Niveles de temperatura en la ciudad de Guayaquil [Fuente: (Weather Spark, 2021)]

Debido a la humedad presente en Guayaquil, el uso de equipos de climatización en zonas residenciales aumenta reflejando un problema tanto en la economía de los usuarios como al medio ambiente. La urbanización “Bosque de los Ceibos” se sitúa al norte de la ciudad de Guayaquil, y cuenta con 5 tipos de edificios, cada uno con 8 departamentos; en total hay 20 edificios, lo que significa que hay 160 departamentos y aproximadamente 776 equipos acondicionadores de aire para abastecer la carga térmica de la urbanización.

Se considera para un departamento modelo 1 con 1 acondicionador de aire alta eficiencia tipo *Split* de 24000 [BTU/h] con un consumo nominal unitario de 2.2 [kW] y 4 equipos de 12000 [BTU/h] con un consumo nominal unitario de 1.05 [kW], el costo por consumo energético en la urbanización es de 0.095 [USD/kWh], lo que genera un costo de operación de 71[USD] al mes para el confort térmico. Según Ecuador Verifica (ECUADOR VERIFICA, 2021) “El ministerio de Energía y Recursos Renovables y No Renovables declaró que, según el estudio de Uso Finales del año 2017, el aire acondicionado representa el 20% del consumo total”.

La agencia internacional de energía, se espera que las económicas emergentes representen la mayor parte del crecimiento de la demanda mundial de electricidad, teniendo en Latinoamérica una tasa de crecimiento del 2% anual hasta el 2040 (Bayer, 2021) . El uso de aires acondicionados y ventiladores eléctricos representan una quinta parte de la electricidad total utilizada en edificios en todo el mundo (Ojea, 2018).

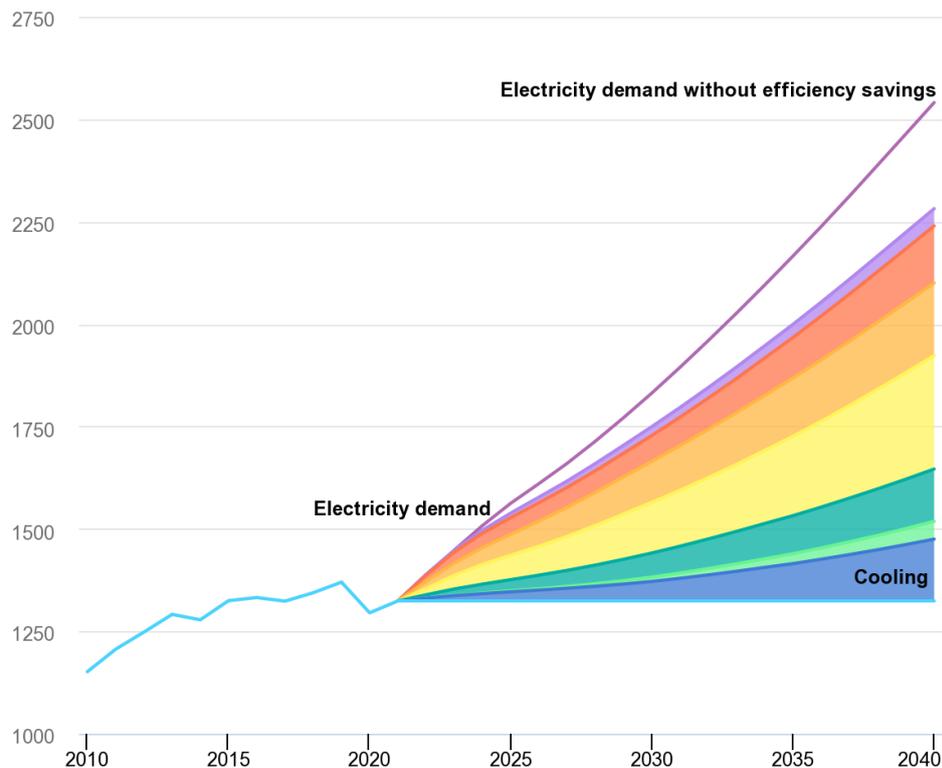


Figura 1.2 Proyección del consumo mundial para acondicionamiento de aire en edificaciones [Fuente: (Bayer, 2021)]

La urbanización “Bosque de los ceibos” cuenta con 776 equipos de acondicionadores de aire tipo Split, estos equipos afectan al medio ambiente debido a que utilizan refrigerante que aportan al calentamiento global, estos equipos en conjunto requieren 770.4 [kg] R-410A lo que produce 48.23 [Ton. CO₂] al año considerando el 3% de fuga anual.

Hacia 1980 la comunidad científica mundial demostró que ciertos productos químicos denominados halocarbonos, compuestos que contienen cloro, flúor, bromo, carbono e hidrogeno dañan la capa de ozono, debido a su alta persistencia en la atmósfera. Se estima que cada átomo de cloro puede destruir unas 100000 moléculas de ozono antes de desaparecer de la atmósfera. (Barletta, 2021)

1.2 Justificación del proyecto.

Los distritos térmicos son sistemas energéticos que generan calor o frío a gran escala, los componentes para la generación se sitúan en una planta central que alimenta a los diferentes sistemas de climatización como manejadoras de aire ubicadas en los departamentos, mediante una red de tubería enterrada distribuye el frío o calor por toda la zona. Además, tienen acceso a varias fuentes de energía alternativa como energía solar almacenada por paneles solares, energía eólica obtenida por los aerogeneradores; lo que lo convierte en un sistema sostenible (Distrito térmico: Alternativa para el desarrollo urbano sostenible, 2021).

La evidencia clara de los beneficios que los distritos térmicos traen a un entorno es el incremento que este tipo de sistemas ha venido presentando en las grandes ciudades del mundo. Actualmente, la agencia Internacional de Energía, los distritos térmicos representan el 12% de la demanda de calor en Europa y el 30% en China (Distritos energético Colombia, 2020).

En este caso, el distrito térmico de frío aporta al cuidado ambiental debido a que se reduce la polución auditiva, emisión de gases contaminantes, sustancias que agotan la capa de ozono y generan espacios donde se pueden construir zonas verdes. Y por último genera empleo, ya que la implementación de este proyecto demanda gran cantidad de personal para su diseño, operación y

mantenimiento, para así garantizar la eficiencia del sistema. (Distrito térmico: Alternativa para el desarrollo urbano sostenible, 2021)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un distrito térmico con base a los lineamientos de ASHRAE para la distribución de agua fría en la urbanización “Bosque de los Ceibos”, el cual abastecerá el sistema de climatización y generará confort térmico dentro los departamentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la carga térmica de los departamentos de la urbanización “Bosque de los Ceibos” mediante el método de diferencias de temperatura para cargas térmicas, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento
- Proponer un sistema de distribución de agua helada analizando las pérdidas de presión y ganancia de calor el sistema de distribución de tuberías en la urbanización mediante los métodos de Darcy Weisbach y transferencia de calor respectivamente.
- Realizar un análisis comparativo entre el uso de un distrito de frío y los sistemas convencionales, evaluando el consumo energético anual.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Descripción de la localidad

La urbanización “Bosque de los Ceibos” está situada en el norte de la ciudad de Guayaquil en la provincia del Guayas. Según datos obtenidos de Google Earth Pro, cuenta con un área aproximadamente de 38186 [m²] y las coordenadas son 2°09'13.72" S 79°57'12.24°O con una elevación promedio de 78 [m]. (Google Earth Pro, 2021)



Figura 1.3 Localización de la urbanización "Bosque de los Ceibos"

[Fuente: (Google Earth Pro, 2021)]

La urbanización tiene 5 tipos de edificios, cada uno con 8 departamentos; en total hay 20 edificios, lo que significa que hay 160 departamentos. Además, cuenta con un área exclusivamente para situar una planta depuradora de aguas residuales y una central eléctrica, lo que ofrece una oportunidad de espacio para implementar un distrito térmico.

1.4.2 Estado del Arte

Un sistema centralizado optimiza energía, minimiza los costos de mantenimiento y reduce la demanda energética, en comparación con los sistemas no centralizados, en el que cada edificación o vivienda cuenta con un sistema de enfriamiento. (Escobar, 2020)

Los distritos térmicos posibilitan una utilización eficiente de la energía gracias al aprovechamiento de recursos energéticos tales como: fuentes naturales geotérmicas y fuentes de energía renovable; pudiendo hacer uso de combustibles convencionales, como el gas natural, y combustibles renovables, como la biomasa o el biogás (Martin Gomez & Garcia de Vinuesa, 2014). Entre los principales beneficios del uso de este sistema centralizado se encuentra la disminución del impacto ambiental, junto con un mayor rendimiento energético.

Por ejemplo, el distrito térmico la “Alpujarra”, situado en Medellín, Colombia, beneficia alrededor de 10.000 personas siendo el primer distrito térmico en Latinoamérica, provee de agua fría a los sistemas de aires acondicionados de los edificios de la alcaldía de Medellín, este distrito genera un ahorro de energía de entre el 15 % y el 20 %, además disminuye un 30 % las emisiones de CO_2 (Orozco, 2019).

Paris tiene una de las redes de distrito térmico más grande y antigua de Europa, y planea reducir sus emisiones de CO_2 en un 75% para el 2050. Hoy en día ha logrado abastecer a más de 500 mil edificaciones, logrando calentar al 50% de las viviendas de interés social. (Distritos energético Colombia, 2020)

1.4.3 Distrito térmico

Los DT son sistemas de distribución centralizados de climatización en los que se produce agua caliente o fría, el cual es transportado mediante una red de tubería a las diferentes edificaciones; en el caso del agua helada, se usa como fuente de energía para los equipos de climatización como manejadora de aire. (ASHRAE, 2013)

Los DTF normalmente distribuyen la energía en forma de agua helada desde una central hasta los consumidores residenciales, comerciales, institucionales y/o industriales para refrigeración y deshumidificación de espacios. Por lo tanto, el efecto de enfriamiento es proveniente de un medio de distribución en lugar de generarse en forma individual en cada instalación (Orozco, 2019).

Los DT constan de tres componentes principales: planta central, red de distribución y el sistema de consumo.

La planta central produce agua fría mediante máquinas de refrigeración por absorción, equipos de compresión de accionamiento eléctrico o por motor, turbinas de gas o vapor, combinación de sistemas accionados mecánicamente y sistemas de absorción accionados por energía térmica.

La PC es el corazón del sistema y contiene los componentes principales, la eficiencia del DTF depende de cómo se seleccionan dichos componentes y como trabajan entre sí. Los diseñadores deben tener en consideración las características, consumo de energía y agua, eficiencia, requisitos de operación, mantenimientos y esperanza de vida. Sin embargo, lo más importante, es que cada uno de los componentes está integrado en el DTF para así lograr la eficiencia total del sistema (ASHRAE, 2013). Los componentes principales de una planta central son:

- Enfriadores (*Chillers*).
- Torres de enfriamiento o radiadores.
- Bombas.
- Separadores de aire y dispositivos de eliminación de aire.
- Tanques de expansión.
- Sistema de filtración de agua refrigerada.
- Sistemas de control.

La **red de distribución** esta conformadas por tuberías generalmente enterrados con materiales no aislados o pre aislados.

El tercer componente es la **interconexión del consumidor** con el sistema de distribución, llegando hacia equipos utilizados directamente por las edificaciones o aislarlo mediante un intercambiador de calor.

El diseño de un DT se regirá en los lineamientos *ASHRAE District Cooling Guide*, donde se detalla los pasos para la configuración de la PC y las consideraciones de la red de distribución.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El proyecto de grado estaba enfocado en el diseño de un distrito térmico con la finalidad de generar agua helada, la cual fuese aprovechado para mantener una temperatura confort en los departamentos de la urbanización “Bosque de los Ceibos”.

La metodología se describe en la Figura 2.1, en el diseño conceptual se estableció las especificaciones de diseño en base a los requerimientos del desarrollador de la urbanización para generar tres alternativas de distrito térmico; dentro del diseño preliminar se analizaron las cargas térmica mediante el método de diferencias de temperatura para cargas térmicas, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento (CLTD TD/CLF SCL) y un análisis de tubería de caída depresión y temperatura de toda la urbanización.

Posterior al diseño preliminar se realiza un diseño en donde se describirá el distrito térmico seleccionada con sus características, para finalmente hacer un análisis comparativo entre la propuesta seleccionada con los sistemas de climatización convencionales presente en la urbanización” Bosque de los Ceibos”.

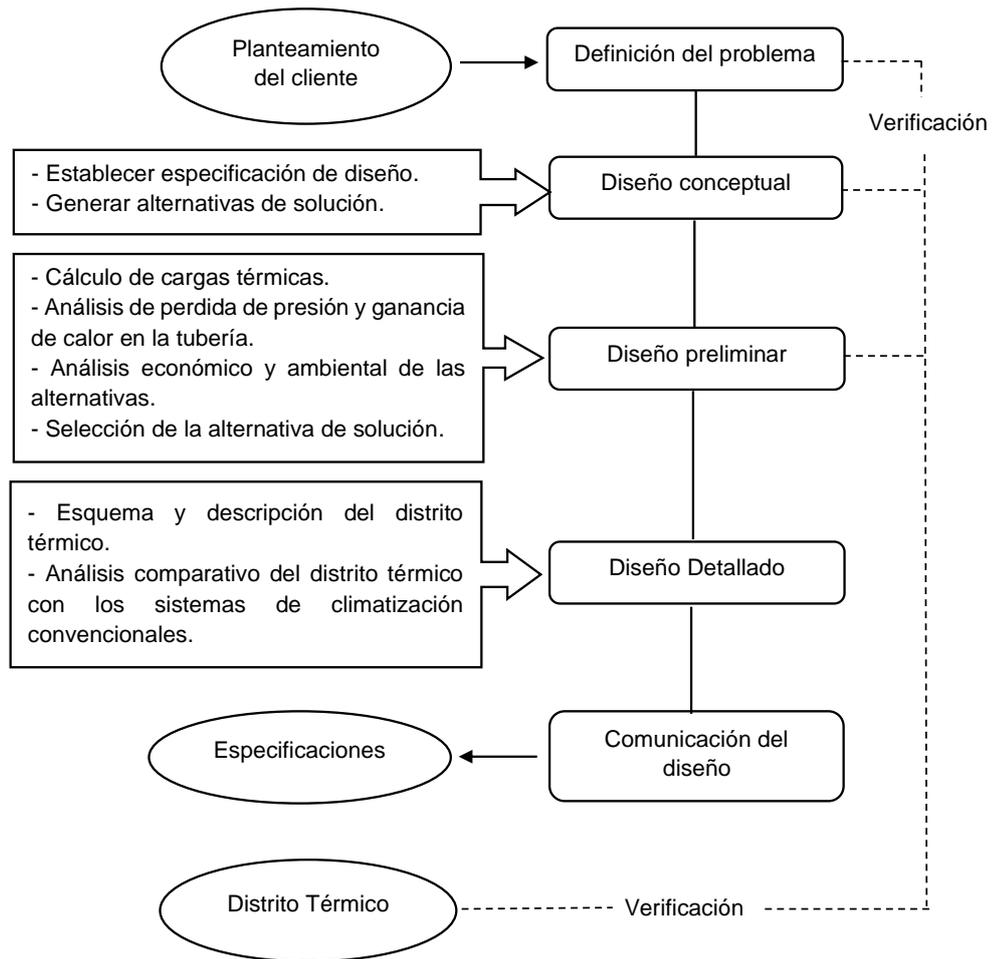


Figura 2.1 Metodología de diseño [Fuente: Elaboración propia]

2.1 Diseño conceptual

2.1.1 Requerimientos de diseño

Para el diseño del distrito térmico de frío el desarrollador de la urbanización considero los siguientes puntos como requerimientos:

- Proveer suficiente agua helada para abastecer los equipos de climatización de los 160 departamentos y tener la posibilidad de ampliar la carga térmica de la planta central.
- El espacio de la planta central del distrito no debe exceder los 575 [m²] y deberá estar ubicado en el área de plantas industriales.
- El distrito térmico deberá presentar una máxima eficiencia con un mínimo impacto ambiental.

2.1.2 Criterios de diseño

En Tabla 2.1 se indican los principales criterios de selección para el análisis y solución del problema.

Tabla 2.1 Criterios de diseño [Fuente: Elaboración propia]

Criterios	Descripción
Inversión Inicial	Cantidad de dinero necesario para la inversión no sea más de 1000000 [USD]
Espacio	Espacio de instalación de la planta sea menor que 575 [m ²].
Mantenimiento	Facilidad con la que se puede reparar los equipos de la planta.
Fiabilidad	Probabilidad de que el sistema pueda climatizar los departamentos.
Ambiental	El diseño reduzca más del 50% en Ton de CO ₂ por refrigerante

2.1.3 Alternativas de solución

Una vez definido los requerimientos y criterios de diseño, se procedió a establecer las alternativas de solución; en este caso, se delimitó 3 diferentes tipos de distritos térmicos de frío.

Alternativa A: Distrito térmico de frío con *chillers* de compresión enfriado por aire.

La alternativa A propone el diseño de un sistema compuesto por *chillers* de compresión enfriado por aire que poseen ventiladores para la disipación de calor, produciendo agua fría el cual será suministrada mediante un sistema de bombeo capaz de satisfacer la caída de presión y caudal requerido por los departamentos en los edificios. Los departamentos tendrán instalados *fan coils* que recibirá el agua helada mediante la red de tubería. Este sistema se encontrará ubicado en el área de plantas industriales de la urbanización debido a que este tipo de DTF necesita un amplio espacio para liberar el calor ganado de los departamentos.

La planta se encontrará alimentada mediante la red eléctrica y el sistema de distribución a la red de agua potable haciendo uso exclusivo de este

únicamente en circunstancias que se requiera. Estos chillers de compresión enfriado por aire son recomendados para espacios abiertos donde se pueda disipar el calor libremente.

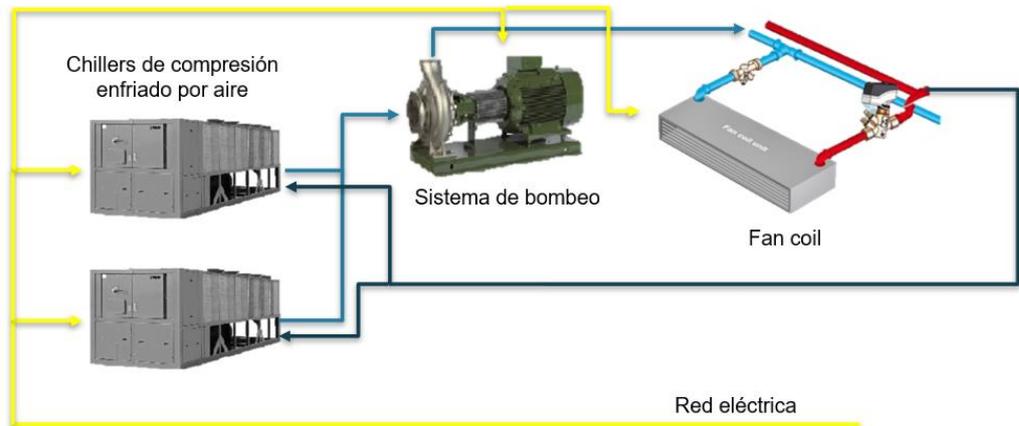


Figura 2.2 Alternativa A [Fuente: Elaboración propia]

Alternativa B: Distrito de frío con *chillers* de compresión enfriador por agua.

La alternativa B para el distrito de frío consta de dos *chillers* de compresión enfriado por agua, con un sistema de bombeo al igual que la primera alternativa capaz de satisfacer la caída de presión y caudal requerido por los departamentos de la urbanización, estos *chillers* de compresión tendrán alimentación de energía a partir de la red eléctrica con un mayor consumo que un *chiller* de compresión enfriado por aire, además estos chillers se deberá suministrar agua para poder absorber el calor generado en el proceso de intercambiar calor, por lo que se requerirá de torres de enfriamiento. El agua helada producida por los chillers será suministrada mediante tuberías subterráneas donde será distribuida a los departamentos en los edificios que tendrán los *fan-coils* respectivos para cada área a climatizar.

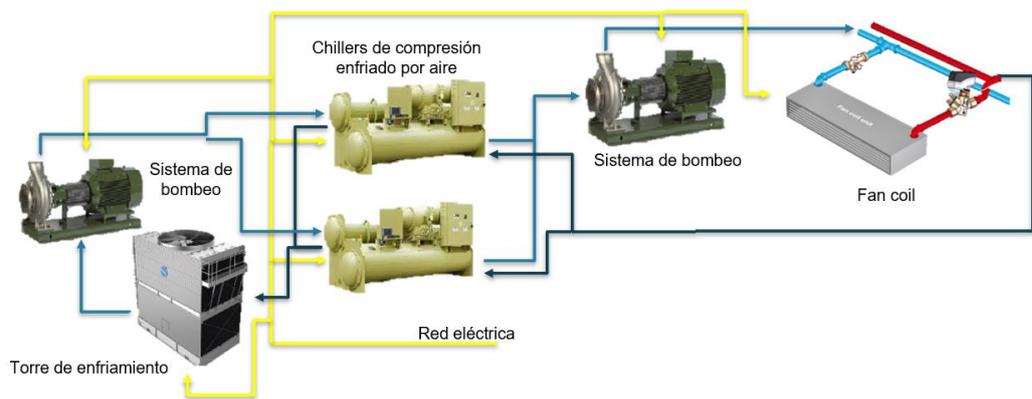


Figura 2.3 Alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Alternativa C: Distrito térmico con *chillers* de absorción enfriado por agua.

Esta alternativa consiste en un sistema de *chillers* de absorción en paralelo que satisfagan la carga térmica total requerida por los departamentos de toda la urbanización, estos *chillers* funcionarían con suministro eléctrico desde la red eléctrica local y biogás o algún otro vapor como fuente de energía. A partir de estos *chillers* el agua fría será suministrada por un sistema de bombeo hacia la red de tuberías que conducen a los diferentes edificios con departamentos a climatizar, donde se encontrarán los *fan-coils* de cada espacio requerido. El *chiller* necesitará un ingreso de agua para poder realizar la transferencia de calor producido por los refrigerantes, por tanto, se implementará torres de enfriamiento con sistemas de bombeo para que puedan suministrar el necesario caudal a los *chillers*. Los *chillers* de absorción poseen ventaja a los *chillers* de compresión debido a bajo consumo eléctrico producto a que no poseen compresores, y posibilitan el uso de fuentes libres o residuales.

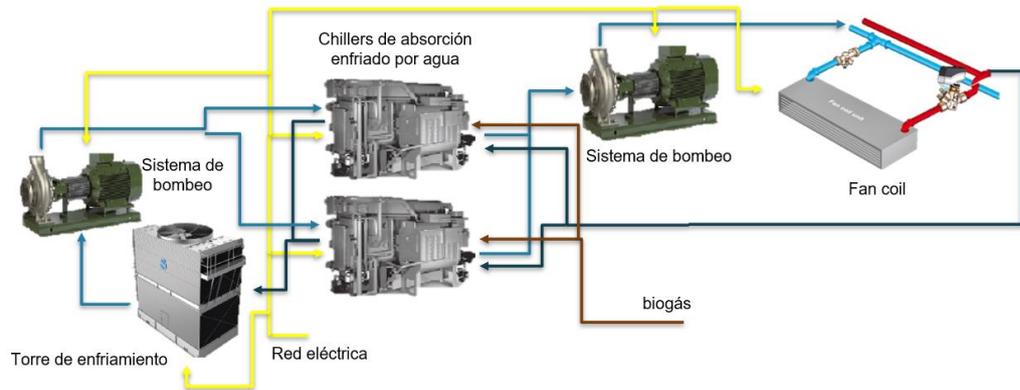


Figura 2.4 Alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

2.2 Diseño Preliminar

2.2.1 Análisis de cargas térmicas

ASHRAE regula y controla los métodos, pruebas y construcciones de sistemas de aire acondicionado y refrigeración dentro de un sector específico. *ASHRAE* reconoce la vigencia de tres métodos para calcular la carga térmica y así proceder a seleccionar los equipos requeridos para alcanzar las condiciones establecidas (Acosta & Caizaluisa, 2020) .

Para este proyecto se calculó la carga térmica mediante el método de diferencias de temperatura para cargas térmicas, factor de carga de enfriamiento solar y factores de carga de enfriamiento (CLTD TD/CLF SCL) con el objetivo de calcular las cargas térmicas de forma manual y seleccionar correctamente el sistema para cumplir con los requerimientos de diseño.

Los lineamientos de *ASHRAE* propone utilizar el método de función de transferencia (TFM) como el método más exacto, debido a que se considera la transferencia de calor en estado transitorio; pero el método CLTD TD/CLF SCL es una simplificación del método TFM (Rodrigues, Sarría, & Fajardo, 2008).

Los lineamientos de *ASHRAE* especifica una secuencia de cálculo de carga térmica que abarca la transferencia de calor que existe en los techos, paredes, ventanas, pisos, luces, equipos y personas, en pocas palabras las cargas externas e internas que existen en la habitación.

Condiciones de diseño

Las condiciones de diseño se analizaron considerando la temperatura máxima en la ciudad de Guayaquil en el año 2021 como se observa en la Figura 1.1; en la Tabla 2.2 se muestra las condiciones de diseño ambientales.

Tabla 2.2 Condiciones de diseño ambientales [Fuente: Elaboración propia]

	°C	°F
T max	31,2	88,16
HR%	78%	
V [km/h]	4,5	

Las condiciones de diseño se basaron en la norma *ASHARAE 55* donde nos indican la temperatura de confort que necesita tener, en la Tabla 2.3 se detalla las condiciones de diseño externas e internas de los espacios de climatizar.

Tabla 2.3 Condiciones de diseño [Fuente: Elaboración propia]

Fuera del espacio		
Max	°C	°F
T	32,5	90,5
HR%	65%	
v	0,25	
Min		
T	28	82,4
HR%	56%	
v	0,22	
Interno		
	°C	°F
T int	23	73,4
HR %	50	

Cargas externas

Se llaman cargas externas a aquellas que se generan debido a las condiciones ambientales que rodean los espacios a acondicionar, las cargas vienen dadas por la transferencia por conducción a través de paredes externas y techos; transferencia por conducción a través de piso

y ventana; y los efectos de radiación solar tanto por conducción o convección en techos, pisos y paredes.

Carga de enfriamiento externo por conducción a través de techo, paredes y vidrios.

$$q = U * A * CLTD \quad (2.1)$$

Donde

q : Carga de enfriamiento.

U : Coeficiente de transferencia de calor para tumbados y paredes.

A : Área de tumbado, paredes o vidrios.

$CLTD$: Diferencia de temperatura de enfriamiento

Carga de enfriamiento externo por radiación a través de vidrios.

$$q_{rad} = A * SC * SCL \quad (2.2)$$

Donde

q_{rad} : Carga de enfriamiento causado por radiación solar.

SC : Coeficiente de sombra.

A : Área de vidrios.

SCL : Factor de carga de enfriamiento solar.

Carga de enfriamiento externo de particiones, tumbados y pisos.

$$q = U * A * (Tb - Trc) \quad (2.3)$$

Donde

q : Carga de enfriamiento de particiones, tumbados y pisos.

U : Coeficiente de transferencia de calor de las particiones, tumbados y pisos.

A : Área de las particiones, tumbados y pisos.

Tb : Temperatura de espacio adyacente.

Trc : Diseño de temperatura interior en el espacio acondicionado.

Cargas internas

Se llaman cargas internas que son necesarias para estimar las ganancias térmicas que generan calor en el interior del espacio donde se va a climatizar.

A continuación, se resumirá las ecuaciones:

Carga de enfriamiento interno por persona

$$q_{sensible} = N * calor\ sensible * CLF \quad (2.4)$$

$$q_{latente} = N * calor\ latente\ ganado \quad (2.5)$$

Donde

N: Número de personas en el espacio.

CLF: Factor de carga de enfriamiento por hora de ocupación.

Carga de enfriamiento interno debido a las iluminarias

$$q_{el} = 3.41 * W * Fu * Fsa * CLF \quad (2.6)$$

Donde

W: Vatios de consumo eléctrico.

Fu, Fsa: Factor de uso, factor especial de fluorescencia.

CLF: Factor de carga de enfriamiento por hora de ocupación.

CLF: Factor de carga de enfriamiento por hora de ocupación.

Carga de enfriamiento interno debido a equipos de potencia

$$q_p = 2545 * P * Ef * CLF \quad (2.7)$$

Donde

P: Rango de HP en los equipos electrónicos.

Ef: Factor de eficiencia y ajuste a las circunstancias.

CLF: Factor de carga de enfriamiento por hora de ocupación.

Carga de enfriamiento interno debido a la ventilación e infiltración de aire.

$$q_t = 4.5 * Q * (h_o - h_i) \quad (2.8)$$

Donde

Q : CFM de ventilación.

h_o, h_i : Entalpia del aire exterior e interior.

Cálculo de carga térmica en la urbanización

El cálculo de las cargas térmicas se los realizó con las fórmulas presentadas anteriormente para cada uno de los edificios y modelos. La urbanización “Bosque de los Ceibos” cuenta con 5 tipos de edificios distribuidos, en la siguiente Tabla 2.4 se resume las cargas térmicas presente en los 5 tipos. Considerando un factor de seguridad de 1.1 por seguridad de diseño.

Tabla 2.4 Cargas térmicas en la urbanización "Bosque de los ceibos"

[Fuente: Elaboración propia]

	Modelo	Carga por modelo [BTU/h]	Cantidad	Carga por edificio [BTU/h]	Carga total [BTU/h]
Edificio 1	Modelo 1	434755	6	434755	2608530
Edificio 1a	Modelo 1	436654	2	436654	873308
Edificio 1b	Modelo 1	427574	2	427574	855148
Edificio 2	Modelo 1	424605	2	745531	1491062
	Modelo 2	320926			
Edificio 3	Modelo 1	432299	3	689469	2068407
	Modelo 2	257170			
Carga total requerida en la urbanización					8765065
TR de la urbanización					730

Con la carga térmica obtenida de cada uno de los edificios en la Sección 2.2.1 produjo un valor acumulativo de 8765065 [BTU/h], con la finalidad de generar un correcto mantenimiento en donde se pueda detener de forma parcial los *chillers*, se repartió la carga en dos equipos y así no afectar el rendimiento de la planta para el abastecimiento de los *fan-coils* de los departamentos. Mediante encuestas realizadas a personas que poseen el equipo de aire acondicionados en sus departamentos, el 60% encienden el aire de 17:00 pm a 8:00 am y el 40% de 8:am a 17:00 pm

véase en Apéndice C; por lo que los *chillers* seleccionados funcionarían a 60% y 40% de su capacidad.

2.2.2 Análisis de pérdidas de cabezal y temperatura la red de tubería.

La urbanización cuenta con un total de 20 edificios como se puede verificar en la Figura 2.5, la línea azul representa la tubería que sale de la planta hacia los departamentos, mientras que la línea roja representa la tubería de retorno a la planta.

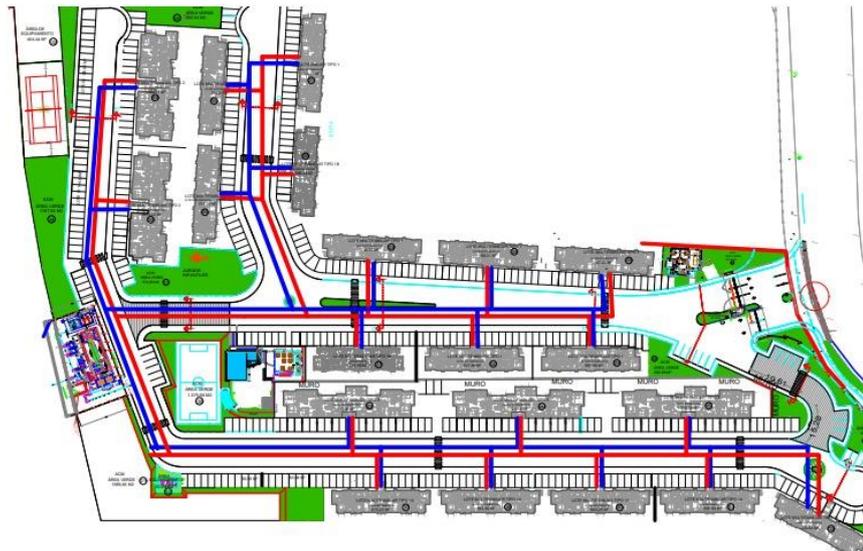


Figura 2.5 Distribución de la tubería [Fuente: Elaboración propia]

Cada tramo de tubería presenta pérdida de presión y ganancia de calor al transportar el agua fría hacia los departamentos por lo que se analizaron estos dos casos para seleccionar correctamente los *chillers* y el sistema de bombeo.

Análisis de Pérdida de presión

Para el análisis de pérdida de presión en la tubería se consideró el método de Darcy-Weisbach en un sistema de tubería de múltiple salida. El método es el más adecuado y exacto para instalación de fluidos térmicos. (Flechas, 2020)

El primer paso en el análisis fue esquematizar en un diagrama de nodos como se observa en la Figura 2.6, cada edificación tiene un consumo de

agua, para que se produzca la transferencia de calor dentro los *fan-coils*. El caudal necesario por cada edificio se muestra en la Tabla 2.5.

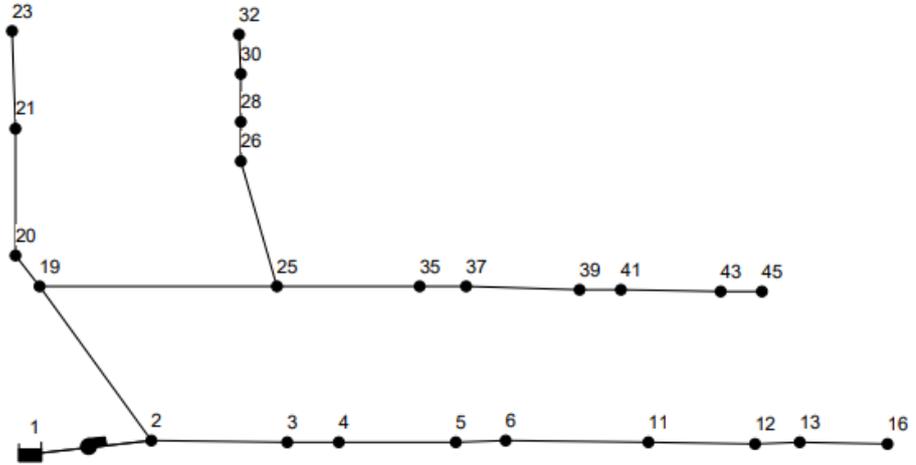


Figura 2.6 Diagrama de nodos [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 2.5 Caudal requerido por cada edificio [Fuente: Elaboración propia]

	TIPO	Flujo masico [kg/h]	Caudal [CFM]	Caudal [l/s]
EDIFICIO 1	MODELO 1	6	13	6.26
EDIFICIO 1A	MODELO 1	6	13	6.13
EDIFICIO 1B	MODELO 1	6	13	6.00
EDIFICIO 2	MODELO 1	6	13	5.96
	MODELO 2	4	10	4.50
EDIFICIO 3	MODELO 1	6	13	6.07
	MODELO 2	4	8	3.61

Una vez calculado el caudal necesario de los departamentos se determinó el consumo por tubería representado como el consumo en cada nodo de la Figura 2.6. Con ayuda del plano de la urbanización se calculó la altura piezométrica considerando una presión mínima de 25 m.c.a.; con la longitud de la tubería se obtuvo la pendiente el cual nos ayuda a calcular la pérdida por longitud. La altura piezométrica, la pérdida por longitud y la cota se obtiene la altura de bombeo la cual representa la pérdida de cabezal de cada nodo.

Asumiendo un factor de fricción de 0.02 y el caudal, se obtiene el diámetro teórico el cual se aproximará a un diámetro comercial de una tubería de acero SCH 40, para finalmente con la ecuación 2.9 de Darcy-Weisbach calcular la caída de presión del tramo de tubería.

$$h = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad (2.9)$$

A continuación, en la Tabla 2.6 se mostrar el diámetro y la caída de presión de cada tramo de la tubería.

Tabla 2.6 Análisis de pérdida de presión [Fuente: Elaboración propia]

	Nodo	Caudal de consumo [l/s]	Diámetro comercial [mm]	Cabezal de la bomba [m]	Caída de presión [m.c.a]
Tramo 1	2	141.38	254.51	25.500	55.569
	19	81.72	202.72	37.204	35.113
	20	20.922	154.06	38.056	33.400
	21	20.922	154.06	42.402	31.683
	23	10.461	102.26	40.968	29.254
Tramo 2	25	60.80	202.72	44.050	48.280
	26	24.30	202.72	50.259	42.607
	28	18.30	154.6	55.878	39.158
	30	12.20	154.6	45.562	38.112
	32	6.10	90.08	44.669	36.184
Tramo 3	35	36.50	254.51	36.598	36.774
	37	30.50	154.06	36.972	36.654
	39	24.40	202.72	37.924	36.095
	41	18.30	202.72	37.320	36.048
	43	12.20	154.06	37.919	35.634
	45	6.10	77.92	49.820	35.520
Tramo 4	3	59.659	254.51	28.491	38.994
	4	49.985	202.72	29.067	38.565
	5	43.858	254.51	29.018	37.591
	6	37.731	202.72	30.657	37.322
	11	28.056	202.72	31.832	36.619
	12	21.929	154.06	37.106	35.183
	13	12.254	154.06	37.635	34.878
	16	6.127	77.92	40.973	33.871

La altura de bombeo máxima de todos los nodos representa el punto crítico del sistema siendo 55.88 [m] en el nodo 28 con un consumo con una cota de 82.57 [m] y un consumo de 18.30 [l/s]

Análisis de ganancia de calor

Los factores más importantes que afectan la transferencia de calor son la diferencia entre las temperaturas de la tierra y el fluido; el aislamiento térmico, la profundidad de enterramiento la cual está relacionada con la

temperatura de la tierra; la conductividad térmica del suelo y la distancia de tuberías adyacentes. (ASHRAE, 2013)

La resistencia térmica del suelo se obtiene con la ecuación 2.11 considerando que:

$$\frac{d}{r_o} > 4 \quad (2.10)$$

$$R_s = \frac{\ln\left(\frac{2d}{r_o}\right)}{2\pi k_s} \quad (2.11)$$

Donde

d distancia de enterramiento de la tubería [m]

k_s Conductividad térmica del suelo [W/mK]

r_o Radio externo de la tubería [m]

La resistencia térmica de la tubería con el aislamiento se define con la ecuación 2.12

$$R_p = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k_p} \quad (2.12)$$

Donde

d distancia de enterramiento de la tubería [m]

r_i Radio interno de la tubería [m]

r_o Radio externo de la tubería [m]

k_p Conductividad térmica de la tubería y del aislante [W/mK]

Para calcular el calor ganado se analizó con el caso de dos tuberías tanto de ida y de vuelta, como se observa en la figura 2.7

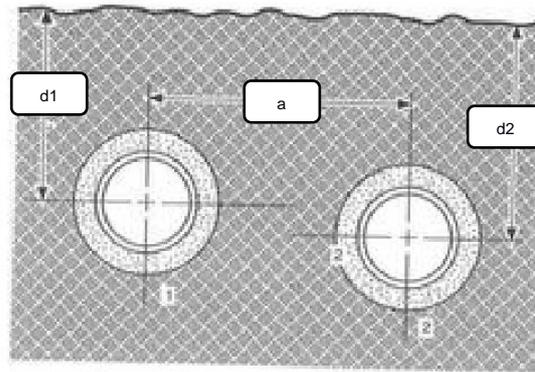


Figura 2.7 Configuración de dos tuberías enterradas [Fuente: (ASHRAE, 2013)]

Se calculó el factor de temperatura con la ecuación 2.13 y 2.14

$$\theta_1 = \frac{T_2 - T_s}{T_1 - T_s} \quad (2.13)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\theta_1} \quad (2.14)$$

El factor geométrico del material se obtiene con las ecuaciones 2.15 y 2.16

$$P_1 = \frac{1}{2\pi k_s} \ln \left[\frac{(d_1 + d_2)^2 + a^2}{(d_1 - d_2)^2 + a^2} \right]^{0.5} \quad (2.15)$$

$$P_2 = \frac{1}{2\pi k_s} \ln \left[\frac{(d_2 + d_1)^2 + a^2}{(d_2 - d_1)^2 + a^2} \right]^{0.5} \quad (2.16)$$

La resistencia efectiva de las tuberías se calcula en la ecuación 2.17 y 2.18

$$R_{e1} = \frac{R_{t1} - \left(\frac{P_1^2}{R_{t2}} \right)}{1 - \left(\frac{P_1 \theta_1}{R_{t2}} \right)} \quad (2.17)$$

$$R_{e2} = \frac{R_{t2} - \left(\frac{P_2^2}{R_{t1}} \right)}{1 - \left(\frac{P_2 \theta_2}{R_{t1}} \right)} \quad (2.18)$$

El calor ganado de la tubería se calcula con la ecuación 2.19 y 2.20

$$q_1 = \frac{(T_1 - T_s)}{R_{e1}} \left[\frac{W}{m} \right] \quad (2.19)$$

$$q_2 = \frac{(T_2 - T_s)}{R_{e2}} \left[\frac{W}{m} \right] \quad (2.20)$$

El análisis de la tubería en la ganancia de calor se consideró una tubería SCH 40 con una conductividad térmica de 40 [W/mK] y una capa de 60 [mm] de coquilla lana de roca como aislante térmico con una conductividad de 0.038 [W/mK].

Para el análisis se consideró la tubería de ida y de retorno a una separación de 1.5 [m] y enterradas a 2[m] de profundidad. La temperatura del suelo es de 299 [K] con una conductividad térmica de 0.82 acorde al porcentaje de humedad referencia con la ESPOL. La temperatura de ida es de 7 [°C] y de retorno es de 12 [°C]. En la Tabla 2.7 y 2.8 se resume el análisis de ganancia de calor por tramos.

Tabla 2.7 Análisis de transferencia de calor en tramos [Fuente: Elaboración propia]

	Nodo	Diámetro comercial [mm]	Resistencia térmica equivalente 1 [°C*m/W]	Resistencia térmica equivalente 2 [°C*m/W]	Calor total ganado [W/m]
Tramo 1	2	254.51	4.20	4.45	-9
	19	202.72	4.68	4.92	-6
	20	154.06	5.01	5.24	-6
	21	154.06	5.01	5.25	-6
	23	102.26	5.44	5.67	-5
Tramo 2	25	202.72	4.26	4.52	-7
	26	202.72	4.50	4.76	-7
	28	154.6	4.66	4.92	-7
	30	154.6	4.90	5.16	-6
	32	90.08	5.10	5.36	-6
Tramo 3	25	202.17	4.26	4.52	-7
	35	254.51	4.11	4.37	-7
	37	154.06	5.00	5.26	-6
	39	202.72	4.29	4.54	-7
	41	202.72	4.37	4.63	-7
	43	154.06	4.87	7.59	-5
Tramo 4	45	77.92	5.89	15.38	-4
	3	254.51	4.07	4.32	-7
	4	202.72	4.39	4.65	-7
	5	254.51	4.09	4.34	-7
	6	202.72	4.42	4.68	-7

	11	202.72	4.30	4.55	-7
	12	154.06	4.52	4.78	-7
	13	154.06	5.13	7.71	-5
	16	77.92	5.30	17.50	-4

Tabla 2.8 Calor ganado por los tramos de tubería [Fuente: Elaboración propia]

	Longitud total [m]	Calor ganado [kW]
Tramo 1	148.6	4.93
Tramo 2	154.8	5.04
Tramo 3	175.4	8.97
Tramo 4	230	11,95
Carga total		30.89

2.2.3 Selección de equipos

- **Chillers**

Los chillers deberán abastecer la carga requerida por los departamentos más el calor generado en las bombas y en la red de tuberías, además considerar caída de presión extras que producen las mismas. En la Tabla 2.9 se resumen el análisis de carga para la selección de los chillers.

Tabla 2.9 Cargas térmicas para la selección de equipos [Fuente: Elaboración propia]

Carga total kW	Chiller 60% kW	Chiller 40% kW
2674	1604	1069

Alternativa A

Considerando la carga total de la Tabla 2.9 se seleccionaron 2 chillers de compresión enfriador por aire, en la Tablas 2.10 y 2.11 se detalla los datos técnicos de los chillers seleccionados del catálogo York.

Tabla 2.10 Datos técnicos del chillers I de la alternativa A [Fuente: (Johnson Controls , 2021)]

<p><i>YCIV1380/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A</i></p> <p>400V/50Hz</p>
--

Capacidad de enfriamiento Nominal	1525,2 [kW] = 433,68 [TR]
Consumo (100% de capacidad)	187 [kW]
Tipo de refrigerante	R-134A
Carga de refrigerante	105 [kg]
Caudal mínimo	19 [l/s] = 68,4 [m3/h]
Caudal Máximo	76 [l/s] = 273,6 [m3/h]

Tabla 2.11 Datos técnicos del chillers II de la alternativa A [Fuente: (Johnson Controls , 2021)]

<i>YCIV1050E/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz</i>	
Capacidad de enfriamiento Nominal	1162,3 [kW] = 330,49 [TR]
Consumo (100% de capacidad)	143 [kW]
Tipo de refrigerante	R-134A
Carga de refrigerante	84 [kg]
Caudal mínimo	19 [l/s] = 68,4 [m3/h]
Caudal Máximo	76 [l/s] = 273,6 [m3/h]

Alternativa B

De la misma forma que los *chillers* de compresión enfriador por aire se seleccionaron 2 chillers de compresión enfriador por agua, en la Tablas 2.12 y 2.13 se detalla los datos técnicos de los chillers seleccionados del catálogo TRANE.

Tabla 2.12 Datos técnicos del chillers I de la alternativa B [Fuente: (TRANE, 2021)]

MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE	
Capacidad de enfriamiento Nominal	500 [TR]= 1758,43 [kW]
Consumo (100% de capacidad)	275 [kW]
Tipo de refrigerante	R-134A
Caudal mínimo	31 [l/s] = 111,6 [m3/h]
Caudal Máximo	113 [l/s] = 406,8 [m3/h]

Tabla 2.13 Datos técnicos del chillers II de la alternativa B [Fuente: (TRANE, 2021)]

MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE

Capacidad de enfriamiento Nominal	400 TR = 1406,74 [kW]
Consumo (100% de capacidad)	220 [kW]
Tipo de refrigerante	R-134A
Caudal mínimo	28 [l/s] = 100,8 [m3/h]
Caudal Máximo	110 [l/s] = 396 [m3/h]

Alternativa C

Considerando la carga total de la Tabla 2.9 se seleccionaron 2 chillers de compresión absorción, en la Tablas 2.14 y 2.15 se detalla los datos técnicos de los chillers seleccionados del catálogo LG HVAC SOLUTION.

Tabla 2.14 Datos técnicos del chillers I de la alternativa C [Fuente: (LG Electronics, Home appliance & Air solution company, 2021)]

WCDH045 Enfriador y calentador de absorción de fuego directo 60Hz COP 1.51		
Capacidad frigorífica	[usTR]	450,00
	[kW]	1.582,00
Datos de agua enfriada	Temperatura	12°C - 7°C
	Caudal [m3/h]	272.2
Datos de agua caliente	Temperatura	56.2°C - 60°C
	Caudal [m3/h]	272.2
Combustible (Gas)	Enfriado [Nm3/h]	96.3
	Calentado [Nm3/h]	110.7
Peso	Operando [ton]	16,00
Consumo	Potencia [KW]	11,7

Tabla 2.15 Datos técnicos del chillers II de la alternativa C [Fuente: (LG Electronics, Home appliance & Air solution company, 2021)]

WCDH032 Enfriador y calentador de absorción de fuego directo 60Hz COP 1.51		
Capacidad frigorífica	[usTR]	320,00
	[kW]	1.125,00
Datos de agua enfriada	Temperatura	12°C – 7°C
	Caudal [m3/h]	193.5
Datos de agua caliente	Temperatura	56.2°C – 60°C
	Caudal [m3/h]	193.5
Combustible (Gas)	Enfriado [Nm3/h]	68.5
	Calentado [Nm3/h]	77.5
Peso	Operando [ton]	10.4
Consumo	Potencia [KW]	11,2

- **Bombas para sistema de distribución**

Para el sistema de distribución se necesitaron bombas capaces de vencer el cabezal del sistema en ida y vuelta además de los chillers. Se escogió la bomba del catálogo Gomaig SL:

Tabla 2.16 Datos técnicos de la bomba de distribución [Fuente: (Gomaig SL, 2021)]

BOMBA CENTRIFUGA SOBRE BANCADA NORMALIZADA NORMA EN733 SERIE NCB/NCBZ 2900RPM				
Tipo (CATALOGO SAER)	[kW]	[hp]	Q	H [m]
NCBZ72P 80-250A	75	100	120	101,8

Para la carga aumentada se tomará en cuenta las 4 bombas cada una con eficiencia al 75% por lo que producirá un total de 75 kW extra de carga.

Tabla 2.17 Pérdida de cabezal del sistema de bombeo [Fuente: Elaboración propia]

CABEZAL PERDIDO	
Chiller 1	6,5 [m]
Chiller 2	
Sistema de distribución ida	55,88 [m]
Sistema de distribución retorno	16,76 [m]
Cabezal Requerido por las bombas	79,14 [m]

- **Torre de Enfriamiento**

Para el chiller de compresión enfriado por agua y el chiller de absorción se necesita torres de enfriamiento con el objetivo de que el agua suministrada absorba el calor generado en los intercambiadores de calor dentro de los chillers. Para esto se seleccionó la torre de enfriamiento del catálogo BAC.

Tabla 2.18 Datos técnicos de la torre de enfriamiento [Fuente: (BALTIMORE AIRCOIL COMPANY, 2021)]

Torre de Enfriamiento Serie 1500 Marca BAC		
Carga Térmica	Tasa de Flujo	Característica
92 -747 [ton]	Hasta 3150 [USGPM]	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo transversal • Ventilador Axial • Tiro Inducido

- **Fan Coils**

Para los *Fan coils* se seleccionaron marca LG que el diseño sea de pared, la cual es seleccionada mediante la carga que esta proporciona en este caso se escogieron de 4 capacidades de 2.16, 3.12, 4.55 y 5.36 kW. Realizando un análisis con la carga frigorífica suministrada por los chillers.

Tabla 2.19 Datos técnicos de los fan coils [fuente: (LG Electronics, Home appliance & Air solution company, 2021)]

MODELO	02-2T	03-2T	04-2T	06-2T
Potencia Frigorífica [kW]	2,16	3,12	4,55	5,36
Perdida de Carga [kPa]	3,6	7,9	17,6	6,9
Caudal de aire Max [m3/h]	495	540	745	875
Caudal de aire Min [m3/h]	90	140	150	155

- **Bombas para torre de enfriamiento**

Cada torre de enfriamiento necesitara una bomba que ayude a suministrar el agua hacia los chillers.

Tabla 2.20 Datos técnicos de la bomba de distribución hacia la torre de enfriamiento [Fuente: (Gomaig SL, 2021)]

Bomba centrífuga sobre bancada normalizada Norma en733 serie ncb/ncbz				
2900rpm				
Tipo (CATALOGO SAER)	[kW]	[hp]	Q	H [m]
NCBZ74P 150-400A	90	125	375-475	55,6-59,7

2.2.4 Análisis económico y ambiental

Para seleccionar una alternativa correcta fue necesario primero hacer un análisis económico y ambiental de las diferentes configuraciones de distritos térmicos presentados en la sección 2.1.3.

- **Análisis económico**

En el análisis económico se debe considerar los siguientes puntos:

- Con base a criterios de expertos se consideró el 25% de los costos de equipos-materiales como costo de instalación del distrito de enfriamiento.
- Se consideró como costos fijos los costos de inversión para la ejecución del proyecto
- La construcción de la planta, instalación de la red de tubería no se consideraron en la inversión del proyecto.
- La tarifa eléctrica promedio de la ciudad de Guayaquil es de 0.079 [USD/kWh] para plantas industriales (Ecuador tiene tarifas electricas más económicas que Colombia y Perú, 2021).
- Se consideró un funcionamiento continuo de 24 horas al día, 7 días a la semana, 4 semanas al mes y 12 meses al año.
- El gasto por mantenimiento anual está basado en un plan de mantenimiento predictivo.

Análisis económico: alternativa A

Con los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3, se estimó los costos de los equipos, accesorios e instrumentos del distrito térmico de la alternativa A el cual muestra en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21 Costos de equipos y materiales de la alternativa A [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales en la planta [USD]				126700
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	YCIV1380/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz	1	25000	25000
2	YCIV0590E/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz	1	21000	21000
3	Accesorio de la interfaz de usuario	160	30	4800
4	Tubería SCH. 40	240	60	14400
5	Accesorio de sistema de distribución	-	-	1500
6	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 100 hp	4	15000	60000

El costo de los equipos de los usuarios se muestra en la Tabla 2.22

Tabla 2.22 Costos de los equipos de los usuarios [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales de los usuarios [USD]				570400
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	Fan coils de 3.12 kW	600	580	348000
2	Fan coils de 4.55 kW	160	730	116800
3	Fan coils de 5.36 kW	96	1100	105600

Se estimó el costo de instalación del distrito térmico, asumiendo un porcentaje del 25% en los costos de equipos y materiales presentador en las Tablas 2.21 y 2.22.

Tabla 2.23 Costo de instalación del distrito térmico y los equipos de los usuarios [Fuente: Elaboración propia]

Costo de instalación [USD]		174275
N°	ITEM	P. total [USD]
1	Costo de instalación de los fan coils y planta	174275

El costo de la inversión inicial se considerada el costo de los equipos en la planta mostrado en la tabla 2.21 y el costo de instalación mostrado en la tabla 2.23.

A continuación, se analizará el costo de operación y mantenimiento de la alternativa A con el consumo por los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3. En la tabla 2.24 se presenta el consumo eléctrico de los equipos tanto de la planta con un funcionamiento de 24 h en 28 días al mes y los equipos de los usuarios con un funcionamiento de 8h en 28 días al mes.

Tabla 2.24 Consumo eléctrico de los equipos [Fuente: Elaboración propia]

Consumo eléctrico [kWh/mes]				270099
N°	ITEM	CANT	Consumo [kW]	Consumo de operación [kWh/mes]
1	YCIV1380/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz	1	187	125664
2	YCIV0590E/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz	1	143	96096
3	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 100 hp	4	4.2	11289.6
4	Fan coils de 3.12 kW	600	0.145	19488
5	Fan coils de 4.55 kW	160	0.235	8422.4
6	Fan coils de 5.36 kW	96	0.425	9139.2

La tarifa en la ciudad de Guayaquil para una planta industrial es de 0.079 [USD/kWh/mes] por lo tanto el costo de operación se detalla a continuación en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25 Costo de operación anual [Fuente: Elaboración propia]

Costo de operación anual [USD/año]				256054.04
N°	ITEM	Tarifa mensual [USD/kWh/mes]	Consumo eléctrico [kWh]	Costo de operación USD/mes
1	Alternativa A	0.079	270099	21338

En la tabla 2.26 se presenta el costo de mantenimiento predictivo anual.

Tabla 2.26 Costos de mantenimiento anual de la alternativa A [Fuente: Elaboración propia]

Costo de Mantenimiento anual		11800
N°	ITEM	USD
1	Fan coils	10900
2	YCIV0590E/V Air-cooled Screw Liquid Chillers with Variable speed Drive Style A 400V/50Hz	900

Análisis económico: alternativa B

Con los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3, se estimó los costos de los equipos, accesorios e instrumentos del distrito térmico de la alternativa B el cual muestra en la Tabla 2.27.

Tabla 2.27 Costos de equipos y materiales de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales en la planta [USD]				487042
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE 500TR	1	33000	33000
2	MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE 500TR	1	33000	33000
3	Torre de enfriamiento serie 1500	2	150000	300000
4	Accesorio de la interfaz de usuario	160	35	5600
5	Tubería SCH. 40	241	63.73	5000
6	Accesorio de sistema de distribución	-	-	10442
7	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 125 hp	2	20000	40000
8	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 100 hp	4	15000	60000

El costo de los equipos de los usuarios se muestra en la Tabla 2.28

Tabla 2.28 Costo de los equipos de los usuarios [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales de los usuarios [USD]				570400
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	<i>Fan coils de 3.12 kW</i>	600	580	348000
2	<i>Fan coils de 4.55 kW</i>	160	730	116800
3	<i>Fan coils de 5.36 kW</i>	96	1100	105600

Se estimó el costo de instalación del distrito térmico de la misma forma que la alternativa A, asumiendo un porcentaje del 25% en los costos de equipos y materiales presentador en las Tablas 2.27 y 2.28.

Tabla 2.29 Costo de instalación de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Costo de instalación [USD]		264361
N°	ITEM	P. total [USD]
1	Costo de instalación de los <i>fan coils</i> y planta	264361

Se analizará el costo de operación y mantenimiento de la alternativa A con el consumo por los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3. En la tabla 2.30 se presenta el consumo eléctrico de los equipos tanto de la planta con un funcionamiento de 24 h en 28 días al mes y los equipos de los usuarios con un funcionamiento de 8h en 28 días al mes.

Tabla 2.30 Consumo energético de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Consumo eléctrico [kWh/mes]				424122
N°	ITEM	CANT	Consumo [kW]	Consumo de operación [kWh/mes]
1	MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE 500TR	1	275	198000
2	MODELO CVGF Enfriado por agua marca TRANE 400TR	1	220	158400
3	Torre de enfriamiento serie 1500	2	8.6	12384
4	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 125 hp	2	4.3	6192
5	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 100 hp	4	4.2	12096
6	Fan coils de 3.12 kW	600	0.145	19488
7	Fan coils de 4.55 kW	160	0.235	8422.4
8	Fan coils de 5.36 kW	96	0.425	9139.2

La tarifa en la ciudad de Guayaquil para una planta industrial es de 0.079 [USD/kWh/mes] por lo tanto el costo de operación se detalla a continuación en la Tabla 2.31.

Tabla 2.31 Costo de operación anual de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Costo de operación anual [USD/año]				402067
N°	ITEM	Tarifa mensual [USD/kWh/mes]	Consumo eléctrico [kWh]	Costo de operación USD/mes
1	Alternativa B	0.079	424122	33506

En la tabla 2.32 se presenta el costo de mantenimiento predictivo anual.

Tabla 2.32 Costo de mantenimiento anual de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Costo de Mantenimiento anual		12700
N°	ITEM	USD
1	<i>Fan-coils</i>	10900.00
2	<i>Chillers</i>	900.00
3	Torres de enfriamiento	900.00

Análisis económico: alternativa C

Con los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3, se estimó los costos de los equipos, accesorios e instrumentos del distrito térmico de la alternativa A el cual muestra en la Tabla 2.33.

Tabla 2.33 Costos de equipos y materiales de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales en la planta [USD]				712720
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	<i>Wcdh045 direct fired absorption chiller and heater 60hz cop 1.51</i>	1	200000	250000
2	<i>Wcdh032 direct fired absorption chiller and heater 60hz cop 1.51</i>	1	100000	150000
3	Torre de enfriamiento serie 1500	2	150000	300000
4	Accesorio de la interfaz de usuario	192	35	6720
5	Tubería sch. 40	241	60	5000
6	Accesorio de sistema de distribución	-	-	1000
7	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 125 hp	2	20000	40000
8	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma en733 serie 100 hp	4	15000	60000

El costo de los equipos de los usuarios se muestra en la Tabla 2.34

Tabla 2.34 Costos de los equipos de los usuarios [Fuente: Elaboración propia]

Costo de equipos materiales de los usuarios [USD]				570400
N°	ITEM	CANT	P. unitario [USD]	P. total [USD]
1	<i>Fan coils de 3.12 kW</i>	600	580	348000
2	<i>Fan coils de 4.55 kW</i>	160	730	116800
3	<i>Fan coils de 5.36 kW</i>	96	1100	105600

Se estimó el costo de instalación del distrito térmico, asumiendo un porcentaje del 25% en los costos de equipos y materiales presentador en las Tablas 2.33 y 2.34.

Tabla 2.35 Costo de instalación de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Costo de instalación [USD]		320780
N°	ITEM	P. total [USD]
2	Costo de instalación de los <i>fan coils</i> y planta	203180

Se analizará el costo de operación y mantenimiento de la alternativa A con el consumo por los equipos seleccionados en la Sección 2.2.3. En la tabla 2.36 se presenta el consumo eléctrico de los equipos tanto de la planta con un funcionamiento de 24 h en 28 días al mes y los equipos de los usuarios con un funcionamiento de 8h en 28 días al mes.

Tabla 2.36 Consumo energético de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Consumo eléctrico [kWh/mes]				84210
N°	ITEM	CANT	Consumo nominal unitario [kW]	Consumo de operación [kWh/mes]
1	WCDH045 Direct Fired Absorption Chiller and Heater 60Hz COP 1.51	1	11.7	8424
2	WCDH032 Direct Fired Absorption Chiller and Heater 60Hz COP 1.51	1	11.2	8064
3	Torre de enfriamiento serie 1500	2	8.6	12384
4	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma EN733 SERIE 125 HP	2	4.3	5040
5	Bomba centrífuga sobre bancada normalizada norma EN733 SERIE 100 HP	4	4.2	9216
6	Fan coils de 3.12 kW	600	0.145	19488
7	Fan coils de 4.55 kW	160	0.235	8422.4
8	Fan coils de 5.36 kW	96	0.425	9139.2

La tarifa en la ciudad de Guayaquil para una planta industrial es de 0.079 [USD/kWh/mes] por lo tanto el costo de operación se detalla a continuación en la Tabla 2.31.

Tabla 2.37 Costo de operación anual de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Costo de operación anual [USD/año]				87814
N°	ITEM	Tarifa mensual [USD/kWh/mes]	Consumo eléctrico [kWh]	Costo de operación USD/mes
1	Alternativa C	0.079	84210	6652.55

En la tabla 2.38 se presenta el costo de mantenimiento predictivo anual.

Tabla 2.38 Costo de mantenimiento anual de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Costo de Mantenimiento anual	11200
ITEM	USD
<i>Fan coils</i>	9000
<i>Chillers</i>	1200
Torres de enfriamiento	1000

El distrito térmico tiene como finalidad vender agua fría a los usuarios, dado a esto se consideró una tarifa seria de 0.31 [USD/m³] teniendo en cuenta que la tarifa produzca un menor costo de operación a comparación de los sistemas convencionales, por lo tanto, el distrito térmico genera un ingreso de 372899 [USD/año].

Tabla 2.39 Análisis de costo de las alternativas de solución [Fuente: Elaboración propia]

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Inversión inicial [USD]	300975	751403	1033500
Costo O&M [USD/año]	267854	424946	99014
Ingresos [USD/año]	372899	372899	372899
Utilidad Anual [USD]	105045	-	273885

- **Análisis ambiental**

En el análisis ambiental se ha desarrollado con base a parámetro adimensionales *Global Warming Potential* (GWP) traducido a Potencial de Calentamientos Global (PCG). Este parámetro es una medida mide los efectos relativos de calentamiento global tomando como referencia una masa de dióxido de carbono CO₂ (Sanguinett, 2021). El PCG varia en funcion de cada GEI y se definen para periodos de 20, 100 o 500 años.

Este parámetro depende de cómo la concentración de un GEI decae con el tiempo. (Sanguinett, 2021)

Mientras más alto sea el PCG mayor será el impacto del gas en la atmósfera, asimismo un GEI que se elimine de la atmósfera puede tener un impacto ambiental muy grande, sin embargo, durante periodos más largos, a medida que desaparece el impacto decrece.

El CO₂ tiene un valor estandarizado de PCG equivalente a 1 y se usa como referencia por ser el GEI de mayor abundancia en el medio ambiente; por lo tanto, se es posible calcular la emisión de toneladas equivalentes de CO₂ obteniendo una medida de la huella de carbono que indica la emisión de un GEI. (Mejia Gamarra, 2020) (Espindola & Valderrama, 2011)

$$m_{CO_2-eq} = m_{GEI} * PCG_{horizonte} \quad (2.21)$$

Donde:

m_{CO_2-eq} : Emisión equivalente de masa de CO₂ [ton].

m_{GEI} : Emisión de masa del GEI [ton].

$PCG_{horizonte}$: Parámetros PCG para horizontes de 20, 100 o 500 años.

Para el análisis ambiental se lo realizo con la calculadora online de EUROFINS. La calculadora online utiliza las equivalencias de gas calculado en función de su PCG de 100 años según la norma IPCC *Fourth Assessment Report* (Eurofins Envira, 2020).

Se considero una tasa anual de fuga de refrigerante del 3% para enfriadores (ACCUVIO, 2017).

Análisis ambiental: alternativa A

Para el análisis ambiental se consideró las especificaciones de los equipos seleccionados en la sección 2.2.3, al trabajar con un *chillers* de compresión enfriador por aire genera un total de 8.11 ton de CO₂ al año como se detalla a continuación en la Tabla 2.40

Tabla 2.40 Análisis ambiental de la alternativa A [Fuente: Elaboración propia]

Alternativa A		
Refrigerante	kg de gas refrigerante	Ton de CO2
R-134 A	3.15	4.50
R-134 A	2.52	3.60
Total		8.11

Análisis ambiental: alternativa B

La alternativa B trabaja con un *chillers* de compresión enfriador por agua genera un total de 7.42 ton de CO₂ al año como se detalla a continuación en la Tabla 2.41

Tabla 2.41 Análisis ambiental de la alternativa B [Fuente: Elaboración propia]

Alternativa B		
Refrigerante	kg de gas refrigerante	Ton de CO2
R-134 A	2.94	4.20
R-134 A	2.25	3.22
Total		7.42

Análisis ambiental: alternativa C

La alternativa C trabaja con un *chillers* de compresión absorción genera un total de 2.79 ton de CO₂ al año como se detalla a continuación en la Tabla 2.42.

Tabla 2.42 Análisis ambiental de la alternativa C [Fuente: Elaboración propia]

Alternativa C		
Refrigerante	kg de gas refrigerante	Ton de CO2
R-410 A	1.11	2.31
R-410 A	0.84	1.75
Total		4.06

2.2.5 Selección de la mejor alternativa de solución

La selección de la mejor alternativa analizó mediante la metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*) desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty.

Es un método de decisión multicriterio que nos ayuda a seleccionar entre distintas propuestas la más adecuada de una serie de criterio. Como primer paso se realizó las comparaciones pareadas entre los criterios de diseño de la Tabla 2.1 para obtener el porcentaje de valor dentro de la selección de la alternativa, está a ponderación se muestra en la Tabla 2.43.

Tabla 2.43 Ponderación de los criterios de diseño [Fuente: Elaboración propia]

Criterios	Porcentaje	Porcentaje por alternativa
Inversión Inicial	22%	Mayor escala representa un menor costo de inversión
Espacio de construcción	15%	Mayor escala representa un menor espacio de construcción de la planta.
Mantenimiento	22%	Mayor escala representa una mayor facilidad para realizar el mantenimiento.
Fiabilidad	20%	Mayor escala representa una mayor probabilidad de climatizar los departamentos.
Ambiental	22%	Mayor escala representa una menor contaminación ambiental

Una vez obtenido el porcentaje de ponderación de los criterios de diseño, se procedió a realizar las comparaciones pareadas entre las alternativas con los criterios de diseño. En la Tabla 2.44 se adjuntaron los pesos obtenidos de cada alternativa.

Tabla 2.44 Matriz de decisión [Fuente: Elaboración propia]

Criterio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Inversión Inicial	0.45	0.30	0.25
Espacio de construcción	0.45	0.35	0.20
Mantenimiento	0.36	0.34	0.30
Fiabilidad	0.33	0.34	0.33
Ambiental	0.30	0.35	0.35
Total	37%	33%	29%

La alternativa más adecuada para cumplir con los criterios de diseño es el distrito térmico de compresión enfriado por aire, como se puede observar en la matriz de decisión tiene un peso de 37% lo que define que

es un sistema que no lleva mucha inversión inicial, a pesar de ser el sistema que expulsa mayor cantidad de CO₂, el sistema es bastante amigable con el medio ambiente a comparación que con el uso de aires acondicionados.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Esquema y descripción del distrito térmico seleccionado.

El distrito térmico de frío que se diseñó consiste en un sistema capaz de enfriar agua para poder usarse en climatización de los departamentos de la urbanización “Bosque de los Ceibos”. El agua fría sale de la planta central conformado por los chillers, sistema de bombeo y el sistema de control. El chiller de compresión realiza el proceso transferencia de calor mediante intercambiadores suministrando agua a 7° C hacia el cuarto de bombas que se seleccionó tomando en cuenta la eficiencia de las bombas, la pérdida de presión y el caudal.

El sistema de bombeo está conformado por bombas en paralelo para compensar la caída de presión generada por el sistema de distribución y así poder llegar el agua a cada uno de los departamentos y de regreso hacia la planta central. En los *fan coils* se encuentra instalados en cada uno de los departamentos donde el agua ingresa a 7°C y ganara calor en el serpentín hasta llegar los 12°C. El agua a 12°C regresa a la planta donde se encuentra una válvula estranguladora que ayuda al sistema a regular la presión para ingresar a los chillers de compresión. Los chillers poseen ventiladores en su estructura capaces de expulsar el calor obtenido debido al intercambio de calor dentro del mismo.

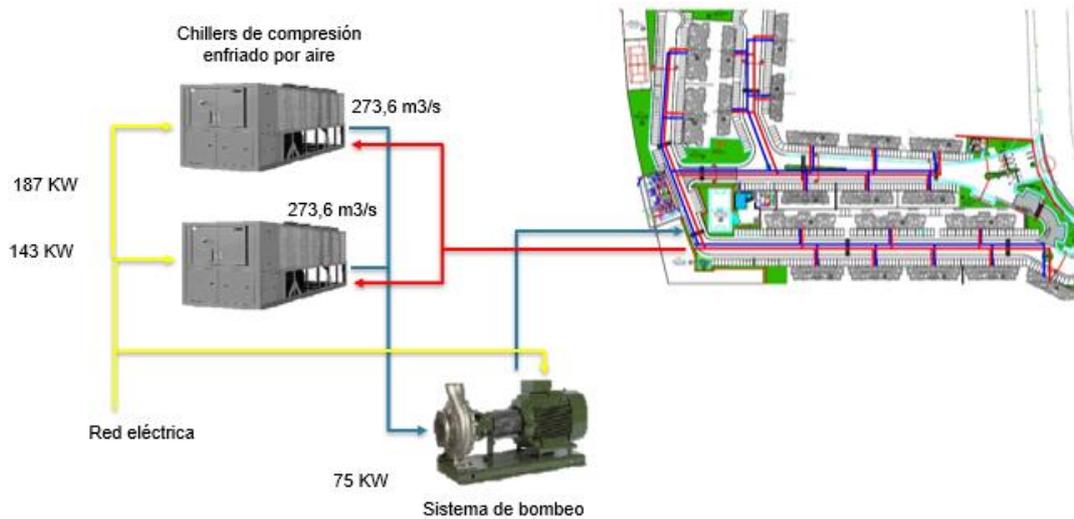


Figura 3.1 Distrito térmico seleccionado [Fuente: Elaboración propia]

3.2 Comparación económica del sistema convencional con el distrito térmico.

La comparación de los sistemas se basa en el análisis económico del departamento con la mayor carga térmica, el cual se encuentra ubicado en el piso 4 del edificio 1A con una carga térmica de 55304 [BTU/h] y se requiere el uso de 6 equipos Samsung Split de alta eficiencia de 12000 [BTU/h].

Tabla 3.1 Cuadro comparativo-económico del departamento más crítico [Fuente: Elaboración propia]

	Acondicionador de aire tipo Split	Fan coils
Inversión inicial [USD]	3375	3050
Costo de instalación [USD]	675	0
Costo O&M [USD/mes]	214.22	204.23

En la Tabla 3.1 se observa la comparación entre los dos sistemas, el distrito térmico dentro de la urbanización genera beneficios a los usuarios, debido a que la propiedad ya viene con los equipos instalados, lo que representa un ahorro del 10% en la inversión y un ahorro del 100% en instalación de los equipos por parte de los usuarios.

El distrito térmico se cobraría como un servicio por m^3 de agua, la tarifa del distrito térmico fue analizada donde el costo de operación y mantenimiento sea menor que los sistemas convencionales, por lo que la tarifa que se estableció es de 0.31 [USD/ m^3] lo que representa un ahorro del 5% mensuales.

Considerando el departamento menos crítico el cual se encuentra ubicado en la planta baja del edificio 3-2 con una carga térmica de 32012.10 [BTU/h] y requiere 4 equipos Samsung Split de alta eficiencia de 12000 [BTU/h].

Tabla 3.2 Cuadro comparativo-económico del departamento menos crítico

[Fuente: Elaboración propia]

	Acondicionador de aire tipo Split	Fan coils
Inversión inicial [USD]	2250	2040
Costo de instalación [USD]	450	0
Costo O&M [USD/mes]	162.82	122.33

En la Tabla 3.2 se analizó el departamento menos crítico lo que representó un ahorro del 9% en la inversión inicial y 25% mensuales en los costos de operación y mantenimiento.

3.3 Comparación ambiental del sistema convencional con el distrito térmico.

La comparación ambiental se analizó considerando un total de 776 equipos de 12000 [BTU/h] para el confort térmico de toda la urbanización, los equipos son de marca Samsung de alta eficiencia con un refrigerante tipo R-410A; cada equipo de aire acondicionado necesita aproximadamente 0.99 kg lo que representa un total 770.4 kg de refrigerante utilizado en toda la urbanización. Considerando una tasa de fuga anual del 3% para acondicionadores de aire pequeños, obteniendo 23.1 kg de refrigerante fugado al año. De la misma forma que se analizó en la sección 2.2.4.2, se obtuvo 48.23 ton de CO₂ expulsado al año; mientras que el sistema seleccionado produce 40.12 ton de CO₂ menos que el sistema actual, lo que representa un 83% de reducción de CO₂ usando el distrito térmico. En la Tabla 3.2 se detalla la comparación ambiental.

Tabla 3.3 Análisis comparativo-ambiental I [Fuente: Elaboración propia]

	Acondicionador de aire tipo Split	Distrito térmico
Kg gas refrigerante fugado anual	23.1	5.67
TON de CO₂ anual	48.23	8.11
TON de CO₂ reducidas	40.12	
Porcentaje de reducción	83%	

Considerando las toneladas de CO₂ generadas por el consumo energético, se calcula con la relación de factor de emisión 0.15 [kg CO₂/kWh], EF-CO₂ es la masa estimada en toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la combustión de combustible fósil (Invernadero, 2019). Para este análisis se verifica la potencia consumida por los equipos de climatización para toda la urbanización, el distrito térmico con los *fan coils* produce una reducción del 88 ton de CO₂ lo que representa el 84% generada por los sistema convencionales el tiempo de operación. Este análisis de resumen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Análisis comparativo-ambiental II [Fuente: Elaboración propia]

	Acondicionador de aire tipo Split	<i>Fan coils</i>
kWh anual	2789875	444595
TON de CO₂ anual	418	67
TON de CO₂ reducidas	531	
Porcentaje de reducción	84%	

3.4 Análisis financiero del distrito térmico seleccionado.

Para constatar la rentabilidad de la propuesta seleccionada se realizó un análisis financiero basado en los conceptos de valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

TMAR: es la tasa mínima aceptable de rendimiento o tasa de descuento del inversionista. Este valor se usa como límite mínimo para ver si el proyecto propuesto generará o no ganancia a la empresa o persona que invertirá basado en el valor del TIR. El TMAR se rige acorde a la tasa de inflación y el riesgo de inversión. El TMAR es calculado con la tasa de inflación el cual es el país donde se desarrollada, en este caso es de 1.94% a finales del 2021; también se suma la tasa pasiva que para enero del 2022 es de 9.79% y finalmente el riesgo de inversión del 12% que representa el porcentaje que recibirá el inversionista al invertir en el proyecto (Banco Central del Ecuador, 2021)

Flujo neto de caja proyecto (FN): este flujo es la diferencia entre los ingresos y gastos de operación del distrito térmico.

Valor actual (VA): es el valor de una serie de flujos futuros, periódicos y constantes a una tasa de descuento equivalente al TMAR. Este valor actual se lo calcula con la ecuación 3.1

$$VA_i = \frac{FN_i}{(1 + TMAR)^i} \quad (3.1)$$

Donde

i: Año de inversión

FN_i: Flujo neto de caja proyecto en el año *i* [USD]

Valor actual neto (VAN): Este parámetro permite evaluar todos los importes futuros en su valor actual, con lo que se evalúa es si la inversión genera o no beneficios. Este valor actual se lo calcula con la ecuación 3.2

$$VAN = \left(\sum_{i=1}^m \frac{FN_i}{(1 + TMAR)^i} \right) - I_0 \quad (3.2)$$

Donde

I₀: Inversión inicial [USD]

m: Horizonte de evaluación en años

Obteniendo el valor de VAN se puede los siguientes casos:

- VAN > 0: El proyecto es rentable por lo que se recomienda realizar inversión.
- VAN < 0: El proyecto no es rentable por lo que no se recomienda realizar inversión
- VAN = 0: El proyecto es indiferente.

Tasa interna de retorno (TIR): Es la tabla de descuento en la que el valor del VAN es cero, es el beneficio puntual en porcentaje de cuánto va a obtener de retorno por invertir en el proyecto.

Relación de beneficio/costos: Es la relación entre los ingresos y el costo de inversión inicial. Permite evaluar la cantidad de dinero que produce periódicamente un capital sobre la inversión en un proyecto.

En la Tabla 3.3 se muestra un resumen de análisis financiero realizado para el distrito térmico, para más detalle observa el apéndice C

Tabla 3.5 Análisis financiero del proyecto [Fuente: Elaboración propia]

	Propuesta
Inversión inicial [USD]	300975
TMAR	23.7%
Año de retorno	6
Vida útil del proyecto [años]	10
VAN [USD]	98116.02
TIR	33%
B/C	1.30

El distrito térmico se lo diseño para una vida útil de 10 años considerando un valor mínimo a comparación con la vida útil de un equipo de aire acondicionado, con una tasa del 23.7% se produce un retorno acumulado en el quinto año lo que hace que el sistema sea un proyecto rentable, con una relación de 1.30 entre los beneficios y costos es decir por cada 1[USD] el inversionista ganará 0.30[USD].

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se diseñó un distrito térmico tomando como base los lineamientos de ASHRAE, con el fin de distribuir agua fría mediante tuberías en la urbanización “Bosque de los Ceibos”, abasteciendo los equipos de climatización y generando confort térmico dentro de cada departamento.

El análisis de la red de tubería se lo realizó considerando las alturas del terreno y el consumo por edificio, esto con la finalidad de conocer cuál sería la altura de bombeo máximo mediante el método de Darcy-Weisbach siendo 55.88 [m] ubicado en el nodo 28; por otro lado se analizó la ganancia de calor en los tramos de la tubería mediante el método de transferencia de calor de dos tuberías de los lineamientos *ASHRAE* “guía de distrito térmico de frío” obteniendo un 30.89 kW en todo el tramo de tubería.

Para este diseño se seleccionó un distrito térmico diseñado con *chillers* de compresión enfriados por aire, ya que se consideró la mejor opción para lugares abiertos porque que no ocupan gran espacio siendo perfectos para en un futuro ser implementados en la urbanización “Bosques de los Ceibos”. Los *chillers* de absorción poseen una tecnología desarrollada y barato con un periodo de vida útil entre 20 a 30 años por que presenta ventaja a comparación de los *chillers* de absorción que son equipos muy costos con un periodo de vida de 25 años.

El método seleccionado fue el método CLTD/SCL/CLF por ser más simplificado y apropiado para realizarse por calculo manual incluyendo uso de la hoja de cálculo, además de los resultados tienen mayor exactitud, por lo tanto, los resultados que se obtuvieron mediante el uso de este método se consideraron lo más exactos con respecto a métodos manuales, obteniendo alrededor de 730 [TR] aproximadamente de carga térmica requerida.

Los distritos térmicos presentan una gran alternativa para reemplazar el sistema de climatización convencional generando un ahorro del 10% en la inversión

inicial para los departamentos con mayor carga térmica y un 9% para los departamentos de menor carga térmica; por otro lado, genera un ahorro del 5% en la costó de operación y mantenimiento para los departamentos más críticos y un 25% para los departamentos menos críticos.

Los distritos térmicos disminuirían 40.12 [ton de CO₂] anual lo que representa el 83% de diferencia con las toneladas de CO₂ generadas por los 776 equipos de aires. Acondicionados, considerando una fuga del 3% anual de refrigerante por equipo. También los *fan coils* reducen 1057 [ton de CO₂] anual por consumo energético a comparación de los acondicionadores de aire tipo Split.

Para la implementación del distrito térmico dentro de la urbanización se necesitará una inversión de 300975 [USD], la utilidad anual servicios de agua fría del distrito térmico son 105044 [USD] lo que produce que la inversión retornara en el sexto año, lo que beneficiaria dado que la relación beneficios costos es de 1.30, es decir por cada 1 [USD] invertido en la implementación se beneficiaría 0.30 [USD].

4.2 Recomendaciones

El diseño de un distrito térmico es un tema amplio donde abarca el conocimiento de otras carreras, por lo tanto, se recomienda realizar un análisis ingenieril por parte de ingenieros civiles de la red de distribución en la zona y en cada uno de los edificios para obtener valores más exactos en la perdida de presión e implementar un sistema de bombeo más optimo.

Se recomienda la intervención de ingenieros en automatización industrial para implementar un sistema de adquisición de para controlar el flujo de agua fría en cada uno de los fan coils para poder disminuir el flujo de agua acorde a la temperatura que se tenga en el área de climatizar y a su vez optimizar el sistema generando menos costos de operación a los usuarios.

Se recomienda realizar un investigación una vez implementado el distrito donde se pueda optimizar el consumo eléctrico de la planta central mediante equipos de obtención de energía renovables como paneles solares. Dentro de la urbanización bosque de los ceibos existe una planta depuradora de agua en

donde es posible la obtención de biogás, este componente puede ser esencial para implementar un chillers de absorción paralelo al sistema realizado para así reducir la carga energética de los chillers de compresión o a su vez ampliar el distrito a urbanizaciones vecinas.

Se recomienda la implementación de distrito térmico como un servicio en donde las entidades públicas son los propietarios y operadoras convirtiéndose en un modelo totalmente público, en donde subcontratan el servicio por medio de licitaciones abiertas con empresas públicas o privadas.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCUVIO. (24 de 10 de 2017). Obtenido de <https://support.accuvio.com/support/solutions/articles/4000040366-annual-leakage-rate-for-the-refrigeration-air-con-hvac>
- Acosta, C. E., & Caizaluisa, J. D. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de cámara de ambiente controlado para el laboratorio de investigación y desarrollo de pinturas condor Quito*. QUITO.
- ASHRAE. (2013). *DISTRICT COOLING GUIDE*.
- BALTIMORE AIRCOIL COMPANY. (2021). Obtenido de <https://www.baltimoreaircoil.com/es/productos/torres-de-enfriamiento/torre-de-enfriamiento-serie-1500>
- Banco Central del Ecuador. (12 de 2021). Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/>
- Barletta, G. (2021). *Buenas prácticas en los procesos de instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado*.
- Bayer, E. (18 de Febrero de 2021). *Los consumidores pueden transformar los sistemas de energía de América Latina*. Obtenido de <https://www.iea.org/commentaries/consumers-can-transform-latin-america-s-power-systems-here-s-how>
- Distrito térmico: Alternativa para el desarrollo urbano sostenible* (2021). [Película]. Colombia.
- Distritos energético Colombia. (2020). *Distritos energético Colombia*. Obtenido de <https://www.distritoenergetico.com/que-son-los-distritos-termicos-y-para-que-sirven/>
- Ecuador tiene tarifas eléctricas más económicas que Colombia y Perú*. (30 de Julio de 2021). Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/ecuador-tiene-tarifas-electricas-mas-economicas-que-colombia-y-peru#:~:text=Las%20tarifas%20promedio%20de%20consumo,de%20todo%20el%20sector%20el%C3%A9ctrico>.
- ECUADOR VERIFICA. (4 de 10 de 2021). Obtenido de <https://ecuadorverifica.org/2021/08/04/un-grado-menos-del-aire-acondicionado-representa-10-mas-en-la-planilla-electrica/>
- Escobar, L. (2020). *Distritos Térmicos, una estrategia para mitigar el cambio climático*.

- Espindola, C., & Valderrama, J. (2011). *Huella del Carbono*.
- Euofins Envira. (2020). Obtenido de <https://envira.es/es/calculador-de-toneladas-de-co2/>
- Flechas, R. A. (2020). *EFEECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH*. Bogotá.
- Gomaig SL. (2021).
- Google Earth Pro. (2021). *Ubicación de la urbanización "Bosque de los Ceibos"*. Guayaquil.
- Invernadero, C. T. (2019). *Factor de Emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/factor_de_emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_-_informe_2019.pdf
- Johnson Controls . (2021). *Model YCIV Air-Cooled Screw Liquid Chillers with Variable Speed Drive Style A*.
- LG Electronics, Home appliance & Air solution company. (2021). *LG HVAC SOLUTION*.
- Martin Gomez, A. M., & Garcia de Vinuesa, A. (2014). *Distrito termico urbanos e industriales*.
- Mejia Gamarra, J. E. (2020). *Formulación de un Distrito de Enfriamiento, basado en el analisis de metodos para estimar la carga termica*. Piura.
- Nantes, E. A. (2019). *El metodo ANALYTIC HIERARCHY PROCESS para la toma de decisiones*.
- Ojea, L. (06 de 08 de 2018). *El uso del aire acondicionado triplica la demanda mundial de electricidad para 2050*.
- Orozco, M. (2019). *Distritos térmicos. guía metodológica*.
- Rodriguez, C. J., Sarría, B. L., & Fajardo, J. C. (2008). *Estudio comparativo del método de cálculo de carga térmica para sistemas de aire acondicionado en buques*. Cartagena.
- Sanguinett, E. (2021). *Efecto de los refrigerantes en el calentamiento atmosférico*.
- TRANE. (2021). *TRANE*. Obtenido de <https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en.html>
- Weather Spark. (2021). Obtenido de El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guayaquil: <https://es.weatherspark.com/>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Análisis de carga térmica del departamento 4 del edificio 1A considerado como el caso más crítico.

Tabla Apéndice. 1 Dimensiones del dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 1			
Pared	Longitud [m]	Altura [m]	Área [m2]
Norte	-	-	0
Este	3,5	3	10,5
Oeste	-	-	0
Sur	3,8	3	11,4
Techo	3,8	3,5	13,3
Piso	3,8	3,5	13,3
Ventana	2	1	2

Tabla Apéndice. 2. Dimensiones del dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 2			
Pared	Longitud [m]	Altura [m]	Área [m2]
Norte	-	-	0
Este	-	-	0
Oeste	3,2	3	9,6
Sur	3,18	3	9,54
Techo	3,18	3,2	10,176
Piso	3,18	3,2	10,176
Ventana	2,22	1	2,22

Tabla Apéndice. 3 Dimensiones del dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 3			
Pared	Longitud [m]	Altura [m]	Área [m2]
Norte			0
Este			0
Oeste	3,2	3	9,6
Sur			0
Techo	3,2	3,2	10,24
Piso	3,2	3,2	10,24
Ventana	1	1	1

Tabla Apéndice. 4 Dimensiones del Cocina [fuente: elaboración propia]

Cocina			
Pared	Longitud [m]	Altura [m]	Área [m2]
Norte			0
Este	2,27	3	6,81
Oeste			0
Sur			0
Techo	3,14	2,63	8,2582
Piso	3,14	2,63	8,2582
Ventana	1	1	1

Tabla Apéndice. 5 Dimensiones del Sala/Comedor [fuente: elaboración propia]

Sala/comedor			
Pared	Longitud [m]	Altura [m]	Área [m2]
Norte			0
Este	3,5	3	10,5
Oeste	4,5	3	13,5
Sur			0
Techo	7,47	4,84	36,1548
Piso	7,47	4,84	36,1548
Ventana	2	1	2

Tabla Apéndice. 6 Coeficientes de transferencia de calor Dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 1		Coeficiente de transferencia de calor			
Pared	Enlucido 1/c	Bloque 1/c	Enlucido 1/c	Rt	U=1/Rt
Norte	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Este	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Oeste	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Sur	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Techo	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279

Tabla Apéndice. 7 Coeficientes de transferencia de calor Dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 2		Coeficiente de transferencia de calor			
Pared	Enlucido 1/c	Bloque 1/c	Enlucido 1/c	Rt	U=1/Rt
Norte	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Este	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Oeste	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Sur	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Techo	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279

Tabla Apéndice. 8 Coeficientes de transferencia de calor Dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 3		Coeficiente de transferencia de calor			
Pared	Enlucido 1/c	Bloque 1/c	Enlucido 1/c	Rt	U=1/Rt
Norte	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Este	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Oeste	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Sur	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Techo	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279

Tabla Apéndice. 9 Coeficientes de transferencia de calor Cocina [fuente: elaboración propia]

Cocina		Coeficiente de transferencia de calor			
Pared	Enlucido 1/c	Bloque 1/c	Enlucido 1/c	Rt	U=1/Rt
Norte	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Este	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Oeste	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Sur	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Techo	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279

Tabla Apéndice. 10 Coeficientes de transferencia de calor Sala/ comedor [fuente: elaboración propia]

Sala / comedor		Coeficiente de transferencia de calor			
Pared	Enlucido 1/c	Bloque 1/c	Enlucido 1/c	Rt	U=1/Rt
Norte	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Este	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Oeste	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Sur	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279
Techo	0,15	1,85	0,15	2,15	0,465116279

Tabla Apéndice. 12 CLTD corregido del dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 1		To	48,895[°C]				
Pared	CLTD (15:00)	Lm	K	T int corr	T ext corr	F	CLTD corr
Norte	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Este	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Oeste	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Sur	33	-1	1	4,6	-36,105	1	0,495
Techo	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Piso	0	0	0	4,6	-36,105	0	0
Ventana	22	1	2	4,6	-36,105	0,35	5,07325

Tabla Apéndice. 32 CLTD corregido del dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 2		To	48,895[°C]				
Pared	CLTD (15:00)	Lm	K	T int corr	T ext corr	F	CLTD corr
Norte	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Este	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Oeste	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Sur	33	-1	1	4,6	-36,105	1	0,495
Techo	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Piso	0	0	0	4,6	-36,105	0	0
Ventana	22	1	2	4,6	-36,105	0,35	5,07325

Tabla Apéndice. 43 CLTD corregido del dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 3		To	48,895[°C]				
Pared	CLTD (15:00)	Lm	K	T int corr	T ext corr	F	CLTD corr
Norte	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Este	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Oeste	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Sur	33	-1	1	4,6	-36,105	1	0,495
Techo	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Piso	0	0	0	4,6	-36,105	0	0
Ventana	22	1	2	4,6	-36,105	0,35	5,07325

Tabla Apéndice. 54 CLTD corregido del cocina [fuente: elaboración propia]

Cocina		To	48,895[°C]				
Pared	CLTD (15:00)	LM	K	T int corr	T ext corr	f	CLTD corr
Norte	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Este	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Oeste	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Sur	33	-1	1	4,6	-36,105	1	0,495
Techo	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Piso	0	0	0	4,6	-36,105	0	0
Ventana	22	1	2	4,6	-36,105	0,35	5,07325

Tabla Apéndice. 65 CLTD corregido de la sala/comedor [fuente: elaboración propia]

Sala/comedor		To	48,895[°C]				
Pared	CLTD (15:00)	LM	K	T int corr	Text corr	f	CLTD corr
Norte	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Este	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Oeste	33	0	1	4,6	-36,105	1	1,495
Sur	33	-1	1	4,6	-36,105	1	0,495
Techo	33	1	1	4,6	-36,105	1	2,495
Piso	0	0	0	4,6	-36,105	0	0
Ventana	22	1	2	4,6	-36,105	0,35	5,07325

Tabla Apéndice. 76 transferencia de calor del dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 1				
Pared	U	A [ft2]	CLTD	q [BTU/H]
Norte	0,465116279	0	2,495	0
Este	0,465116279	113,022	1,495	78,58971628
Oeste	0,465116279	0	1,495	0
Sur	0,465116279	122,7096	0,495	28,25174512
Techo	0,465116279	143,1612	2,495	166,1335786
Piso	0	143,1612	0	0
Ventana	1,04	21,528	5,07325	113,585603
			q total	386,560643

Tabla Apéndice. 87 transferencia de calor del dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 2				
Pared	U	A [ft2]	CLTD	q [BTU/H]
Norte	0,465116279	0	2,495	0
Este	0,465116279	0	1,495	0
Oeste	0,465116279	103,3344	1,495	71,85345488
Sur	0,465116279	102,68856	0,495	23,64224986
Techo	0,465116279	109,534464	2,495	127,1109245
Piso	0	109,534464	0	0
Ventana	1,04	23,89608	5,07325	126,0800194
			q total	348,6866486

Tabla Apéndice. 98 transferencia de calor del dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 3				
Pared	U	A [ft2]	CLTD	q [BTU/H]
Norte	0,465116279	0	2,495	0
Este	0,465116279	0	1,495	0
Oeste	0,465116279	103,3344	1,495	71,85345488
Sur	0,465116279	0	0,495	0
Techo	0,465116279	110,22336	2,495	127,9103643
Piso	0	110,22336	0	0
Ventana	1,04	10,764	5,07325	56,79280152
			q total	256,5566207

Tabla Apéndice. 109 transferencia de calor del cocina [fuente: elaboración propia]

Cocina				
Pared	U	A [ft2]	CLTD	q [BTU/H]
Norte	0,465116279	0	2,495	0
Este	0,465116279	73,30284	1,495	50,97104456
Oeste	0,465116279	0	1,495	0
Sur	0,465116279	0	0,495	0
Techo	0,465116279	88,8912648	2,495	103,1552119
Piso	0	88,8912648	0	0
Ventana	1,04	10,764	5,07325	56,79280152
			q total	210,919058

Tabla Apéndice. 20 transferencia de calor de sala comedor [fuente: elaboración propia]

Sala/comedor				
Pared	U	A [ft2]	CLTD	q [BTU/H]
Norte	0,465116279	0	2,495	0
Este	0,465116279	113,022	1,495	78,58971628
Oeste	0,465116279	145,314	1,495	101,0439209
Sur	0,465116279	0	0,495	0
Techo	0,465116279	389,1702672	2,495	451,6185194
Piso	0	389,1702672	0	0
Ventana	1,04	21,528	5,07325	113,585603
			q total	744,8377596

Tabla Apéndice. 21 Carga por conducción del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga por conducción	
Espacio	q [BTU/H]
D1	386,560643
D2	348,6866486
D3	256,5566207
Cocina	210,919058
Sala	744,8377596
Carga Total	1947,56073

Tabla Apéndice. 22 Coeficiente de transferencia de calor del piso del departamento [fuente: elaboración propia]

Coeficiente de transferencia del piso	
Material	
R concreto	0,3464
R espacio del aire	0,61
R lamina de metal	0,47
R piso de cemento	0,06
R baldosa	0,05
Total	1,5364
U	0,650872169

Tabla Apéndice. 23 Carga de enfriamiento del piso del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga de enfriamiento en el piso				
Espacio	A [ft2]	U	TD	q [BTU/H]
D1	143,1612	0,650872169	14,76	1375,331497
D2	109,534464	0,650872169	14,76	1052,283708
D3	110,22336	0,650872169	14,76	1058,901844
Cocina	88,8912648	0,650872169	14,76	853,9671104
Sala	389,1702672	0,650872169	14,76	3738,70941
			Carga Total	8079,193574

Tabla Apéndice. 24 Voltios de iluminación del departamento [fuente: elaboración propia]

Vatios totales					
Espacio	Lamp. Inc.	Vatios	Lamp. Fluore.	Vatios	Total [w]
D1			1	40	40
D2			1	40	40
D3			1	40	40
Cocina			2	40	80
Sala			2	40	80

Tabla Apéndice. 25 Carga sensible por iluminación del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga sensible por luces						
Hora		Vatios	Ful	Fs	CLFel	q sensible [BTU/h]
D1	3,41	40	1	1,2	1	163,68
D2	3,41	40	1	1,2	1	163,68
D3	3,41	40	1	1,2	1	163,68
Cocina	3,41	80	1	1,2	1	327,36
Sala	3,41	80	1	1,2	1	327,36
					Carga total	1145,76

Tabla Apéndice. 26 Carga por radiación solar del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga por radiación solar					
Ventana	Área	SC	SHGFmax	CLF	q [BTU/h]
D1	21,528	0,85	30	0,77	422,70228
D2	23,89608	0,85	30	0,77	469,1995308
D3	10,764	0,85	30	0,77	211,35114
Sala /comedor	21,528	0,85	30	0,77	422,70228
Cocina	10,764	0,85	30	0,77	211,35114
				Carga total	1737,306371

Tabla Apéndice. 27 Carga térmica sensible por personas en el departamento [fuente: elaboración propia]

Carga sensible por personas				
Espacio	N° personas	Calor sensible	Clfp	q sensible [BTU/h]
D1	2	410	1	820
D2	2	410	1	820
D3	2	410	1	820
Cocina	2	410	1	820
Sala/comedor	5	410	1	2050
			Carga total	5330

Tabla Apéndice. 28 Carga térmica latente por personas en el departamento [fuente: elaboración propia]

Carga latente por personas			
Espacio	N° personas	Calor latente	q latente [Btu/h]
D1	2	390	780
D2	2	390	780
D3	2	390	780
COCINA	2	390	780
SALA/COMEDOR	5	390	1950
CARGA TOTAL			5070

Tabla Apéndice. 29 Carga térmica sensible por infiltración del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga sensible de infiltración					
	A ft2	v [ft/min]	% de reducción por apertura	SCFM	
D1	13,56	41,2126	75	139,710714	
D2	13,56	41,2126	75	139,710714	
D3	13,56	41,2126	75	139,710714	
Cocina	13,56	41,2126	75	139,710714	
Sala/comedor	13,56	41,2126	75	139,710714	
		delta T	Relación de apertura / hora	SCFM	q sensible [BTU/h]
D1	1,1	17,1	0,416666667	139,710714	1094,982721
D2	1,1	17,1	0,416666667	139,710714	1094,982721
D3	1,1	17,1	0,416666667	139,710714	1094,982721
Cocina	1,1	17,1	0,333333333	139,710714	875,9861768
Sala/comedor	1,1	17,1	0,208333333	139,710714	547,4913605
				Carga total	4708,4257

Tabla Apéndice. 30 Carga térmica latente por infiltración del departamento [fuente: elaboración propia]

Carga latente de infiltración					
	w dentro [lb aire seco/lb agua]	w fuera	delta w	SCFM	
D1	0,02	0,0087	0,0113	139,710714	
D2	0,02	0,0087	0,0113	139,710714	
D3	0,02	0,0087	0,0113	139,710714	
Cocina	0,02	0,0087	0,0113	139,710714	
Sala/comedor	0,02	0,0087	0,0113	139,710714	
		delta w	Relación de apertura / hora	SCFM	q Latente [BTU/h]
D1	4840	0,0113	0,416666667	139,710714	3183,774321
D2	4840	0,0113	0,416666667	139,710714	3183,774321
D3	4840	0,0113	0,416666667	139,710714	3183,774321
Cocina	4840	0,0113	0,333333333	139,710714	2547,019457
Sala/comedor	4840	0,0113	0,208333333	139,710714	1591,88716
				Carga total	13690,22958

Carga Térmica Por Equipos

Tabla Apéndice. 31 Carga sensible por equipos del dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Dormitorio 1					
Carga sensible de equipos					
Equipos	Cantidad	Cs	qt	CLF	q sensible [Btu/h]
Televisor	1	0,46	170,71	1	78,5266
laptop	1	0,16	201,43	1	32,2288
				Carga total	110,7554

Tabla Apéndice. 32 Carga latente por equipos del dormitorio 1 [fuente: elaboración propia]

Carga latente de equipos				
Equipos	Cantidad	Cl	ql	q Latente [BTU/h]
Televisor	1		0	0
laptop	1		0	0
			Carga total	0

Tabla Apéndice. 34 Carga sensible por equipos del dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Departamento 2					
Carga sensible de equipos					
Equipos	Cantidad	Cs	qt	CLF	q sensible [Btu/h]
Televisor	1	0,46	170,71	1	78,5266
laptop	1	0,16	201,43	1	32,2288
				Carga total	110,7554

Tabla Apéndice. 35 Carga latente por equipos del dormitorio 2 [fuente: elaboración propia]

Carga latente de equipos				
Equipos	Cantidad	Cl	ql	q Latente [BTU/h]
Televisor	1		0	0
laptop	1		0	0
			Carga total	0

Tabla Apéndice. 36 Carga sensible por equipos del dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Departamento 3					
Carga sensible de equipos					
Equipos	Cantidad	Cs	qt	CLF	q sensible [Btu/h]
Televisor	1	0,46	170,71	1	78,5266
laptop	1	0,16	201,43	1	32,2288
				Carga total	110,7554

Tabla Apéndice. 37 Carga latente por equipos del dormitorio 3 [fuente: elaboración propia]

Carga latente de equipos				
Equipos	Cantidad	CI	ql	q Latente [BTU/h]
Televisor	1			0
laptop	1			0
			Carga total	0

Tabla Apéndice. 38 Carga sensible por equipos de la cocina [fuente: elaboración propia]

Cocina					
Carga sensible de equipos					
Equipos	Cantidad	Cs	qt	CLF	q sensible [Btu/h]
cocina	1	0,41	4700	1	1927
refrigeradora	1	0,25	1365,65	1	341,4125
cafetera	1	0,09	1314,44	1	118,2996
microondas	1	1,39	3200	1	4448
olla arrocera	1	0,05	350	1	17,5
				Carga total	6852,2121

Tabla Apéndice. 39 Carga latente por equipos de la cocina [fuente: elaboración propia]

Carga latente de equipos				
Equipos	Cantidad	CI	ql	q Latente [BTU/h]
cocina	1	0,41	2600	1066
refrigeradora	1	0,25	0	0
cafetera	1	0,09	0	0
microondas	1	1,39	3400	4726
olla arrocera	1	0,05	200	10
			Carga total	5802

Tabla Apéndice. 40 Carga sensible por equipos de la sala/comedor [fuente: elaboración propia]

Sala/comedor					
Carga sensible de equipos					
Equipos	Cantidad	Cs	qt	CLF	q sensible [Btu/h]
televisor	1	0,46	170,71	1	78,5266
laptop	3	0,16	201,43	1	96,6864
impresora	1	0,2	228,75	1	45,75
				Carga total	220,963

Tabla Apéndice. 411 Carga latente por equipos de la sala/comedor [fuente: elaboración propia]

Carga latente de equipos				
Equipos	Cantidad	CI	ql	q Latente [BTU/h]
televisor	1		0	0
laptop	3		0	0
			Carga total	0

Tabla Apéndice. 42 Condiciones iniciales de deshumidificación del departamento

[fuente: elaboración propia]

Condiciones iniciales			
	Pto. Inicial	Pto. De Roció	Pto. Final
Temperatura[°C]	88,16	80	73,4
HR	78		50
w1	0,023		0,01254
h1	46,2	43,5	31,36
v1	14,3		

Tabla Apéndice. 43 Carga térmica por proceso de deshumidificación [fuente:

elaboración propia]

Carga por proceso de deshumidificación			
	ma	mw	q sal
Carga por espacio	2,097902098	0,021944056	32,08743357

Tabla Apéndice. 44 Análisis de cargas del departamento 1 [fuente: elaboración propia]

CARGA TOTAL DEL DEPARTAMENTO						
	D1	D2	D3	Cocina	Sala/ Comedor	Carga total
q Paredes [Btu/h]	106,8414614	95,49570474	71,85345488	50,97104456	179,6336372	504,7953028
q Techo [Btu/h]	166,1335786	127,1109245	127,9103643	103,1552119	451,6185194	975,9285987
q Ventana [Btu/h]	113,585603	126,0800194	56,79280152	56,79280152	113,585603	466,8368285
q Piso [Btu/h]	1375,331497	1052,283708	1058,901844	853,9671104	3738,709414	8079,193574
q Radiación [Btu/h]	422,70228	469,1995308	211,35114	211,35114	422,70228	1737,306371
q Iluminación [Btu/h]	163,68	163,68	163,68	327,36	327,36	1145,76
q_s Personas [Btu/h]	820	820	820	820	2050	5330
q_l Personas [Btu/h]	780	780	780	780	1950	5070
q_s Equipos [Btu/h]	110,7554	110,7554	110,7554	6852,2121	220,9600	7405,4413
q_l Equipos [Btu/h]	0	0	0	5802	0	5802
q_s Infiltración [BTU/H]	1094,982721	1094,982721	1094,982721	875,9861768	547,4913605	4708,4257
q_l Infiltración [Btu/h]	3183,774321	3183,774321	3183,774321	2547,019457	1591,88716	13690,22958
q deshumidificación [Btu/h]	32,08743357	32,08743357	32,08743357	32,08743357	32,08743357	160,4371678
Carga total de departamento [Btu/h]	8369,874295	8055,449763	7712,08948	19312,90248	11626,03841	55076,35442

Tabla Apéndice. 45 Carga total del edificio [fuente: elaboración propia]

Carga total por piso del edificio					
	# Dep. Con techo	Carga [Btu/h]	# dep. Sin techo	Carga [Btu/h]	Carga total [Btu/h]
Piso 1	0	55076,35442	2	54100,42582	108201
Piso 2	0	55076,35442	2	54100,42582	108201
Piso 3	0	55076,35442	2	54100,42582	108201
Piso 4	2	55076,35442	0	54100,42582	110153
				carga total	434755
				TR	36,22960532

Tabla Apéndice. 46 Flujo masico y caudal del edificio [fuente: elaboración propia]

	Twh [°C]	Twc [°C]	Cp agua [J/kg k]	Flujo masico agua [kg/h]	Caudal [m3/s]	[CFM]	[l/h]
D1	12	7	4186	0,11801302	0,00011825	0,250556782	425,6984784
D2				0,11403878	0,00011426	0,242118972	411,3625546
D3				0,10909086	0,00010930	0,231613891	393,514317
Cocina				0,27623051	0,00027678	0,586472817	996,4231812
Sala/ Comedor				0,15648459	0,00015679	0,332236854	564,4737369
Departamento				0,77385778	0,00077540	1,642999316	2791,472268
Piso 1				1,55567920	0,00155879	3,302906466	5611,671116
Edificio				6,25078003	0,00626330	13,27120767	22547,91454

APÉNDICE B

Análisis de pérdida de presión de la tubería principal en la urbanización

Tabla Apéndice. 47 análisis de tubería tramo 1 [fuente: elaboración propia]

Nudo	Cota	Consumo [l/s]	Presión [m.c.a.]	Altura piezométrica [m]	Longitud [m]	Sum. Longitud [m]	Pendiente	H long	Hb bomba teórica [m]
2	68.5	141.38	25	93.5	10	10	0.050	0.500	25.500
19	74.077	81.72	25	99.077	53.09	63.09	0.105	6.627	37.204
20	75.608	20.922	25	100.608	21.87	84.96	0.070	5.948	38.056
21	77.17	20.922	25	102.17	18.51	103.47	0.084	8.732	42.402
23	78.87	10.461	25	103.87	45.13	148.6	0.038	5.598	40.968

Tabla Apéndice. 48 análisis de tubería tramo 2 [fuente: elaboración propia]

Nudo	Cota	Consumo [l/s]	Presión [m.c.a.]	Altura piezométrica [m]	Longitud [m]	Sum. Longitud [m]	Pendiente	H long	Hb bomba teórica [m]
25	78.6	60.80	25	103.6	64.46	127.55	0.070	8.950	44.050
26	81.59	24.30	25	106.59	41.55	169.1	0.072	12.169	50.259
28	82.57	18.30	25	107.57	10.47	179.57	0.094	16.808	55.878
30	83.34	12.20	25	108.34	27.92	207.49	0.028	5.722	45.562
32	83.56	6.10	25	108.56	10.4	217.89	0.021	4.609	44.669

Tabla Apéndice. 49 análisis de tubería tramo 3 [fuente: elaboración propia]

Nudo	Cota	Consumo [l/s]	Presión [m.c.a.]	Altura piezométrica [m]	Longitud [m]	Sum. Longitud [m]	Pendiente	H long	Hb bomba teórica [m]
35	78.6	36.50	25	103.6	22.26	149.81	0.010	1.498	36.598
37	78.648	30.50	25	103.648	4.05	153.86	0.012	1.824	36.972
39	79.1	24.40	25	104.1	37.15	191.01	0.012	2.324	37.924
41	79.14	18.30	25	104.14	4.66	195.67	0.009	1.680	37.320
43	79.45	12.20	25	104.45	36.56	232.23	0.008	1.969	37.919
45	79.54	6.10	25	104.54	6.3	197.31	0.070	13.780	49.820

Tabla Apéndice. 50 análisis de tubería tramo 4 [fuente: elaboración propia]

Nudo	Cota	Consumo [l/s]	Presión [m.c.a.]	Altura piezométrica [m]	Longitud [m]	Sum. Longitud [m]	Pendiente	H long	Hb bomba teórica [m]
3	70.121	59.66	25	95.121	65.06	75.06	0.025	1.870	28.491
4	70.41	49.99	25	95.41	11.61	86.67	0.025	2.157	29.067
5	71.27	43.86	25	96.27	38.17	124.84	0.010	1.248	29.018
6	71.47	37.73	25	96.47	10.04	134.88	0.020	2.687	30.657
11	72.06	28.06	25	97.06	29.67	164.55	0.020	3.272	31.832
12	73.217	21.93	25	98.217	30.55	195.1	0.038	7.389	37.106
13	73.5	12.25	25	98.5	7.51	202.61	0.038	7.635	37.635
16	74	6.13	25	99	37.41	201.96	0.052	10.473	40.973

APÉNDICE C

Análisis financiero del distrito térmico

Tabla Apéndice. 51 análisis de financiero del distrito térmico [fuente: elaboración propia]

TMAR	23.7%						
Inversión total	300975						
		2022	2023	2024	2025	2026	2027
Año		1	2	3	4	5	6
Utilidad		105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
Flujo		105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
Flujo neto	-300975	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
VA		85401.7333	69432.3035	56449.02724	45893.51808	37311.80332	30334.79944
Retorno acumulado			154834.0368	211283.064	257176.5821	294488.3854	324823.1849

2028	2029	2030	2031
7	8	9	10
105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
105044.132	105044.132	105044.132	105044.132
24662.43857	20050.76307	16301.43339	13253.19788
349485.6234	369536.3865	385837.8199	399091.0178

APÉNDICE D

Encuesta

Encuesta de Materia Integradora

La presente encuesta tiene como objetivo obtener información acerca del uso de aires acondicionados en domicilios en la ciudad de Guayaquil, datos que servirá para implementar el diseño de un distrito térmico.

¿En que parte de Guayaquil usted reside? *

Texto de respuesta breve

¿Su hogar cuenta con aire acondicionado? *

- Sí
- No

¿Cuántos aires acondicionado dispone? *

Texto de respuesta breve

¿En qué horarios su familia utiliza con más frecuencia el aire acondicionado ? *

- 8:00 am a 12:00 pm
- 12:00 pm a 17:00 pm
- 17:00 pm a 22:00 pm
- 22:00 pm a 8:00 am

