

Solución energética para ciudades sostenibles: Distrito térmico La Babilla del Malecón (Barranquilla)ⁱ

Energy solution for sustainable cities: La Babilla del Malecón (Barranquilla) District Cooling System

Camilo Andrés Arias Henao¹ <https://orcid.org/0000-0002-8846-2984>

Lisseth Milena Cruz Ruiz² <https://orcid.org/0000-0002-2351-7665>

Yisselle Indira Acuña Hereira³ <https://orcid.org/0000-0002-1658-4026>

Germán Arturo López Martínez⁴ <https://orcid.org/0000-0003-3280-9026>

Fecha de recepción: 30 de septiembre de 2021

Fecha de aprobación: 3 de marzo de 2022

Resumen

En Colombia se proponen estrategias para la transición energética que hacen énfasis en el uso de fuentes de energía renovables y la sostenibilidad. En este marco, se encuentran los distritos térmicos, sistemas de generación de energía térmica centralizada (principalmente de frío) que permiten el aprovechamiento de Fuentes de Energías Renovable No Convencionales (FERNC) en los centros urbanos. El Distrito Térmico La Babilla del Malecón, en la ciudad de Barranquilla, es una propuesta de proyecto de ocho fábricas de frío independientes –energizadas con energía solar y biomasa–, compuestas cada una por un tanque de almacenamiento de agua fría que alimenta equipos individuales tipo *fan coil*, los cuales enfrían un conjunto de viviendas y áreas de ocupación terciaria. Cronológicamente, para el diseño de este distrito término se consideraron los siguientes aspectos: la demanda de energía por parte de los usuarios, la selección de equipos de refrigeración central tipo chiller (de absorción y compresión), una turbina de generación eléctrica, las torres de refrigeración y tanques de almacenamiento energético para estabilidad del servicio; por último, se dimensionó el sistema de bombeo dentro de la planta hasta la entrada de las edificaciones.

Palabras clave: Refrigeración, energía térmica, energías renovables.

Abstract

In Colombia, strategies for the energy transition are proposed that emphasize the use of renewable energy sources and sustainability. In this framework, there are thermal districts, centralized thermal energy generation systems (mainly cold) that allow the use of Non-Conventional Renewable Energy Sources (FERNC) in urban centers. The Thermal District, the Babilla del Malecón, in the city of Barranquilla, is a proposed project of eight independent cold factories energized with solar energy and biomass, each composed of a cold water storage tank that feeds individual fan coil equipment, which cools a set of homes and areas of tertiary occupation. Chronologically, for the design of this term district, the following aspects were considered: the demand for energy by users, the selection of chiller type central cooling equipment (absorption and vapor compression) a power generation

¹ Ingeniero Mecánico y Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes. Diplomado en Edumática, Universidad Autónoma. Especialista en Bioingeniería, Universidad Distrital F.J.C. Experto Universitario en Certificación Energética de la Edificación, Universidad de Sevilla (España). Doctor en Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla (España).

* Autor para correspondencia: Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia, camiloariashenao@gmail.com

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Servicio Nacional de Aprendizaje. limacruz24@gmail.com

³ Ingeniera Mecánica – Magister en Ingeniería Mecánica. Proyecto Curricular de Mecánica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. yacuna@udistrital.edu.co

⁴ Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica, candidato a Doctor en Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. germanlopezm@yahoo.es

turbine, cooling towers and energy storage tanks for service stability; finally, the pumping system was dimensioned within the plant to the entrance of the buildings.

Keywords: *Refrigeration, thermal energy, renewable energies.*

Citar como:

Arias, C. A., Cruz, L. M., Acuña, Y. I. y López, G. A. (2022). Solución Energética para Ciudades Sostenibles: Distrito Térmico la Babilla del Malecón (Barranquilla). *Letras ConCiencia Tecnológica*. (19), 5-13. <https://doi.org/10.55411/26652544.228>

1. Introducción

Los distritos térmicos son modelos de sistemas de generación de energía térmica centralizada que permiten el suministro de varios servicios energéticos como, el reemplazo de viejos equipos de climatización, la descarbonización de las ciudades, la implementación de fuentes de energías alternativas no convencionales en los grandes centros urbanos, la reducción de las emisiones de Sustancias Agotadoras de la capa de Ozono (SAO) y Gases de Efecto Invernadero (GEI), así como la disminución del riesgo de liberar refrigerantes tóxicos al medio ambiente (ASHRAE, 2013).

Con base en el proyecto Gran Malecón, en la isla La Loma, en Barranquilla, y como parte del Primer Concurso Universitario de Distritos Térmicos realizado en el 2019, se conceptuó una solución técnica de refrigeración centralizada: el Distrito Térmico La Babilla del Malecón, que es un conjunto de ocho fábricas de frío integradas, cada una por un tanque de almacenamiento de agua fría desde donde se reparte a demandas agrupadas. Cada uno de los ocho tanques se complementa con bloques de chiller en paralelo, compuestos por uno de absorción y uno o dos de compresión de vapor centrífugos. Para la disipación de calor generado por estos sistemas, se usan en serie torres de refrigeración e intercambiadores de calor, usando agua del río Magdalena (Proyecto Distritos Térmicos Colombia, 2019).

Se encuentra que el total de la demanda reportada por estudios fuentes (87,000 TR), cubre el 20%

(16,000 TR) con energía solar dirigida a los chiller de absorción, y el otro 80% (71,000 TR), con energía eléctrica de un ciclo de trigeneración de turbina de gas, turbina de vapor y recuperación de calor que alimentan los chiller centrífugos. Se obtiene un Coeficiente de Rendimiento (COP) global de 4.1, que incluye el tratamiento de residuos sólidos urbanos de la isla y tres series de 8,400 paneles solares térmicos en el centro del proyecto (Figura 1y2).

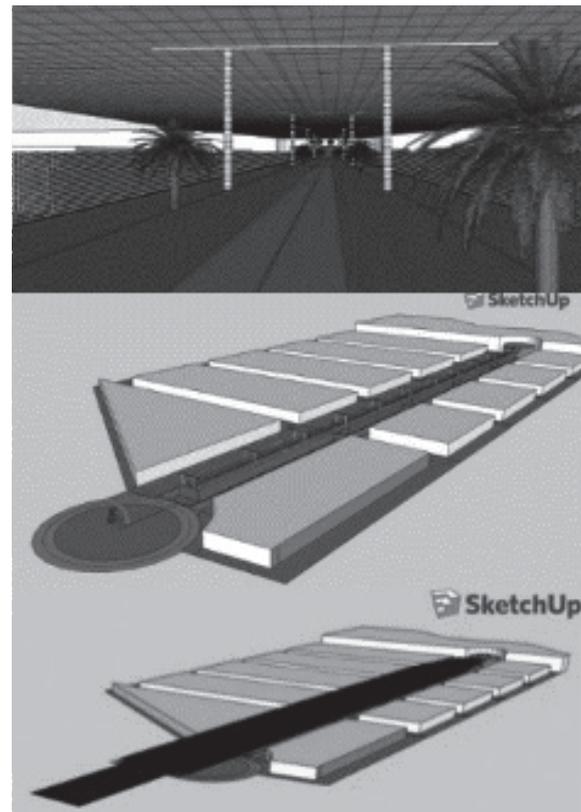


Figura 1. P&D Render

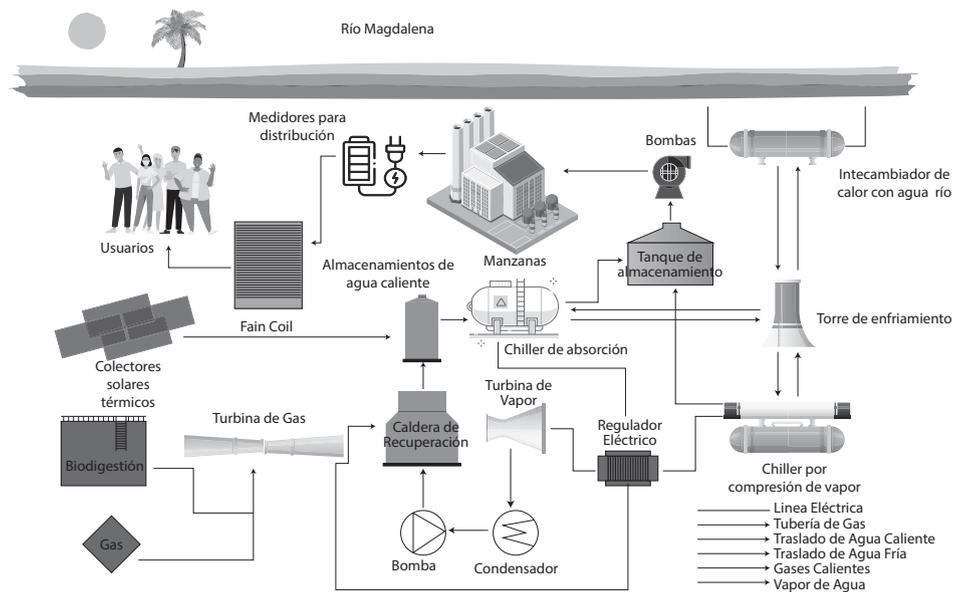


Figura 2. P&D Distrito Térmico La Babilla del Malecón

2. Metodología

Para lograr la conceptualización de ese distrito térmico de frío, se inició con la demanda de refrigeración del sitio, su uso previsto y áreas útiles, los datos suministrados por la convocatoria de un estudio previo.

Posteriormente, se determina lo concerniente al sistema de agua fría como refrigerante, el cual es conducido a través de circuitos de tuberías y llevado hasta los *fan coils* individuales (intercambiadores de calor agua fría – aire de espacio). Para esto, se proyectó el uso de dos referencias, ambos de marca Daikin, un FWB-08BT para las viviendas (que cubren un área de 44 m²) y otro FWD-18AF para las áreas comerciales (que cubren un área de 78 m²).

Luego, se estimó el área cubierta por equipo mediante una comparación directa en cuanto a la energía de frío generada con las especificaciones

de los sistemas minisplit (aire acondicionado de techo). Como se mencionó, la convocatoria entregó en su momento un estudio del requerimiento energético aproximado para el proyecto de la isla, teniendo en cuenta la tipología de las viviendas y los servicios de ocupación.

El siguiente proyecto consta de 24 manzanas, cuatro de ellas destinadas a uso mixto (centros comerciales o zonas comunes, un hotel, el edificio central de la Alcaldía), y las demás manzanas corresponden a edificios residenciales. Por lo tanto, se proveerán datos sobre el área útil, el área máxima de ocupación y el número de unidades de vivienda, con lo que se calcula la demanda de energía que se debe retirar por unidad de área en . Con ello, se obtiene el número de equipos tipo fan coil; y finalmente, teniendo en cuenta una guía de potencias de consumo por para sistemas minisplit, se determina el caudal aproximado por manzana (Tabla 1 y 2) (Daikin, 2019).

Tabla 1.

Potencias por m² para sistemas minisplit aproximado a fan coil

m2	BTU residencial	BTUcomercial
9	7000	7000
12	7000	9000
15	9000	12000
20	12000	16000
25	15000	20000
30	18000	24000
35	21000	28000
40	24000	32000
44	25830	FWB-08BT
45	27000	36000
50	30000	40000
60	36000	48000
70	42000	56000
78	FWD-18AF	62441

Tabla de potencia fan coil

Tabla 2.

Demanda total del sistema por tipo de ocupación

Espacio	Demanda de energía a retirar	Unidad
Total, residencial	146429	TR
Total, Hotel	10538	TR
Total, Uso Mixto	43357	TR
Total, alcaldía	18577	TR
Total, Terciario	72472	TR
#Unidades de vivienda	19401,96	Viviendas
#Personas residencial	77607,84	personas
Velocidad por la tubería	2,00	m/s

8

Debido a como se observa en la tabla 2, las demandas de frío (energía térmica a retirar por el sistema) son altas y los caudales exigidos por todo el sistema requieren tuberías con gran diámetro, longitud y un aislamiento especial para evitar pérdidas a medida que se aleja el agua de la central, se optó por repartir la demanda total entre ocho fábricas de frío independientes, calculando el caudal requerido en m³/s por cada una de las ocho fábricas y su tanque de almacenamiento de agua fría (Ecuación 1).

$$Q=V \cdot A \quad (1)$$

Donde Q, es el caudal; V (m/s), es la velocidad del agua por las tuberías; y A (m²), es el área transversal de la sección de la tubería. Esta tubería es escalonada, pues va reduciendo su diámetro conforme se va acercando a las unidades de vivienda, con el fin de mantener la presión del fluido y asegurar un caudal constante.

El sistema de distribución de agua fría se dividió en dos elementos principales: (a) Red de distribu-

ción de agua fría hacia estaciones de transferencia; y (b) Red de distribución de agua de chillers hacia el tanque de almacenamiento de frío.

Para cada una de las ocho fábricas de agua fría, se cuenta con un tanque de 216 m³ con su correspondiente sistema de bombeo y distribución, diseñado para una demanda pico de caudal de 2

m³/s, en promedio. La red principal de tuberías va enterrada y consta de una línea de suministro de agua fría que va desde el tanque de almacenamiento de frío hacia las estaciones de transferencia de cada manzana, y una línea de retorno de agua caliente hacia el tanque, cerrando el circuito (Figura 3).

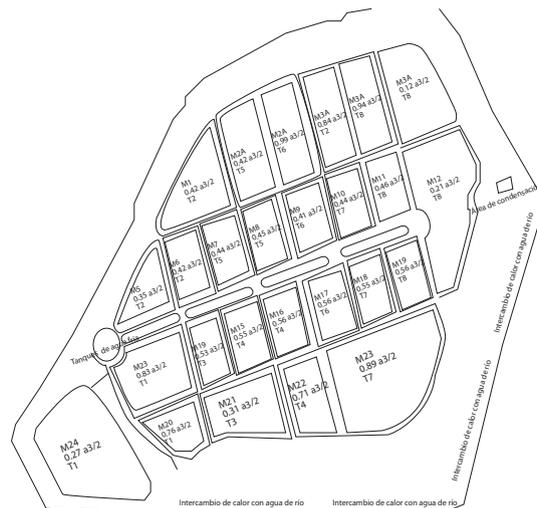


Figura 3. Vista de la isla y sitio de instalación Distrito Térmico La Babilla del Malecón

Se propone el uso de tuberías preaisladas. Los diámetros se definieron teniendo en cuenta lo estipulado por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), quienes recomiendan que el valor de la velocidad del agua por las tuberías de distribución oscile entre 1.8 - 2.2 m/s (Odelya, 2019). Cada sistema de bombeo consta de dos bombas trabajando en paralelo, lo cual permite atender la demanda máxima. Por lo que se requieren bombas de alta capacidad, baja cabeza, y especialmente, con alta eficiencia para optimizar el consumo de potencia.

En el circuito, desde el chiller hacia los tanques, se escoge la opción de bombeo centralizado con bombas de velocidad variable, conectadas a un cabezal común aguas arriba de los chillers. Con este tipo de arreglos se obtienen ventajas en la reducción de costos de operación y la posibilidad

de mantener el flujo constante a través de los chillers a pesar de la variación de la carga, lo cual permitirá optimizar el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

Para los tanques 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, cada fábrica de frío tiene un chiller de absorción para la carga base, y dos chillers de compresión de vapor tipo centrífugo; para el tanque ocho, se tiene uno de absorción y uno de compresión. En todo el sistema hay un total de ocho chillers de absorción y 15 chillers centrífugos.

Las ocho unidades de generación de agua fría por absorción son de 2,000TR, referencia YHAU-CL 2000EXW4S de York de doble efecto, cada una con un COP nominal de 0.79, las cuales cubren 16,000 TR totales correspondientes a un 18% de la demanda total de 87,000TR (Figura 4) (York, 2019).

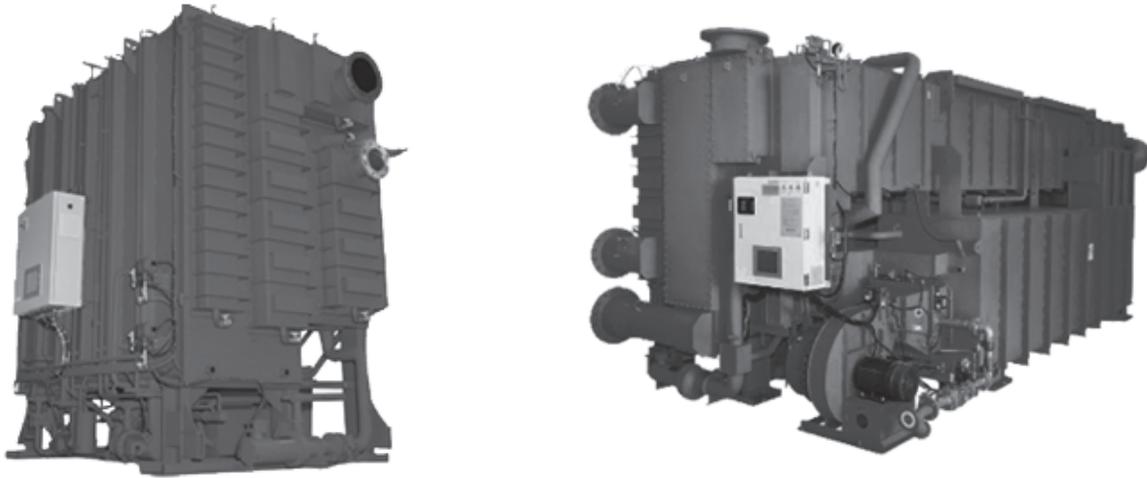


Figura 4. Chiller de absorción York Tipo de enfriamiento de agua que permite el funcionamiento del período de refrigeración sin compreso. Tomado de Catálogo York single, Effect Hot Water Absorption Chiller (s. f.)

Para cubrir la demanda de energía térmica de los chillers de absorción, se necesitarían entre 262 a 4,300 paneles de 2.4 m² por cada chiller dependiendo del porcentaje de carga variable del equipo, al 100% en total serían 34,400 paneles térmicos

correspondientes a 82,560 m². Debido al gran área, en caso de ser requerido, el calor adicional debe aportarse con calentadores adicionales solo en los puntos críticos (Tabla 3).

Tabla 3.

Cálculos de energía en forma de calor para el chiller de absorción

% Carga	20%	40%	60%	70%	100%
COP	0,71	0,76	0,78	0,79	0,77
TR de frío	400	800	1200	1400	2000
PotCalorReq. (TR)	563,4	1052,6	1538,5	1772,2	2597,4
PotCalorReq. (kW)	1981,3	3701,9	5410,5	6232,4	9134,7
Calor aportado TG (kW)	1522	1522	1522	1522	1522
Calor aportado solar (kW)	459,3	2179,9	3888,5	4710,4	7612,7
Irradiación promedio (kW/m ²)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Eficiencia óptica panel	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Área de panel (m ²)	627	2980	5315	6439	10406
#Paneles	262	1242	2215	2683	4336
Área limite (m ²)	5950	5950	5950	5950	5950
#Paneles	2479	2479	2479	2479	2479
Potencia solar aportada (kW)	1813,5	1813,5	1813,5	1813,5	1813,5
Potencia complementaria (kW)	-1354,2	366,4	2075,0	2896,9	5799,2

Los paneles que se proponen para el proyecto son de placa plana con una eficiencia óptica de 0.77 en condiciones nominales, pero que se reduce a 0.5 en condiciones de operación. Se estima el

ordenamiento de estos en serie y paralelo, donde con una irradiación media de 900 W/m², se espera que, con cuatro líneas en serie de 8,600 paneles, se logren temperaturas de 98° C y flujo

másico total en el banco de paneles de 258kg/s (0.03kg/s por panel).

Para cubrir las 71,000 TR restantes, se plantea usar chillers de compresión de vapor tipo centrífugo que son los de más alto COP (ASHRAE, 2013) con valores mayores a 7. Los chiller selecciona-

dos son marca York, con capacidad de 3,500 TR y 7,200 TR de la serie YKEP. (York, 2019) los cuales demandarán 42 MW evaluando a condiciones de operación con COP global entre 6 y 11 (3,5168/ECWT). Las condiciones de operación de las fábricas de frío se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Distribución de chillers en cada una de las fábricas de frío

Fábrica para el tanque #	TR demandada	Número de chiller de absorción	TR aportadas por la absorción	Número de chiller centrífugo (7200+3500)	TR aportadas por el centrifugado
1	11141	1	2000	1+1	10700
2	11688	1	2000	1+1	10700
3	10980	1	2000	1+1	10700
4	10877	1	2000	1+1	10700
5	11351	1	2000	1+1	10700
6	11425	1	2000	1+1	10700
7	12603	1	2000	1+1	10700
8	8293	1	2000	1+0	9200

Para alimentar los chillers de compresión de vapor, se plantea un ciclo de combinado, usando en la primera etapa, una turbina de gas, cuyos gases resultantes pasarán por una caldera de recuperación, para formar vapor para alimentar una turbina de vapor como segunda etapa. Además, los gases de salida de esta última etapa ayudarán a calentar el agua de alimentación para el chiller de absorción completando así el ciclo de trigeneración (Simens, 2016).

Adicional al gas natural de línea de distribución domiciliaria, se pretende usar los residuos orgánicos separados en la fuente por los residentes de la zona para generar biogás. El 15% del papel y el cartón (servilletas, y material contaminado con comidas) no es reciclable, y el 40% de los residuos de jardín (hojas y ramas pequeñas), y todos los residuos de comida, conforman la materia orgánica que se va a aprovechar para transformarla en biogás, del que se proyecta un potencial de 4.8 KW (López, 2011).

En el proyecto La Babilla del Malecón se usan nueve tanques de almacenamiento, de los cuales

ocho son fríos y uno es de agua caliente; el objeto de estos es servir como punto de recolección de flujos energéticos. Se usarán tanques de frío de serpentín interior, por los que circulará el agua entre 5° C a 7° C; requieren entre 2 a 13 minutos para adecuar el fluido de impulsión, el cual retorna entre los 12 y 15° C. Los tanques de agua caliente reciben los caudales de los paneles solares térmicos y los gases calientes resultantes de la caldera de recuperación, permiten una autonomía de 14 minutos.

Se proponen dos sistemas de condensación de los ciclos de generación de potencia, el primero, corresponde a torres de refrigeración que, mediante refrigeración evaporativa, disipan calor a la atmósfera. El segundo, son intercambiadores de calor de banco y tubos que intercambian calor con el agua del río Magdalena (Baltimore Air Coil, 2005).

Con respecto a la torre de refrigeración, se seleccionó una con capacidad de disipación entre 171 a 1,446 TR, cálculo que tuvo en cuenta el valor de

la humedad relativa del ambiente del alrededor de 80% para la ciudad de Barranquilla.

Para soportar la disipación de calor de las torres de refrigeración, se propone como soporte en disposición en serie, intercambiadores de calor de banco y tubos tipo Aalborg MP-C de Alfa Laval, los cuales pueden disipar hasta 2,000 kW de potencia en forma de calor.

3. Resultados

La evaluación de la propuesta descrita en la metodología da como resultado principal un coeficiente de desempeño global de 4.2 (incluyendo chillers y periféricos), el cual se fortalece con las mejoras urbanas que implica la construcción de las fábricas en el corazón del proyecto (Tabla 5).

Tabla 5.

Cálculo de coeficiente de desempeño global para las fábricas de frío

Característica energética de la propuesta Babilla del Malecón.	Valor
Potencia necesaria gas (kW)	72447
Potencia Biogás (kW)	4.8
Eficiencia de la TG (%)	34,2%
Potencia de la TG (kW)	24777
Potencia generada ST (kW)	23325
Pot. frío (TR)	87000
Pot. frío (kW)	305962
E solar (kW)	14508
COP global [Frío (kW) /P. gas consumo. (kW)]	4,2

4. Discusión

Los distritos térmicos son una posibilidad real de suministrar agua fría o caliente para acondicionamiento de aire en Colombia, generando oportunidades de perfeccionamiento con el tiempo con condiciones de operación superiores a las de cualquier sistema comercial domiciliario, resultando en un mejor uso energético con una disminución del impacto ambiental.

Cabe resaltar que a pesar de que la demanda del proyecto es alta, proponer la repartición de las cargas en ocho fábricas de frío independientes, pero aun así conectadas entre sí, supuso un alivio para todos los equipos y para el circuito de tuberías, además de elevar la confiabilidad del sistema. Resultando en un modelo modular que da la posibilidad de ampliar la cobertura.

5. Conclusiones

Con base en el proyecto “Gran Malecón de Barranquilla” y como respuesta al Primer Concurso

Universitario de Distritos Térmicos, se propuso una solución técnica conceptual de climatización urbana mediante el Distrito Térmico La Babilla del Malecón para la zona de La Loma, en la ciudad de Barranquilla, la cual incorpora un ciclo de trigeración con gas natural de línea, energía solar térmica y energía mediante biogás para la generación de frío con un COP global de 4.2 usando 14MW de potencia solar térmica y 7 kW de biogás. Acoplados a un desarrollo urbanístico y no de manera aislada del mismo.

Se logró la incorporación de fuentes de energías no convencionales para cubrir el 20% de la demanda total del proyecto, además de proponer el distrito térmico como eje estético del proyecto del Gran Malecón. Se hizo uso de diversos equipos, cada uno con datos relevantes de su comportamiento que permiten simular en estado transitorio el montaje, su funcionalidad y variabilidad a través del tiempo teniendo en cuenta los cambios ambientales que puedan tener impactos considerables.

6. Referencias

- ASHRAE. (2013). *District Cooling Guide*. ISBN 978-1-936504-42-8.
- Baltimore Air Coil. (2005). *Product & Application Handbook*. (Vol. 1). <https://es.scribd.com/document/168909012/BAC-Product-Application-Handbook-Vol-1-2005>.
- Daikin. (2019). *Catálogo Unidades Fan Coil*. https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwbbt/Fan%20coil%20catalogue_EPCE08-406_Catalogues_Spanish.pdf
- López, G. (ed.). (2011). *Producción de Biogás a partir de RSU, Determinación de la cantidad, calidad y tiempo*. Editorial Universidad Distrital. ISBN: 978-958-8723-24-2.
- Odelya. (2019). *Piping Project Materials*, Catálogo de marca. <https://odelya.com/assets/uploads/files/Odelya-Piping-Project-Materials.pdf>
- Proyecto Distritos Térmicos Colombia. (2019). Primer Concurso Universitario de Distritos Térmicos en Colombia. <https://www.distritoenergetico.com/primer-concurso-universitario-de-distritos-termicos-en-colombia/>
- Siemens. (2016). *Turbina de gas SGT-600. Para la generación de energía y aplicaciones accionamiento mecánico*. Catálogo de marca. <https://assets.siemensenergy.com/siemens/assets/api/uuid:80373567-7dea-45ac-8f79-e140fb9a9116/pgdg-t10012-007600factsheetsgt-600300dpi.pdf>
- York. (s. f.). *Catálogo Single Effect Hot Water Absorption Chiller*. [Catálogo] Form 155. 30 EG.EN. CE/GB (1118). (2019) https://www.york.com/commercial-equipment/chillewater-systems/absorption-chillers/yhau_cl_ch_ch/yhau-cl-ch-single-effect-hot-waterabsorption-chiller

Notas:

i Artículo de investigación

