

Análisis y simulación energética de un sistema de trigeneración para un edificio en Brasil con DesignBuilder

Lázaro-Alvarado AF.¹, Gonzalez-Carmona MA.² , Martinez-Palmet L.H.,³ J.C.C. Dutra¹

¹Universidad Federal de Pernambuco, Recife (PE)- Brasil, andres.lazaro@ufpe.br

²Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, mariaa.gonzalezcc@unad.edu.co

³Universidad Sur Colombiana USCO, luis.martinez@usco.edu.co

Resumen

En el presente trabajo se ha realizado un análisis paramétrico empleando los datos relacionados con las ganancias internas por ocupación, equipos e iluminación. Los cerramientos del modelo base de simulación han sido configurados de acuerdo con las especificaciones del código técnico de edificación CTE. En la simulación realizada, los sistemas de climatización han sido modelados mediante la opción de HVAC simple de DesignBuilder, que emplea el objeto “Ideal Load Air System” de DesignBuilder. El sistema se puede asumir de capacidad ilimitada y de respuesta inmediata, y resulta muy adecuado para evaluar mejoras en las características arquitectónicas de los edificios, de acuerdo con la documentación de DesignBuilder [1]. Para determinar el consumo energético de los sistemas de climatización y calefacción en DesignBuilder, con la opción de HVAC simple, las cargas de los sistemas se multiplican por un COP (coeficiente de rendimiento) estacional. En este caso las simulaciones han sido desarrolladas asumiendo un COP de 1, con el objetivo de plantear un sistema conservador, debido a la antigüedad y pérdidas que puedan presentar estos equipos. Esto significa que el sistema ofrece 1 unidad de energía por cada unidad de energía consumida, lo cual representa un sistema con un rendimiento estándar. El archivo climático horario utilizado, se ha obtenido de la información disponible en departamento de energía de los Estados Unidos, los cuales contienen información de un año completo, en forma horaria, de diversos parámetros tales como la temperatura de bulbo seco y de rocío, humedad relativa, radiación solar (global horizontal, directa normal y difusa horizontal) y el viento (dirección y velocidad)[2].

Palabras clave: Simulación energética, sistemas HVAC, cogeneración, DesignBuilder, trigeneración, eficiencia energética.

Abstract

In the present paper, a parametric analysis has been carried out using data related to internal earnings by occupation, equipment and lighting. The enclosures of the simulation base model have been configured in accordance with the specifications of the CTE building technical code. In the simulation carried out, the air conditioning systems have been modeled using the simple HVAC

option of DesignBuilder, which uses DesignBuilder's "Ideal Load Air System" object. The system can be assumed of unlimited capacity and immediate response, and is very suitable to evaluate improvements in the architectural characteristics of the buildings, according to the EnergyPlus documentation [1]. To determine the energy consumption of heating and cooling systems in DesignBuilder, with the option of simple HVAC, system loads are multiplied by a seasonal COP (coefficient of performance). In this case the simulations have been developed assuming a COP of 1. This means that the system offers 1 unit of energy for each unit of energy consumed, which represents a system with a standard performance. The hourly climate file used, has been obtained from the information available in the US Department of Energy, which contains information for a full year, in hourly form, of various parameters such as the temperature of dry bulb and sprinkler, humidity relative, solar radiation (global horizontal, direct normal and diffuse horizontal) and wind (direction and velocity) [2].

Keywords: Energy simulation, HVAC systems, cogeneration, DesignBuilder, trigeneration, energy efficiency

1. Introducción

Los principales modelos utilizados para la determinación de la demanda de energía en edificios se clasifican en modelos de estado energético estacionario y dinámico. Los métodos de estado estacionario son los más utilizados para hacer aproximaciones de demanda de energía cuando el comportamiento interno de las zonas es constante, es decir que a lo largo del tiempo no varía la demanda de energía, como las zonas frías donde la demanda de calefacción es casi constante a lo largo del año, a diferencia de los métodos dinámicos donde la variación de la demanda por clima es alta, debido a los constantes cambios climáticos e internos del edificio[3]. Habitualmente los métodos de cálculos tanto estándar como dinámicos, se basan en las temperaturas exteriores de la ubicación del edificio, sea el promedio mensual, diario u horario [4]

Algunos de los métodos encontrados son: Método de grados días (GD), Método binario (MB), Método del balance de energías (MBE), Método de las series temporales radiantes y las simulaciones energéticas [5].

Para un caso estudio donde se aplica una configuración de un sistema de

microtrigeneración, con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema y disminuir el consumo energético del edificio base del sector terciario, localizado en Recife (PE), Brasil. Para el cálculo de las demandas energéticas del edificio, fue realizada una simulación en DesignBuilder, al igual que los grados días. Con el programa de simulación se ha obtenido las curvas de demandas energéticas anuales, basándose en las demandas de energía eléctrica y térmica, calculada a partir de la información sobre consumos, ocupación, características de los envolventes, equipos eléctricos, entre otros parámetros. A partir de éstas, se realizó la selección de la estrategia de funcionamiento del sistema de microtrigeneración a utilizar. Para la configuración de microtrigeneración seleccionada, se efectuó una evaluación energética y se comparó con los sistemas convencionales utilizados en estos edificios[6]

2. Simulación energética del edificio

2.1. Características del edificio

El edificio seleccionado es un el modelo base de simulación en DesignBuilder tomado de la referencia [7], donde los autores utilizaron un

modelo estándar, que cuenta con una superficie de suelo útil del modelo del edificio es de 5184 m² y que cada piso tiene una altura de 3 metros, el volumen total para el edificio es de 15,552 m³. En el modelo, cada planta se divide en 5 zonas térmicas, cuatro perimetrales (una en cada orientación) y una central, separadas por muros interiores con aberturas que permite el intercambio de aire entra las zonas. Esta configuración se realizó principalmente con el objetivo de estimar con mayor realismo el potencial de aprovechamiento de la luz diurna, modelando únicamente en las zonas perimetrales un control de la iluminación artificial a partir de la disponibilidad de luz diurna [8].

2.2. Simulación energética del edificio

DesignBuilder, programa seleccionado para la simulación energética del edificio, utiliza el motor de simulación dinámica EnergyPlus para generar datos de rendimiento. EnergyPlus es el programa de simulación de edificio del departamento de energía de Estados Unidos, el modelado de edificios de energía para la calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, y otros flujos de energía. Se basa en las características y capacidades más populares de BLAST y DOE-2, pero también incluye muchas funciones de simulación tales como pasos de tiempo de menos de una hora, los sistemas modulares y de equipamiento integrados con simulación de balance de calor en zonas de simulación, el flujo de aire zonas múltiples, confort térmico y los sistemas fotovoltaicos [9].

Para llevar a cabo el estudio paramétrico se desarrolló un modelo base, cuyas propiedades geométricas generales se plantearon en la referencia [7], por lo que refiere a la dimensión (volumen y superficie) del modelo, se ha optado por ajustar las características de los edificios de referencia que el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) presenta para sus

bloques de oficina mediano. En el análisis paramétrico se han empleado los datos relacionados con las ganancias internas por ocupación, equipos e iluminación. Los cerramientos del modelo base de simulación han sido configurados de acuerdo con las especificaciones del código técnico de edificación CTE. El acristalamiento del modelo base de simulación han sido configurados para emplear el acristalamiento doble en el exterior.

En la simulación realizada, los sistemas de climatización han sido modelados mediante la opción de HVAC simple de DesignBuilder, que emplea el objeto “Ideal Load Air System” de EnergyPlus. Es un objeto que modela un sistema de HVAC ideal, capaz de suministrar aire de con unas propiedades determinadas a cada zona en la que se ha establecido. El sistema se puede asumir de capacidad ilimitada y de respuesta inmediata, y resulta muy adecuado para evaluar mejoras en las características arquitectónicas de los edificios, de acuerdo con la documentación de EnergyPlus

Para la simulación se consideró los espacios habitables con una densidad de ocupación de 0.072 personas/m²P. A la vez se considera una tasa metabólica de 130 W/persona y un factor metabólico de 0.90, las ganancias por aparatos: en los espacios habitables se considera un índice global de ganancias por aparatos de 10 W/m²P.

El archivo climático horario utilizado de Recife (PE) en Brasil, se ha obtenido de la información disponible en departamento de energía de los Estados Unidos, los cuales contienen información de un año completo, en forma horaria, de diversos parámetros tales como la temperatura de bulbo seco y de rocío, humedad relativa, radiación solar (global horizontal, directa normal y difusa horizontal) y el viento (dirección y velocidad). El archivo climático del clima Internacional (IWEC), es el resultado

del ASHRAE, Proyecto de Investigación por lógicas numéricas y pruebas de Materiales para Canadá por ASHRAE Comité Técnico 4.2 de Información Meteorológica. Los archivos de datos son archivos IWEC de climas "típicos" adecuados para su uso con programas de simulación energética de edificios, para 227 localidades fuera de EE.UU. y Canadá. Los archivos se derivan de hasta 18 años de datos meteorológicos horarios archivados en el Centro Nacional de Datos Climáticos EE.UU. [10]

En la Figura 1, es presentado el modelo base de simulación en DesignBuilder. La configuración interna del edificio muestra las paredes y sus divisiones son presentadas en la Figura 2, tomado de los datos presentados en la referencia [7].

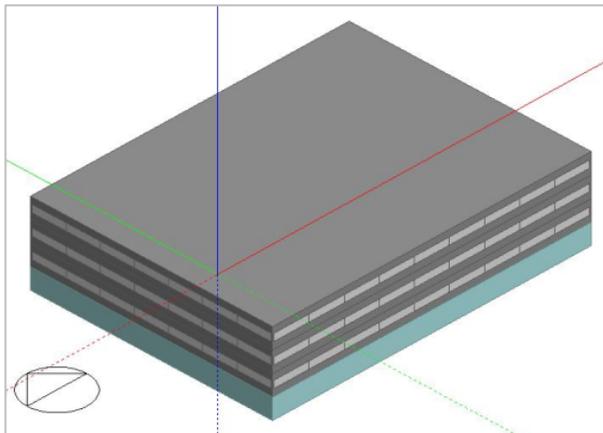


Figura 1. Modelo base de simulación en DesignBuilder

Los resultados de la demanda de electricidad por equipos, iluminación, calefacción y refrigeración del edificio en kWh/m²(mes a mes) a lo largo del año, resultante de la simulación con DesignBuilder, es presentada en la Tabla 1, donde es calculada la demanda total del edificio.

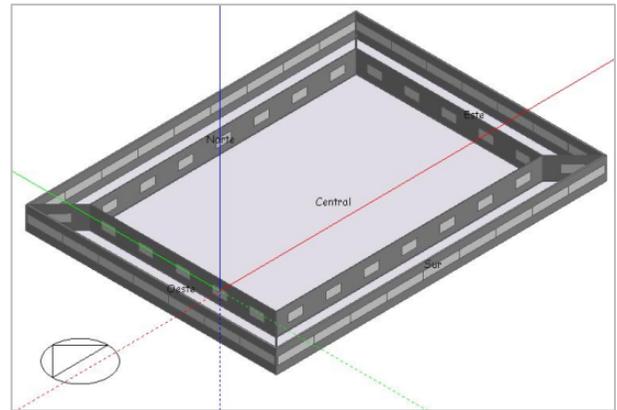


Figura 2. Configuración interna del edificio muestra las paredes y sus divisiones

Tabla 1. Demanda de electricidad por equipos, iluminación, calefacción y refrigeración del edificio

Fecha	Electricidad kWh/m2	Iluminación kWh/m2	Calefacción kWh/m2	Refrigeración kWh/m2	Total kWh/m2
Enero	26,26105324	2,028599537	0,000136725	21,57845293	49,8682424
Febrero	23,26822917	1,879697724	0	18,96453897	44,1124659
Marzo	26,33755787	2,155912423	0	21,43063272	49,924103
Abril	22,5755787	1,962725694	0	18,12785494	42,6661593
Mayo	23,94158951	2,190557485	0	19,00003086	45,1321779
Junio	21,26201775	2,102623457	0	16,51739198	39,8820332
Julio	26,26105324	2,057959105	0,000245185	15,07307099	43,3923285
Agosto	23,26822917	2,169594907	1,625482E-05	15,88966242	41,3275028
Septiembre	26,33755787	2,03373071	0,000917438	16,49567708	44,8678831
Octubre	22,5755787	2,066847994	0	18,87586227	43,518289
Noviembre	23,94158951	2,024523534	0	19,37829861	45,3444117
Diciembre	21,26201775	1,987164352	0	20,77064043	44,0198225
Total anual	287,29	24,66	0,001315602	222,1021142	534,055419

2.3. Metodo de grados dias

El método de grados días (GD), se define como el cálculo del parámetro que permite relacionar el sistema energía-clima directamente con la temperatura ambiente, usado para pronosticar de forma simplificada el consumo de energía de un edificio, principalmente los consumos de climatización, este método es utilizado cuando las eficiencias de los equipos de climatización son consideradas constante [11]. Los grados días para un edificio puede ser estimado por la expresión de la ecuación (1)

$$C_{año} = \frac{k_{total}}{\eta} GD \quad (1)$$

Donde $KR_{total}R$, está definido por la expresión de la ecuación (2); $CR_{año}R$, es la energía anula en base a grado día [kWh] y η el rendimiento del sistema de climatización.

$$k_{total} = UA + \frac{nr \cdot V_p \cdot \rho \cdot C_p}{3600} \tag{2}$$

Las expresiones que calculan los grados días para refrigeración y calefacción son presentadas en las ecuaciones (3) y (4) respectivamente, donde la temperatura de referencia o temperatura base (T_b), para la determinación de los grados días es relacionada con la temperatura del aire exterior por debajo del cual se necesita calefacción.

$$HD = (1día) \sum_{día} (T_b - T_m)^+ \tag{3}$$

$$CD = (1día) \sum_{día} (T_m - T_b)^+ \tag{4}$$

La tabla 2, presenta los resultados del cálculo de los grados días para Recife (PE). Por definición Grado día, es una medida que mide la cantidad de calefacción o refrigeración necesaria para un edificio que usa una línea de base [10], siempre teniendo en cuenta que el clima en Recife (PE), posee una alta demanda de refrigeración y casi nula de calefacción.

Tabla 2. Grados días calculados par el clima de Recife (PE), Brasil

Location -- RECIFE - BRA												Grados-día y grados-hora														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual													
Grados-hora de refrigeración																										
CDH base 10°C	13.920	12.744	13.968	12.888	12.696	11.592	11.496	11.640	12.216	13.248	13.080	14.064	153.552													
CDH base 18°C	1.451	1.461	1.598	992	734	468	339	356	683	1.008	1.075	1.476	11.641													
CDH base 20°C	6.479	6.033	6.520	5.695	5.249	4.383	4.066	4.211	5.016	5.807	5.873	6.629	65.961													
CDH base 23°C	4.247	4.017	4.288	3.535	3.025	2.263	1.951	2.076	2.864	3.579	3.715	4.397	39.957													
CDH base 27°C	1.451	1.461	1.598	992	734	468	339	356	683	1.008	1.075	1.476	11.641													
Grados-día de refrigeración																										
CDD base 10°C	580	531	582	537	529	483	479	485	509	552	545	586	6.398													
CDD base 18°C	332	307	334	297	281	243	231	237	269	304	305	338	3.478													
CDD base 20°C	270	251	272	237	219	183	169	175	209	242	245	276	2.748													
CDD base 23°C	177	167	179	147	126	94	81	87	119	149	155	183	1.665													
CDD base 27°C	60	61	67	41	31	20	14	15	28	42	45	62	485													
Grados-hora de calefacción																										
HDD base 10°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
HDD base 18°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
Grados-día de calefacción																										
HDD base 10°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
HDD base 18°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
Grados-hora de refrigeración (ASHRAE)																										
CDH base 10°C	14.040	12.792	14.088	13.104	13.008	11.808	11.784	11.952	12.192	13.320	13.272	13.992	155.352													
CDH base 18.3°C	7.848	7.176	7.896	7.104	6.792	5.808	5.592	5.760	6.192	7.128	7.272	7.800	82.368													
CDH base 23.3°C	3.978	3.713	4.099	3.384	2.942	2.057	1.766	1.974	2.481	3.236	3.484	3.902	37.016													
CDH base 26.7°C	1.626	1.610	1.799	1.316	990	533	422	477	674	1.047	1.241	1.531	13.266													
Grados-día de refrigeración (ASHRAE)																										
CDD base 10°C	585	533	587	546	542	492	491	498	508	555	553	583	6.473													
CDD base 18.3°C	327	299	329	296	283	242	233	240	258	297	303	325	3.432													
CDD base 23.3°C	166	155	171	141	123	86	74	82	103	135	145	163	1.542													
CDD base 26.7°C	68	67	75	55	41	22	18	20	28	44	52	64	553													
Grados-hora de calefacción (ASHRAE)																										
HDD base 10°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
HDD base 18.3°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
Grados-día de calefacción (ASHRAE)																										
HDD base 10°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
HDD base 18.3°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													

Este método clásicamente es aplicado a más casos de diseño de sistemas de calefacción que en refrigeración, dado que en refrigeración la incertidumbre de los resultados es mayor, ya que el método no contabiliza el aporte por radiación, por tanto no contabiliza de forma real la acumulación de energía en la zona; dado que esta variable varía a lo largo del tiempo haciendo que el método posea mayores incertidumbres en los cálculo, siendo la razón por lo que se realizó una simulación energética del edificio usando DesignBuilder, a pesar de que existen diferentes métodos de cálculo incluyendo las ecuaciones antes mencionadas y las normas técnicas de la ASHRAE [10].

2.4. Carga energética del edificio

Posterior a la simulacion energetica del edificio para el clima tropical de Recife (PE), Brasil. Se realizan las graficas y curvas acumuladas de las cargas termicas y electricas del edificio. En la Figura 3, se presenta la gráfica de la demanda de electricidad de los equipos en el edificio mes a mes [6].

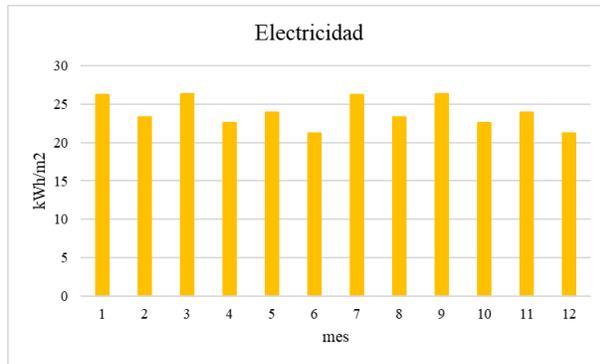


Figura 3. Demanda de electricidad del edificio simulado en DesignBuilder

Posteriormente en la Figura 4, se observa la demanda eléctrica por iluminación. En la Figura 5, la demanda por refrigeración del edificio, claramente la mayor demanda del edificio, al contrario de la demanda por calefacción presentada en la Figura 6, la cual es casi nula.

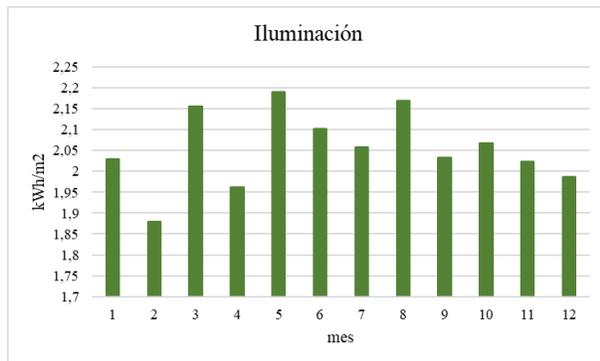


Figura 4. Demanda eléctrica por iluminación mes a mes

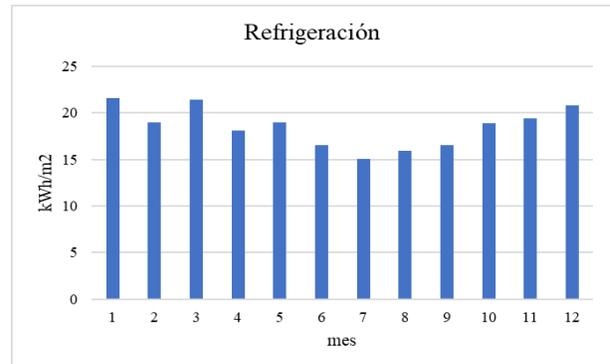


Figura 5. Demanda por refrigeración mes a mes

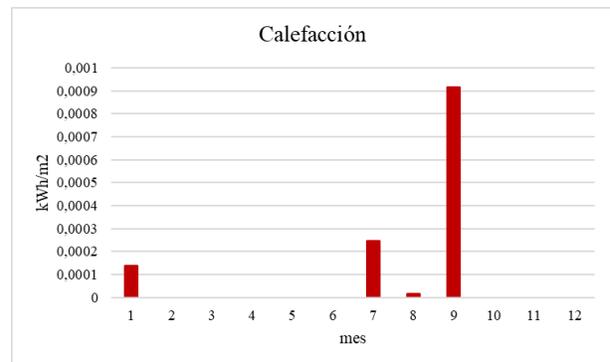


Figura 6. Demanda por calefacción mes a mes

En la Figura 7, es presentada la curva de demanda por electricidad, refrigeración y calefacción a lo largo del año en horas (8760 horas). Con las cuales es calculada la curva monótona de demanda acumulada presentada en la Figura 8.

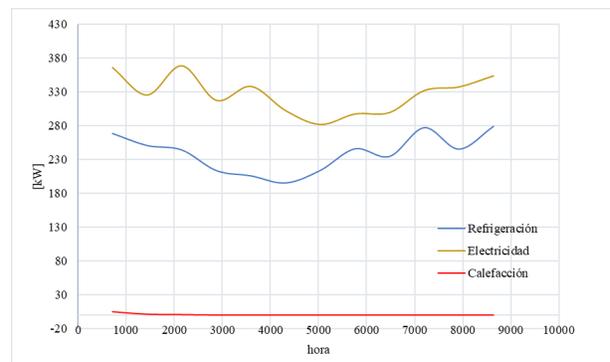


Figura 7. Demanda por electricidad, refrigeración y calefacción a lo largo del año



Figura 8. Curva monótona acumulada de la demanda energética del edificio

3. Selección del sistema de microtrigeneración para HVAC

Con la curva monótona acumulada de la demanda energética del edificio de oficinas (sector terciario) simulado, se seleccionó una configuración de un sistema de trigeneración capaz de suplir las necesidades energéticas del edificio.

Dado que el pico de demanda eléctrica máxima es de 650 kWe, se seleccionaron tres microturbinas CAPSTONE C200 [6], dado que el pico máximo solo representa 1600 de las 8760 horas del año, existen 2 posibilidades; la primera que la energía adicional generada sea suministrada a la red eléctrica nacional Brasileña, con la intención de simplificar el caso estudio, se optó por la segunda opción, donde dos de las microturbinas trabajaran al 100% de la carga a lo largo del año y la tercera solo trabajará al 100% de carga las 1600 horas del pico de demanda, el resto del año trabajara a carga parcial. En la Figura 9, se aprecia la curva de demanda, donde la franja azul representa las 2 microturbinas C200 que trabajan a carga completa y la franja amarilla la microturbina a carga parcial.

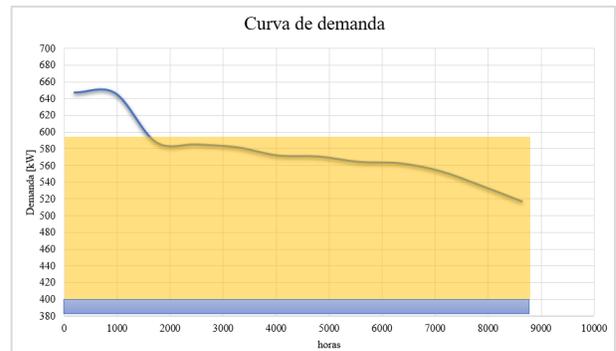


Figura 9. Curva monótona acumulada de la demanda energética del edificio con las microturbinas C200

Los 50 kWe necesarios para suplir la demanda total serán suplidos con la energía de la red eléctrica nacional como sistema auxiliar.

Para suplir la demanda de frio, se ha seleccionado una enfriadora de absorción de simple efecto activada directamente con gases de escape marca THERMAX de 168,2 kW. La enfriadora THERMAX trabajará siempre al 100%, dado que la demanda mínima de frio es 185 kW. Con el agua caliente generada por las microturbinas son activadas tres enfriadoras de absorción de simple efecto YAZAKI WFC-SC10 conectadas en serie, las cuales podrán generar frio según la demanda. En el pico de demanda máximo de refrigeración, los 15 kW de frio necesario para suplir la demanda total, son suplidos con un sistema de refrigeración convencional.

Aunque existen otro tipo de configuraciones que podrían ser propuestas no solo con microturbinas, sino también con motores generadores de energía del tipo de combustión interna, se cree que las ventajas de las microturbinas, como su poco mantenimiento, la elevada eficiencia térmica, el bajo ruido y lo compactas, justifican la selección de una configuración simple, aplicando los modelos desarrollados tanto de microturbinas como de enfriadoras de absorción del tipo comercial presentados por los autores en las referencias [2], [12], [13].

El diagrama de la configuración de microtrigeneración propuesta es presentado en la Figura 10.

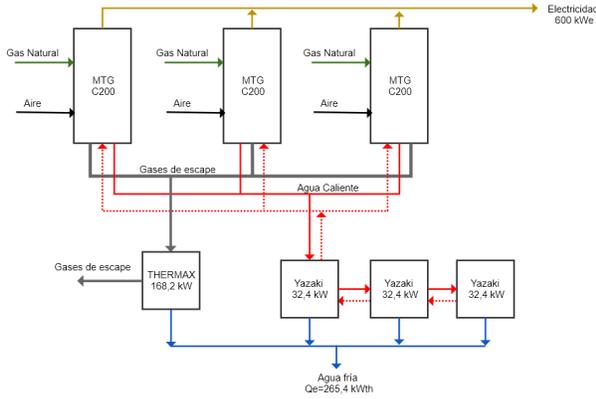


Figura 10. . Esquema de la configuración de trigeneración seleccionada.

4. Resultados

Para la verificación de que exista una optimización del sistema de HVAC, reduciendo la demanda energética a través de una tecnología de elevado desempeño de cogeneración o trigeneración, se ha realizado la evaluación de las prestaciones de la configuración seleccionado según los siguientes indicadores energéticos

- Indicador de ahorro de energía primaria para sistemas de microtrigeneración (TPES, Trigeneration Primary Energy Saving), presentado en la ecuación (4-11)

$$TPES = \frac{F_{CONV} - F_{CHP}}{F_{CONV}} = 1 - \frac{1}{\frac{(1-\alpha)\eta_{eCHP} + (1-\alpha)\eta_{thCHP} + \frac{\eta_{thCHP} \cdot \alpha \cdot COP_{abs} + \eta_{eCHP} + \alpha \cdot COP}{\eta_{el} \cdot COP}}}$$

(5)

Donde,

F_{CHP} [Kw], se define como el consumo de combustible del equipo de cogeneración

Q [Kw], la potencia térmica del sistema convencional

Q_e [Kw], la potencia frigorífica

η_e [%], el rendimiento térmico del sistema convencional

η_{eCHP} [%], el rendimiento eléctrico del sistema de cogeneración

η_{ex} [%], el rendimiento exergético

η_{GCHP} [%], el rendimiento global del sistema de cogeneración

η_{GCHP1} [%], el rendimiento global del sistema de cogeneración, producción de calor

η_{GCHP2} [%], el rendimiento global del sistema de cogeneración, producción de frío

η_{thCHP} [%], la eficiencia térmica de sistemas de cogeneración

η_{HEX} [%], la eficiencia térmica de los intercambiadores

- El indicador de eficiencia energética (Energy efficiency), presentado en la ecuación (6)

$$\eta_{tri} = \frac{\eta_{combustion} * \sum E_{PM} + \sum Q_h + \sum Q_{DHW} + \sum Q_b + \sum Q_c}{\sum Q_{f-in}} \quad (6)$$

- El indicador de Ahorro de energía primaria <ratio> (Primary energy saving), de la ecuación (7)

$$PES = \frac{[PEC_{separate} + (E_{Net,Imports}/\eta_{Grid})] - [PEC_{\mu TRIGEN} + (E_{Net,Imports}/\eta_{Grid})]}{[PEC_{separate} + (E_{Net,Imports}/\eta_{Grid})]} \quad (7)$$

- El rendimiento eléctrico equivalente (REE), es posible calcularlo con la ecuación (8)

$$REE = \frac{P_e}{\left[PEC - \left(\frac{Q_{th}}{\eta_{h,ref}} \right) \right]} \quad (8)$$

Dicha evaluación ha arrojado buenos resultados. Siendo la eficiencia global del

sistema de trigeneración seleccionado del 77,95 %, dado que no se aprovecha totalmente los gases de escape que salen de las microturbinas, para aumentar los valores de los criterios de evaluación, el calor adicional del sistema después de activar la enfriadora puede ser utilizado en otras aplicaciones como proporcionar calefacción. Los resultados de la evaluación son presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación, configuración seleccionada

Prestaciones		
Potencia frigorífica	kW_{th}	265,4
Calor	kW_{th}	48,6
Calor excedente	kW_{th}	16,7
Electricidad	kW_e	600
Indicador		
η_{global}	%	77,95
η_{GCHPI} (Ec. 4-27)	%	71,4
η_{GCHP2} (Ec. 4-28)	%	54,3
Fracción de calor para absorción	-	0,76
Relación calor/comb	-	0,1
Relación frío/comb	-	0,39
Relación electri/comb	-	0,32
PES	%	0,19
TEPS	%	21,5
REE	%	69,8

5. Conclusiones

En esta aplicación ha sido presentada la integración de una configuración de trigeneración para un edificio del sector terciario.

La configuración de trigeneración ha sido integrada para proveer electricidad, calor y refrigeración según sea requerida en el edificio. El dimensionamiento de la configuración de

trigeneración fue realizada utilizando la curva monótona de demanda obtenida a partir de un programa de simulación llamado DesignBuilder, también fueron obtenidos los grados días de refrigeración

Se realizó la evaluación energética de la configuración de trigeneración propuestas, utilizando los indicadores de evaluación energética y rendimiento global, se pudo observar que cuando se tienen fracciones de calor bajas, los ahorros de energía primaria son más elevados, obteniendo una eficiencia global del 77,95%

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a las Universidades participantes en el desarrollo de este artículo, la Universidad Antonio Nariño, sede Ibagué en Colombia y la Universidade Federal de Pernambuco en Brasil.

7. Referencias

- [1] M. Mansouri Majoumerd, H. Nikpey Somehsaraei, M. Assadi, and P. Breuhaus, "Micro gas turbine configurations with carbon capture - Performance assessment using a validated thermodynamic model," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 73, no. 1, pp. 170–182, 2014.
- [2] N. Zhang and R. Cai, "Analytical solutions and typical characteristics of part-load performances of single shaft gas turbine and its cogeneration," *Energy Convers. Manag.*, vol. 43, no. 9–12, pp. 1323–1337, Jun. 2002.
- [3] ASHRAE, *Energy Estimating and Modeling Methods*. 2017.
- [4] Diana Ürgel-Vorsatz, Luisa Cabeza, Susana Serrano, Camila Barreneche, and Ksenia Petrichenko, "Heating and

- cooling energy trends and drivers in buildings,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 85–98, Jan. 2015.
- [5] Zoltán Verbai, Ákos Lakatos, and Ferenc Kalmár, “Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day,” *Energy*, vol. 76, pp. 780–787, Nov. 2014.
- [6] P. Zangheri *et al.*, “Heating and cooling energy demand and loads for building types in different countries of the EU D2.3. of WP2 of the Entranze Project,” 2014.
- [7] A. . Lazaro-Alvarado, “Evaluación del sistema de clasificación climática del estándar ASHRAE 90.1-2007,” Universitat Rovira i Virigili, 2013.
- [8] S. A. Tassou, J. S. Lewis, Y. T. Ge, A. Hadawey, and I. Chaer, “A review of emerging technologies for food refrigeration applications,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, no. 4, pp. 263–276, 2010.
- [9] A. Ordoñez, “Effects of architectural design variables on energy and environmental performance of office buildings,” Universitat Rovira i Virgili, 2016.
- [10] Service National Weather, “Glossary of National Weather Service,” vol. 8, p. 65, 2017.
- [11] J.S. Department of Energy, “ASHRAE. (2007). ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007,” 2017.
- [12] AEE, M. D. d’Accadia, and M. Sasso, “Aplicaciones - Cogeneración Eficiente,” 2017. .
- [13] L. Giangrandi, “Aspectos técnicos económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores diesel,” p. 215, 2011.