

Metodología para establecer la carga térmica de un edificio de oficinas

Methodology to establish the thermal load of an office building

Phd. Luisa Salazar Gil¹, Phd. Victor Guzmán², Msc. Adolfo Duarte Rueda³

1 Grupo de Investigación DSP ASIC BUILDER GROUP, Línea Energía, Universidad Popular del Cesar

**E-mail: luisasalazar@unicesar.edu.co*

2 Grupo de Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia, Línea Energía, Universidad Simón Bolívar Caracas - Venezuela

3 Grupo de Investigación GINTIC, Línea Energía Línea Energía, Universidad Popular del Cesar

**E-mail: adolfoeduarte@unicesar.edu.co*

RESUMEN

Se presenta el diagnóstico energético del sistema de climatización de los espacios ocupados por oficinas en un edificio en la ciudad de Caracas, Venezuela. Se determina el estado general del sistema de climatización y del consumo de energía existente, y se realiza la evaluación de las cargas térmicas, para establecer la eficiencia energética de la instalación existente, y definir el potencial de ahorro.

Palabras clave Ahorro; diagnóstico energético; eficiencia; energía; pérdidas.

ABSTRACT

Energy air conditioning system diagnostics spaces occupied by offices in a building in the city of Caracas, Venezuela is presented. the general state of the HVAC system and the existing energy consumption is determined, and evaluation of thermal loads is performed to establish the energy efficiency of the existing installation, and define the potential savings.

Keywords: Saving; energy diagnosis; efficiency; energy; losses.

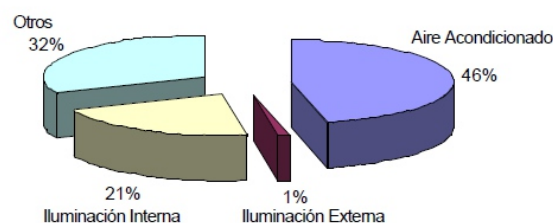
1. Introducción.

Venezuela, debido a su ubicación geográfica, se considera el país más "caliente" de Suramérica: nuestra población en promedio está mucho más cerca del nivel del mar que la de Colombia y Ecuador, estamos mucho más cerca del Ecuador que los países del cono sur (Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay) y, en el mismo Brasil, que cabalga el Ecuador y no es tan montañoso como los países andinos, mucha de la población está más alejada del Ecuador, hacia al sur. Eso hace que nuestras necesidades de aire acondicionado sean mayores, y nuestra ventaja relativa en desarrollo económico (hasta hace unos años) permitía cubrir esas necesidades.

Tradicionalmente Venezuela había sido considerado un país con una reserva inagotable de recursos energéticos, y este hecho ha influido en los hábitos de sus habitantes, quienes han desarrollado malos hábitos de consumo, que se han traducido en un factor adicional en el aumento de consumo de energía [1]. Aunado a esto se tiene que casi el 70 % de la energía que se produce en el país proviene de una fuente de generación hidroeléctrica, el Complejo Generador Simón Bolívar (Guri), debido a la disminución progresiva de las lluvias interanuales en los últimos años, comprometiendo la confiabilidad del suministro de energía renovable. Por ello es fundamental adoptar estrategias a corto, mediano y largo plazo, que eviten el derroche de energía, el cual, de existir, debe ser reducido, por lo que hay que racionalizar el consumo y corregir los excesos.

Las edificaciones constituyen el escenario fundamental de las actividades humanas, a la vez que son grandes consumidoras de energía. Según estadísticas internacionales, alrededor del 40% de la energía total consumida se destina a ellas, y el resto está repartido entre la industria y el transporte [2]. El mayor porcentaje de consumo energético en una edificación en el trópico se produce a través de los sistemas de aire acondicionado y de iluminación (más del 60%, aunque este porcentaje varíe dependiendo con el uso: oficina, hotelero, residencial, gubernamental, educativo, etc.) [2]. Otras instalaciones y equipos también influyen en el consumo, aunque en menor proporción, tales como ascensores, motores y bombas de las instalaciones sanitarias, equipos de oficina, electrodomésticos, etc. En el caso específico de oficinas, según la distribución porcentual típica del consumo por instalaciones y equipos presentada en la figura 1, los equipos de aire acondicionado son los de mayor consumo [2].

Figura 1. Distribución del consumo en oficinas



Fuente: Tomado de referencia 2

El potencial de ahorro energético en edificaciones existentes es menor al posible en edificaciones por construir o nuevas, ya que la actividad constructora es la mayor consumidora de energía, empleando entre el 20 y el 50% de los recursos físicos (La Roche, 2010) [3]. Las condiciones climáticas de Venezuela permiten construir edificaciones térmicamente confortables en forma natural, y en los casos donde se requiera climatización activa, racionalizar el consumo energético y minimizar los costos de instalación y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado [3]. Por esta razón surge la necesidad de realizar la evaluación térmica de una edificación no residencial ya construida, con el objeto de determinar el potencial de ahorro en el sistema de climatización de acuerdo al cálculo de su capacidad térmica [4], lo que permitirá estudiar criterios de diseño, construcción y remodelación de edificaciones para adecuarlos a nuestras condiciones climáticas, geográficas y culturales, en la procura de ambientes confortables y alta calidad de habitabilidad a la vez que eficientes desde el punto de vista energético.

2. Metodología.

Las actividades realizadas están enmarcadas dentro de la metodología de Gestión Total Eficiente de la Energía[5]: reuniones con representantes, revisión del contrato de servicio eléctrico, censo de carga, recaudo de la información disponible útil para la realización del diagnóstico, como diagramas unifilares, planos arquitectónicos, planes existentes y trabajos previos en materia de eficiencia energética, entre otros; por último se realizó un recorrido preliminar de inspección por las instalaciones del edificio, incluyendo el área donde se encuentran los tableros eléctricos.

• Descripción del edificio

El espacio en estudio se encuentra en la Torre Sur del Centro Simón Bolívar (CSB), ubicado en la ciudad de Caracas, Venezuela. El edificio de nueve (9) pisos está constituido por tres (3) alas, denominadas alas este, central y oeste. El edificio, de más de 200 metros de

largo, tiene una geometría rectangular, figura 2, con orientación este-oeste, con entradas de iluminación natural por ambos frentes (norte y sur) y fue diseñado en un principio para trabajar con ventilación natural, ya que dispone de tapasoles y parte soles, elementos de diseño para que el sol no incida directamente sobre sus ventanales, propios de una arquitectura basada en una conceptualización bioclimática. Sin embargo, esta ventaja no se aprovecha en muchas oficinas porque la luz solar está bloqueada con papel ahumando oscuro o mobiliario.

Figura 2. Edificio en estudio.



a) Ala este



b) Ala central y oeste

Fuente: Tomado de referencia 6

El área total a estudiar es de 27,247 m², equivalente al 51,4% del total del edificio; en esta área se desarrollan actividades administrativas de oficina, y laboran alrededor de 2200 personas. Por la falta de acceso a algunas áreas de los pisos 8 y 9 estos se excluyen de las gráficas y tablas y son obviados en el análisis.

Las divisiones internas o tabiquería son altas en casi todos los departamentos, excepto en lo que se han realizado remodelaciones recientes. Falta el techo raso en gran cantidad de departamentos donde tienen equipos de Aire Acondicionado (A.A), lo cual aumenta la carga térmica del espacio. En general no hay uniformidad en la distribución, forma y uso de los espacios por cada departamento, por lo que será de cuidado el análisis de cualquier índice general de

eficiencia que se maneje, ya que podrían llevar a conclusiones erróneas.

Descripción del sistema eléctrico y las instalaciones asociadas

Descripción de sistema eléctrico: La Torre Sur del CSB dispone para el suministro de energía eléctrica de tres (3) bancos de transformadores sumergibles, distribuidos a lo largo de la avenida. Las características de los bancos de transformación se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las características de los bancos de transformación.

Área	Capacidad del Transformador (kVA)	Tensión del Secundario (Voltios)
Ala Este	3 x 500	208/120
Ala Central y Este	750	208/120
Ala Oeste	1000	208/120

Fuente: Tomado de referencia 6"

De la tabla 1 se tiene que la capacidad de transformación total sin sobrecarga de los bancos de transformadores es de 3250 kVA; cada uno de ellos alimenta un área específica del conjunto de oficinas bajo estudio, además de alimentar a otros clientes adicionales. El registro de consumo del edificio se realiza a través de 8 contadores de energía, distribuidos a lo largo de este en 5 tableros; ningún tablero tiene dividida la carga, lo cual no permite establecer cuáles son los servicios generales y/o servicios preferenciales. Solo los ascensores disponen de un circuito y medidor particular. Aunque se tienen 8 contadores de energía, el 80% del registro de la demanda es registrado por tres (3) contadores (1, 2 y 3), de acuerdo a lo expuesto en la tabla 2, donde se presenta las demandas asignadas que la empresa de servicio eléctrico garantiza al suscriptor, determinada en base a la relación entre la demanda probable y la capacidad total instalada por el suscriptor, en las respectivas áreas asociadas a cada medidor.

Tabla 2. Demanda y área asignada a los contadores de energía.

N°	Medidor	Demanda Asignada kVA	Áreas Asociadas
1	101130667	361	Ala Este
2	300644645	255	Ala Oeste
3	300573728	240	Ala Central y Este
4	101160609	102	Ala central
5	101127324	101	Ala Central
6	101305195	102	Ala Central
7	101125353	29	Ala Central
8	300433618	7	Ala Central
Totales		1197	

Fuente: Tomado de referencia 6"

Censo de carga y análisis de la carga conectada: Se realizó un censo de carga de todas las áreas, para determinar la carga total conectada y el consumo mensual estimado por tipo de carga y general, basado en normas internas de La Electricidad de Caracas [7] y el Código Eléctrico Nacional [8]. La carga total conectada, es la suma de los valores de las potencias nominales de todas las cargas que deben suplirse, expresado en kVA.

El consumo mensual estimado, son los (kWh/mes) determinados por la expresión:

Consumo mensual estimado = Carga conectada (kVA)
x Fp x Fd x Horas de Uso Mensual

Donde:

Fp = Factor de Potencia

Fd = Factor de Demanda

Los datos obtenidos fueron procesados con el objeto de identificar los sistemas de mayor consumo y demanda, los cuales se presentan en la tabla 3 y la figura 3, para lo cual se utilizaron las siguientes abreviaciones, correspondientes a los equipos censados:

A.A: Aire acondicionado (Climatización)

AVC: Audio, video y computación

CR: Carga Refrigerada

CV: Cargas varias

I: Iluminación

M: Motores

Tabla 3. Totales del censo por tipo de carga.

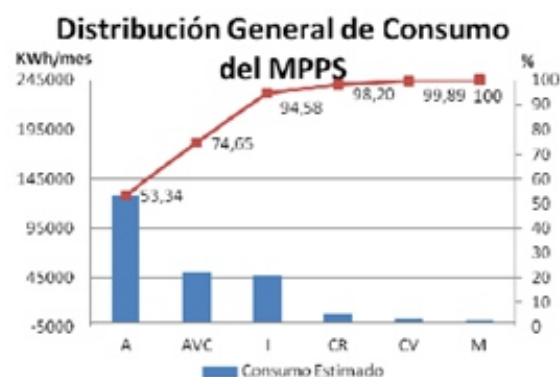
Tipo de Carga	Carga Conectada (kVA)	Consumo Estimado (kWh/mes)
A.A	1192,79	106324,71
AVC	1336,34	85460,70
CR	67,26	5749,94
CV	335,06	1974,54
I	248,83	39088,87
M	6,12	235,01
Total	3293,82	239377,14

Fuente: Tomado de referencia 6"

De la tabla 3 se tiene que la carga total conectada es 3.293,82 kVA y el consumo estimado 239.377,14 kWh/mes, donde la carga del sistema de climatización es 1.192,79 kVA, con un consumo estimado de 106.324,71 kWh/mes.

En un diagnóstico energético, se debe identificar el 20% de los sistemas que consumen el 80% del valor total de energía de una cierta edificación. Así, una vez identificados los potenciales de ahorro, se combinan ambos resultados y se orientan los esfuerzos a aquellos sistemas resultantes [6], por lo que en base a la tabla de consumo por carga (tabla 3), se realiza el Diagrama de Pareto, que representa la Ley de Pareto, que identifica "el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado" [6], mostrado en la figura 3 donde se tiene que, en la distribución porcentual del consumo del edificio por sistema, el de mayor consumo es el de los equipos de A.A, que representa el 55% del 80% del consumo mensual del edificio y por lo tanto es donde se pueden ubicar los mayores potenciales de ahorro.

Figura 3. Diagrama de Pareto de la distribución de consumo por tipo de carga



Fuente: Los autores

Descripción del sistema de climatización: El sistema de climatización está compuesto por unidades compactas de climatización tipo Split cuyas

capacidades van desde 60.000BTU/ Hrs a 9.000 BTU/Hrs y algunas unidades de aire centralizado, ventana y portátil, según se resume en la tabla 4.

Tabla 4. Cantidad y tipos de equipos de climatización por piso.

Cantidad de unidades Split (BTU/Hrs)										
Piso	60.000	36000	24500	24000	18000	12000	9000	Central	Ventana	Portátil
1	2	1	1	2	3	4		2	1	1
2	9	13		6	8	14		3	7	
3	5	6		3	4	2		12	7	
4	18	13		8	1		3			
6	9	6		3	6	2		2		
7	13	10		8	8	15		8	1	
8	5			4	1	4				
9	3	2			3	8				
Total	64	51	1	34	34	49	3	27	15	1

Fuente: Los autores

En el recorrido de las instalaciones se pudo observar la existencia de fugas de aire por ventanas abiertas o rotas y puertas abiertas, así como una distribución no uniforme de los equipos de A.A en la mayoría de las oficinas.

Se observó falta de mantenimiento en los equipos de aire acondicionado, principalmente de las unidades condensadoras, las cuales están instaladas en el exterior del edificio, en zonas de acceso difícil y peligroso, y excesiva acumulación de polvo en los intercambiadores de calor de las unidades evaporadores y condensadoras, lo cual reduce su eficiencia considerablemente.

Según el American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), por cada grado centígrado por debajo de 24°C el sistema consume aproximadamente un 3% más de energía[9]; en la revisión se encontró que el 80% de los equipos de climatización presentes en los diversos espacios están ajustados por debajo de 24°C, por lo que se incumple con lo recomendado por ASHRAE, por lo que esto puede ser un factor importante en el alto consumo del sistema de climatización.

Estudio del sistema de climatización

Para el estudio del sistema de climatización se usaron dos indicadores de eficiencia. En primer lugar, el índice de eficiencia energética de cada equipo o Energy Efficiency Ratio (EER), el cual indica la capacidad enfriamiento de los equipos en BTU/h por vatio de consumo en condiciones estándar de 35°C de acuerdo al Conditioning and Refrigeration Institute (ARI)[10]. En segundo lugar, se analizó un índice que es de uso frecuente en Venezuela y es equivalente al área de construcción acondicionada por tonelada de refrigeración instalada (m2/tonr) [10].

Análisis basado en los EER de los equipos existentes:

En Venezuela el EER mínimo según la Resolución N°001 del Decreto N°6.992[11], para equipos de tipo ventana y mini-splits de más de 1 tonr es de 9 BTU/W, y para equipos compactos y splits se exige un EER mayor a 10 BTU/W. Estos niveles de eficiencia exigidos para los equipos se pueden considerar muy conservadores, dado que existen ya equipos y sistemas de climatización que superan los 14 BTU/W, y algunos sistemas que superan los 20 BTU/W, aunque estos últimos pertenecen ya a sistemas de agua helada de grandes capacidades de enfriamiento.

En la tabla 5, se presentan los EER de los diferentes equipos censados del sistema de climatización, los cuales en algunos casos fueron calculados a partir de los

datos de placa, ya que en varios equipos no se indicaba este valor de manera explícita.

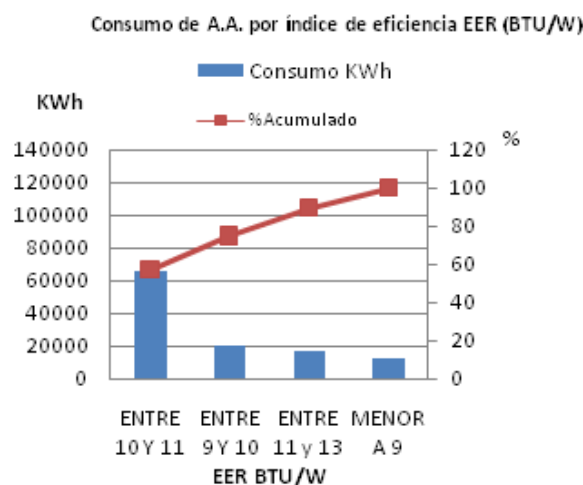
Tabla 5. Clasificación de los equipos censados según el nivel de eficiencia

EER BTU/W	Clasificación según estándar internacionales	Clasificación según Gaceta Oficial 39.298	Cant. de equipos	kVA	kWh
MENOR A 9	Ineficiente	Ineficiente	50	131,14	12224,76
ENTRE 9 Y 10	Ineficiente	Eficiente	76	215,97	19917,59
ENTRE 10 Y 11	Estándar	Eficiente	147	743,01	65739,15
ENTRE 11 y 13	Eficiente	Eficiente	32	197,94	17122,12

Fuente: Tomado de referencia 6"

Con los resultados expuestos en la tabla 5, se obtiene el Diagrama de Pareto de consumo por índice, según el EER del equipo, mostrado en la figura 4, donde se observa el porcentaje de consumo que tiene cada rango de eficiencia.

Figura 4. Diagrama de Pareto del consumo de A.A por índice de eficiencia EER (BTU/W).



Fuente: Los autores

De la figura 4, se tiene que la mayor parte del consumo son los equipos de eficiencia entre 10 y 11 BTU/W, los cuales tienen un consumo de 65,739,15 kWh. Esto indica que una de las principales causas del alto consumo del sistema de climatización es la baja eficiencia propia de los equipos instalados.

Análisis del sistema de climatización por su eficiencia de uso (m²/tonr). Índice de Eficiencia de Uso: Es equivalente al A.A por tonelada de refrigeración instalada (m²/tonr). En la bibliografía [1] se habla de valores entre 20 y 30 m²/tonr como no tan eficientes, un valor mayor a 30 m²/tonr o incluso 40 m²/tonr se consideran los valores de mayor eficiencia.

En la tabla 6 se presentan los índices de eficiencia de uso por piso.

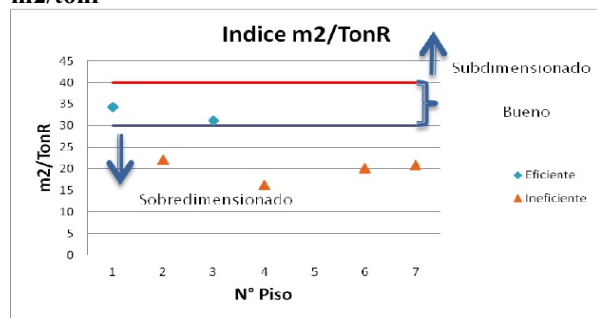
Tabla 6. Índices de uso m²/tonr por piso

Piso	m ² de zona climatizada	Tonr operando	Índice m ² /tonr
1	1356	40	34,3
2	3177	143	22,2
3	4196	135	31,2
4	2320	143	16,2
6	2320	115	20,2
7	4196	202	20,8
Total	20.833	861	24,2

Fuente: Tomado de referencia 6"

La información de área por piso expuesta en la tabla 6, es aproximada por la falta de planos de superficie de la edificación. La misma se realizó en base a un plano del piso 4, tomado como referencia para determinar los m² de construcción y la herramienta Google Earth. Sin embargo, se asegura que dicho cálculo presenta un error $\leq 10\%$, el cual es aceptable para los cálculos a realizar.

A partir de la tabla 6 se obtiene la gráfica de control presentada en la figura 5, en la cual se aprecia que existe un sobredimensionamiento general del A.A en la edificación en los pisos evaluados con relación al rango recomendado que está entre 30 y 40 m²/tonr.

Figura 5. Gráfica de control del Índice de Uso m2/tonr

Fuente: Los autores

Para tener de una manera más clara el índice de uso presente en la edificación, se realizó una estimación de la carga térmica presente en todos los departamentos y oficinas del edificio. El cálculo se basó en los factores de aporte de calor establecidos por la ASHRAE [9], y en diversos manuales de climatización entre ellos el Manual de Climatización CARRIER [12] y factores usados por diagnósticos anteriores realizados por personal de la empresa de servicio de energía eléctrica [6,10], de acuerdo a la metodología para el cálculo de la carga térmica [9,13].

Cálculo de la carga térmica

El interior de un edificio gana calor debido a varias fuentes. Si la temperatura y humedad del aire en los recintos se deben mantener a un nivel confortable, se debe extraer calor para compensar las ganancias mencionadas, lo que requiere el cálculo de la carga térmica para de esta manera complementar el análisis del uso y la conservación de la energía. Los componentes que contribuyen al aporte de calor tomados en consideración para el edificio en estudio son los siguientes:

1. Aporte de calor por persona.
2. Aporte de calor desde el ambiente externo.
3. Aporte de calor de los equipos de oficina y otros equipos auxiliares.
4. Aporte de calor de los equipos de iluminación.
5. Aporte de calor por ventilación.

1.- Aporte de calor por persona: Este aporte corresponde a la energía térmica de origen metabólico aportada por las personas que trabajan en las oficinas. Para actividades sedentarias tipo oficina se considera un valor promedio de 145W/Persona [6,9].

La Tabla 7 resume los resultados obtenidos en el cálculo de la carga térmica representada por el personal que trabaja en las oficinas.

Tabla 7. Resultado del cálculo de la carga térmica aportada por el personal de las oficinas

Aporte de calor humano			
Cantidad	Factor	Subtotal	Subtotal
	W/persona	W	BTU
2200	145	319000	1094170

Fuente: Tomado de referencia 6"

Aporte de calor desde el ambiente externo: Este aporte corresponde a la energía térmica recibida desde el exterior del edificio, debido fundamentalmente a la radiación solar y a la carga por conducción y convección de paredes, techos y pisos de una oficina o departamento, calculada en base a las características que representan el peor caso. Estas características son: oficinas con fachada hacia el norte, ventanas con vidrios sencillos y sin protección adicional a las salientes propias del edificio y espacios no acondicionados a ambos lados del departamento. En primera aproximación, pendiente de mediciones específicas in situ, se asume un aporte por área del orden de 200 BTU/m² [6,9]. La tabla 8 presenta el resumen del cálculo de la carga térmica recibida desde el exterior del edificio.

Tabla 8. Resultado de carga térmica exterior por área

Ganancia de calor exterior por área m ²		
Área m ²	Factor	Subtotal BTU
	BTU/m ²	
20833	200	4166600

Fuente: Tomado de referencia 6"

Aporte de calor de los equipos de oficina y otros equipos auxiliares. Este aporte corresponde al calor generado como pérdidas en los distintos equipos de oficina y auxiliares instalados. El valor exacto de estos aportes depende no solo del tipo, marca y modelo de los equipos, sino de su estado de mantenimiento; en primera aproximación, para determinar el aporte de calor correspondiente a los equipos de oficina y otros equipos auxiliares se consideraron los valores típicos presentados en la Tabla 9.

Aporte de calor por ventilación. Este aporte es la cantidad de aire que manejan los ventiladores y que entra al espacio acondicionado incorporando al aire interior una cantidad de calor [14]. El aporte de calor por ventilación se calculó a partir de los requerimientos de ventilación por persona (7 L/s ó 0,007m³/s por persona) [6]. El aporte de calor por ventilación, determinado de la siguiente manera:

$$q_t = q_s + q_l \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

q_s: Calor sensible

Determinado por la ecuación:

$$q_t = 1200 * Q_s * T \quad \text{Ec(2)}$$

q_l: Calor Latente

Determinados por la ecuación:

$$q_t = Q_s * W(4775 + 1.998 * T) \quad \text{Ec(3)}$$

Teniendo que:

$$Q_s = \text{Flujo de aire} \frac{m^3}{s}$$

$$T [K] = T_i + T_o \quad \text{Ec(4)}$$

$$W \left[\frac{Kg \text{ Vapor}}{Kg \text{ Air Seco}} \right] = W_o + W_i \quad \text{Ec(5)}$$

Donde:

W_i = Relación de humedad interior

W_o = Relación de humedad exterior

Por estar situado el edificio en una zona de alta incidencia solar se decidió agregar un 10% del total acumulado por los puntos anteriores [6]. Suponiendo 2200 personas, sustituyendo valores, en las ecuaciones 2 y 3. Se tiene que:

$$q_s = 1200 * Q_s * T = 1200 * 2200 * 0,007 * 4$$

$$q_s = 73920W$$

$$q_l = Q_s * W(4775 + 1.998 * T)$$

$$q_l = 2200 * 0,007 * 0,011(4775 + 1.998 * 4)$$

$$q_l = 817 W$$

Y el aporte de calor por ventilación de acuerdo a la ecuación 1 es:

$$q_t = q_s + q_l = 74737W$$

$$q_t = \frac{3,43BTU}{W} * 74737W = 256347BTU$$

$$q_t = 21 \text{ Tonr}$$

Carga térmica total: Totalizando los resultados parciales de los cinco componentes de la carga térmica considerados en los puntos anteriores, la carga térmica total y sus componentes parciales se presenta en la tabla 14.

Tabla 14. Cálculo de carga térmica total.

Total	Subtotal BTU	Tonr
Personas	1094170	91
Área	4166600	347
Equipo de oficina	870225	73
Otros equipos	645766	54
Iluminación	802873	67
Ventilación	256325	21
10% por alta Incidencia	757963	63
Total	8593922	716

Fuente: Los autores

Dada la carga térmica de 716 tonr obtenida como resultado del cálculo de la carga térmica en los 20.833m² de área climatizada, el índice óptimo para la edificación resulta 29,09 m²/tonr, y evitaría caer en sobredimensionamiento o subdimensionamiento.

Comparando el indicador ideal obtenido de 29,09 m²/tonr con el que existe actualmente en la edificación de 24 m²/tonr, presentado en la tabla 6, resulta que existe un sobredimensionamiento de sistema de climatización en general, aun cuando faltó censar áreas que podrían ampliar mucho más la diferencia, basta comparar el índice de 29,09 m²/tonr, con los existentes en los pisos de 2, 4, 6 y 7, que están por el orden de 20 m²/tonr, el cual es un índice deficiente si se compara con estándares internacionales y nacionales en nuevas edificaciones, ya que presenta un sobre dimensionamiento del orden del 45%. Adicionalmente el problema es más complejo, ya que existen áreas

el problema es más complejo, ya que existen áreas específicas donde simplemente no hay aire acondicionado o el mismo está subdimensionado afectando el cálculo realizado. Debido a esto se realizó otra estimación de carga térmica para algunos departamentos, donde efectivamente se comprobó la no uniformidad en la climatización de los espacios del edificio, los resultados de cálculos se presentan a continuación en la tabla 15.

Los resultados presentados en la tabla 15 se asumen teniendo en cuenta los siguientes ajustes:

- 30m² de área ya que el índice de 10m²/puesto de trabajo estaba muy por encima en este caso particular.
- 6m²/puesto de trabajo, como un valor todavía conservador dada la alta densidad de ocupacional de este departamento

3. Conclusiones.

Con base a la estimación de carga térmica del edificio se detectó que existe un sobredimensionamiento general de la capacidad de aire acondicionado instalada en la edificación, y que éste es más acentuado en algunas áreas que en otras. Por lo que es necesario hacer un estudio detallado en cada área usando el método de estimación presentado, con el cual se puede obtener áreas climatizadas con un índice de eficiencia de uso mayor a 30 m²/tonr.

El rendimiento de los equipos de aire acondicionado instalados es mucho menor que el nominal indicado en los datos de placa, debido a la acumulación observada de polvo y a la ausencia de un plan de mantenimiento adecuado.

Es necesario revisar todos los equipos para determinar si la instalación actual es recuperable total o parcialmente.

4. Recomendaciones.

Para determinar si la instalación actual es recuperable total o parcialmente es necesario:

- Realizar las mediciones necesarias para ubicar los equipos que presenten alta temperatura del aire de salida del evaporador, este es el primer indicador de que la eficiencia real del equipo está muy por debajo de lo que indica su placa, una vez ubicado el equipo defectuoso o ineficiente se deben realizar actividades.

- Una vez ubicado el equipo defectuoso o ineficiente se deben realizar actividades correspondientes al mantenimiento del equipo:
 - Limpieza de las superficies de intercambio de calor de evaporadores, condensadores, ventiladores, unidades manejadoras de aire, etc.
 - Revisión del nivel de refrigerante y ubicación de posibles fugas.
 - Revisión del aislamiento de las tuberías y ductos.
 - Revisión del consumo eléctrico y comparar con los datos de placa.
 - Detectar los sonidos fuera de la normalidad
- Estas medidas permitirán reparar el equipo y mejorar su eficiencia o, en su defecto, sacar el equipo de operación porque está simplemente desperdiciando la energía.
- Aunque la adquisición de equipos más eficientes puede requerir de una inversión alta, en ella se debe tomar en cuenta los indicadores de eficiencia como el EER o el SEER; si son equipos individuales estos deben ser superiores a 11, preferiblemente, y si son múltiples de gran capacidad el EER debe ser mayor que 13. En general los equipos modernos con estos niveles de eficiencia usan refrigerante R-410A, el cual tiene mejores propiedades térmicas que los usados por equipos viejos como el R-22, además el R-410A es conocido también por ser ecológico, es decir, no contaminante.
- • Se recomienda reparar todas las entradas aire exterior por ventanas rotas, ya que estas infiltraciones no son tomadas en cuentas para el momento de diseño del aire acondicionado.
- Se recomienda colocar brazos hidráulicos a las puertas que se vinculen con áreas acondicionadas, para mantenerlas cerradas.

Tabla 9. Aporte de calor típico de equipos de oficina y otros equipos auxiliares[6,9]

Equipo	Aporte de calor W/equipo
CPU	80
Monitor CTR	70
Monitor LCD	25
Impresora	100
Fotocopiadora	400
Microondas	400
Cafetera	670
Filtro de agua/nevera	350

Fuente: Tomado de referencia 4 y 12"

La tabla 10 presenta el resumen de los cálculos de la carga térmica aportada por los equipos de oficina y la tabla 11 los correspondientes a la carga térmica aportada por los otros equipos auxiliares, en base a los valores típicos asumidos en primera aproximación.

Tabla 10. Carga térmica aportada por los equipos de oficina

Ganancia de calor por Equipos de Oficina				
Equipo	Cant. Equipo	Factor de carga W	Sub total W	Subtotal en BTU
CPU	1763	80	141040	483767
Monitor CTR	351	70	24570	84275
Monitor LCD	1412	25	35300	121079
Impresora	200	100	20000	68600
Fotocopiadora	82	400	32800	112504

Fuente: Tomado de referencia 6

Tabla 11. Carga térmica aportada por los otros equipos auxiliares

Ganancia de calor por otros Equipos auxiliares				
Equipo	Cantidad	Factor de carga W	Sub total W	Subtotal BTU
Microondas	141	400	56400	193452
Cafetera	61	670	40870	140184
Filtro de agua/nevera	260	350	91000	312130

Fuente: Tomado de referencia 6

Este aporte corresponde al calor generado como pérdidas en los distintos equipos de iluminación. El aporte de calor por iluminación depende del tipo de luminaria, y es directamente proporcional a la potencia, el factor de uso y el factor de pérdidas de cada luminaria. La tabla 12 presenta los valores típicos que se consideraron en este estudio como una primera aproximación, y la tabla 13 resume el resultado del cálculo de la carga térmica por iluminación.

Tabla 12. Factores considerados para determinar el aporte de calor por iluminación [4,12].

Tipo	Potencia W	Factor de Uso	Factor de pérdidas
T12 balasto electromagnético	40	1	1,15
T8 balasto electrónico	32	1	0,94
T12 balasto electromagnético	20	1	1,4
T8 balasto electrónico	17	1	0,91
BCF balasto electromagnético	22	1	1,25
BCF electrónico	18	1	1,06

Fuente: Tomado de referencia 4 y 1

Tabla 13. Resultado de carga térmica por iluminación

Ganancia de calor por Iluminación						
Tipo	Cantidad de TF	Potencia W	Factor de Uso	Factor de por perdidas	Su total W	Subtotal BTU
T12 balasto Mag.	1769	40	1	1,15	81374	279113
T8 balasto Elec.	4334	32	1	0,94	130367	447158
T12 balasto Mag.	0	20	1	1,4	0	0,00
T8 balasto Elec.	995	17	1	0,91	15393	52797
BCF Mag.	81	22	1	1,25	2228	7640
BCF Elec.	247	18	1	1,06	4713	16165

Fuente: Tomado de referencia

[8] CODELECTRA (Comité de Electricidad de Venezuela).Código Eléctrico Nacional. pp 450.

[9] ASHRAE Fundamentals Handbook (SI). Chapter 18 "Nonresidential cooling and heating load calculation procedures". pp 1-59. 1999.

[10] Siulmar G. "Diagnóstico Energético en el Hotel Alba Caracas".pp. 14-15,pp. 25-26,pp. 27-43. Enero 2010, Caracas - Venezuela

[11] Decreto N°6992, publicado en Gaceta Oficial N° 39.298, el 3 de noviembre de 2009. Caracas – Venezuela. pp 2-3.

[12] Mc Graw Hill., Manual de Aire Acondicionado Carrier. pp 125-130.

[13] Edward G. Pita. Acondicionamiento de Aire. Principios y Sistemas. 2da Edición.Editorial Continental. 6ta impresión. pp. 133 - 170 México, 2012.

[14] Norma COVENIN 2250:2000 1era Revisión, "Ventilación de los Lugares de Trabajo". pp 4-5.Caracas – Venezuela.

Tabla 15. Resultados de estimación de carga térmica en varios departamentos

Oficina	BTU considerando áreas	Iluminación BTU	Equipos de oficina BTU	Personas BTU	Carga térmica total BTU*1,1	Total Ton r	Total Instalado Tonr	Estado
Programas de salud	96000	20.836,37	21.470,4	26.880,0	181.705,44	15,14	25	Sobre
Nómina	26000	4.110,7	6.739,95	7.134,4	48.383,57	4,03	5	Sobre
Servicios General*	6000	3.242,8	4.536	2.688,0	18.113,56	1,51	1,5	C
Dirección salud indígena	32000	8.683,248	7.039,2	8.601,6	61.956,45	5,16	7	Sobre
Contraloría sanitaria	18000	4.244,8	4.855,2	4.838,4	35.132,34	2,93	7	Sobre
Oficina N°326	14000	3.091,2	3.292,8	5.376,0	28.336,00	2,36	1	Sub
Materiales Equipos de Establecimiento y Profesiones	36000	16.045,344	8.030,4	9.676,8	76.727,80	6,39	6	Sub
Oficina 429 Dir. Bienestar Social	74000	10.807,3728	15.573,6	19.891,2	132.299,39	11,02	11	C
Archivo central	38000	10.935,5904	7.828,8	10.214,4	73.676,67	6,14	18(activos 8)	Sob
Viceministerio de Recursos para la salud	16000	3.301,5	3.224,2	4.390,4	29.607,80	2,47	9,5	Sob
Oficina N°415 Prestaciones de Obrero	90000	13.400,04	17.630,2	24.696,0	160.298,87	13,36	18	Sob
Oficina N°419**	98400	18.571,3	33.133,8	45.001,6	214.617,47	17,88	21	Sob
OASIS	40000	4.952,32	9.261	10.976,0	71.708,31	5,98	6,5	C