

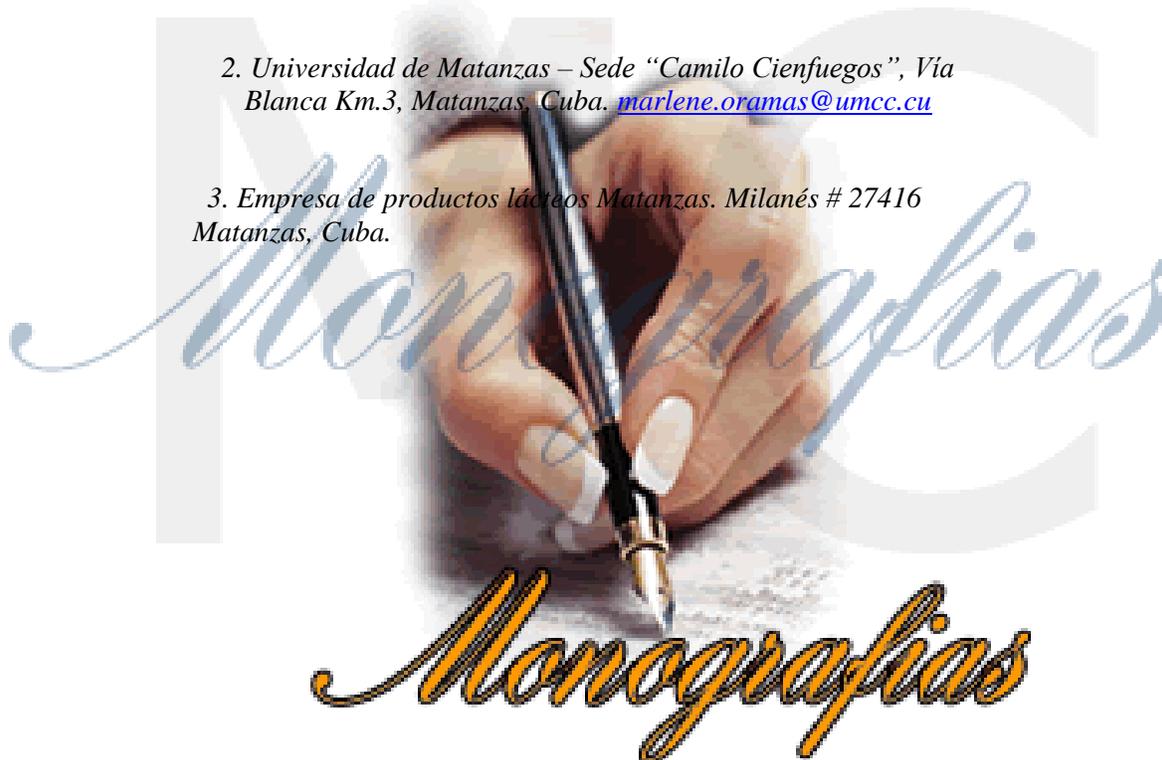
NECESIDAD DE UNA CORRECTA DISTRIBUCIÓN DE AIRE EN EL LOGRO DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE CONFORT.

MSc. Jorge Luis Lamas Acevedo¹, MSc. Marlene Oramas Ortega², Ing. Yaimel Menéndez Peña³

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. jorge.lamas@umcc.cu

2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. marlene.oramas@umcc.cu

3. Empresa de productos lácteos Matanzas. Milanés # 27416 Matanzas, Cuba.



Resumen

Se realiza una breve introducción de los parámetros fundamentales y los aspectos a tener en cuenta para una adecuada distribución de aire en locales de grandes dimensiones, como es el caso de estudio de un restaurant buffet, el cual estuvo diseñado para el empleo de una unidad autónoma de expansión directa y un sistema de conductos. El mismo fue sustituido por sistemas split cuya capacidad frigorífica es similar a la instalada anteriormente. Se presenta un análisis de la velocidad del aire en la zona ocupada por los clientes, así como la distribución de temperatura en el local, demostrándose que no sólo basta impulsar aire con condiciones termohigrométricas ideales para lograr las condiciones de confort y satisfacción de clientes y personal de servicio que labora en dichas instalaciones.

Palabras claves: *Distribución de aire; velocidades; temperaturas, sistemas de conductos.*



Introducción.

Uno de los factores más importantes en los sistemas de aire acondicionado radica en la distribución del aire, debido a que por más que se logre enfriar o calentar el aire o controlar su humedad, la forma en que se lleva a los espacios por acondicionar desempeña un papel fundamental para lograr el confort de las personas (Grote,2012).

La industria turística es uno de los pilares de la economía cubana, el acondicionamiento de aire, la estabilización y cumplimiento de las normas de confort en sus instalaciones es de vital importancia. El acondicionamiento del aire consume gran cantidad de energía eléctrica (Carbonell y Salgado, 2016), especialmente en áreas con climas cálidos y húmedos, como es en nuestro país. El consumo energético por concepto de aire acondicionado en instalaciones hoteleras cubanas representa el 55 y 65 % de los totales de las instalaciones y provocan grandes erogaciones de dinero, pero también a través de ellos se logra una estancia placentera en cualquier recinto donde se encuentren instalados. Dicho conflicto ha motivado a los grandes productores de estos equipos: ingenieros, especialistas y técnicos de la rama a buscar condiciones óptimas de confort con el menor gasto energético y daño ambiental posibles.

La circulación del aire dentro del área por climatizar es esencial para mantener un buen confort. El aire debe circular sobre toda el área sin obstáculos o separaciones que condicionen este elemento, debido a que la correcta circulación permitirá que absorba de manera uniforme el calor y la humedad de todo el local, potenciando así su eficiencia (Renedo 2015). Los equipos responsables de impulsar o lograr el movimiento del aire en los locales se conocen como unidades terminales que pueden ser: unidades de tratamiento de aire y fancoils, cuando el fluido de trabajo es agua helada y si se trata equipos de expansión directa en el local, entonces estaremos en presencia de unidades interiores o evaporadores, en la literatura que trata el tema también se conoce a estas unidades como climatizadoras o manejadoras de aire.

Para lograr una correcta distribución de aire (Carrier, 2009) es necesario conocer una serie de parámetros que se definen a continuación:

1. Alcance o flecha: Distancia horizontal medida desde la boca de salida del aire, ver Fig. 1, hasta el punto más alejado en el cual la velocidad se ha reducido hasta 0.25 m/s a una altura de 2.1 m.
2. Caída: Es la distancia desde la boca de salida del aire, ver Fig. 1, hasta el punto más bajo en el que se obtenga la velocidad de 0.25 m/s.



3. Área de distribución: Es el área comprendida por la unión de los puntos extremos donde la velocidad del aire sea 0,25 m/s, ver Fig. 1.

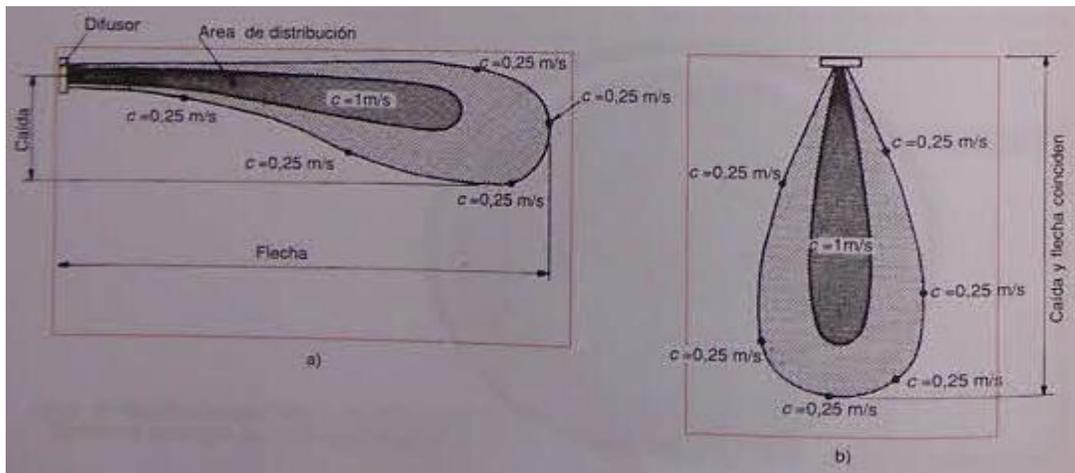
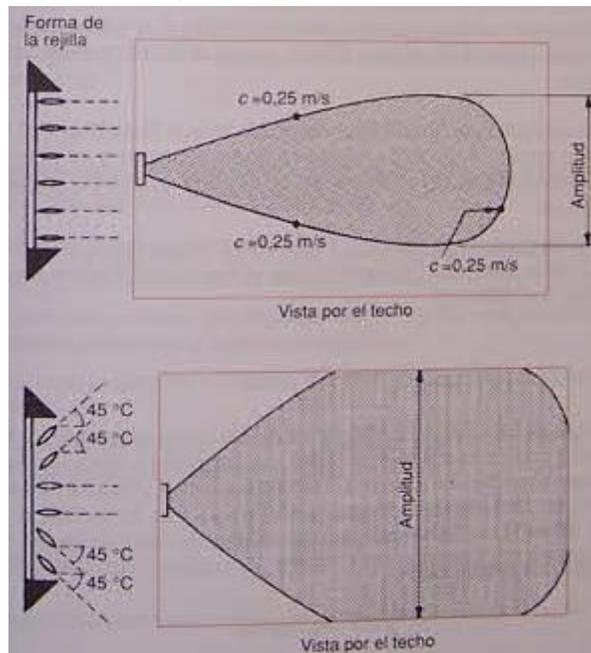


Fig.1: Representación esquemática de una vena de aire: a) con salida horizontal y b) con salida vertical.

4. Amplitud del difusor: Es la amplitud máxima de la zona medida en un plano horizontal, ver Fig. 2, y que está influenciada por la velocidad del aire y el ángulo de salida de las aletas de dicha rejilla o difusor.



5. Aire primario: Aire que es impulsado al local procedente del conducto.



6. Aire secundario: Aire que es arrastrado por el aire primario en su recorrido.
7. Aire total: Suma del aire primario y secundario.
8. Inducción: Efecto que se produce a consecuencia del arrastre del aire primario al salir de la boca de impulsión y arrastrar o inducir al aire secundario.
9. Relación de inducción: La relación entre el aire total con respecto al primario.

El efecto que provoca la inducción es de suma importancia pues esta influye en el alcance de la rejilla, al ser este último una función de la velocidad, y la disminución de la velocidad depende de la relación de inducción y del perímetro de la boca de impulsión, por lo que se deduce que si tuviese dos bocas de impulsión con la misma área de salida y perímetros diferentes, la de mayor perímetro tendrá menor flecha o alcance y viceversa. Por este motivo se prefiere el uso de difusores y rejillas circulares sobre las rectangulares (Carrier, 2009).

El aire es suministrado a un local o recinto determinado mediante rejillas y difusores que generalmente se colocan en el techo o en las paredes cerca de este. Las mismas están provistas de deflectores y alabes o guías directrices que posibilitan la dispersión y la velocidad del aire en la salida de estas, en función de las necesidades o requerimientos a lograr en la distribución de aire.

Es importante conocer que cuando se proyecta un chorro de aire cerca de una superficie se produce una adherencia del mismo sobre esa superficie, este fenómeno es lo que se conoce como *efecto coanda* (Carrier, 2009, Renedo, 2015), que debe tenerse en cuenta para ser o no aprovechado ya que cuando este se produce, disminuye la caída pero aumenta la flecha o alcance del chorro de aire impulsado, lográndose así que la corriente de aire llegue a lugares lejanos al punto de salida.



Un sistema de distribución de aire en un restaurante consta de los siguientes elementos:

1. *Campanas de inyección-extracción* que juegan un papel fundamental ya que son las encargadas de evacuar el aire contaminado (vapores, malos olores, humos), que se



generan en las planchas calientes y parrillas de cocción ubicadas dentro del espacio climatizado.

2. *Conductos de inyección y retorno* por donde circula el aire para mantener las condiciones de confort establecidas.
3. *Filtros* para eliminar las impurezas del aire de renovación o las grasas que emanan de la cocción de los alimentos.
4. *Elementos de difusión* que no son más que las rejillas, toberas y difusores por donde es suministrado o retornado el aire del local.
5. *Accesorios* permiten el control, regulación y funcionamiento eficiente del sistema tales como compuertas, dampers, mandos y reguladores.

Existen tres condiciones necesarias para una buena distribución de aire que son:

1. Temperatura del aire introducido en el local.
2. Velocidad de aire descargado al local.
3. Dirección del aire introducido en el local.

El diseño de distribución forma parte importante dentro de la selección del sistema adecuado para la climatización de un proyecto nuevo o la revaloración del existente, sobre todo cuando ésta es de confort, debido a que los volúmenes de aire y su distribución (puntos de difusión) deben estar correctamente calculados para no degradar la eficiencia y cumplir con las características de climatización mínimas de confort.

El aire introducido en un local debe distribuirse de manera tal que dentro de la zona de ocupación no existan grandes diferencias de temperatura, ya sea horizontal o vertical. Esto se puede controlar siempre que las alturas de un punto de difusión no excedan la elevación mínima del piso terminado de 2.40 metros, lo cual proporcionará mayores ventajas para la distribución apropiada de la calidad del aire y su velocidad si éste se entregara a las diferentes secciones de la habitación según el enfriamiento requerido de manera uniforme.

No obstante, se deberá mantener en todo momento el control sobre el flujo, la ubicación y la proyección de la inyección cercana o no del usuario, de manera que no se convierta en una situación incómoda.

En toda distribución de aire de inyección deberá considerarse que no se inyecte a corta distancia a un usuario, pues el cuerpo humano es un generador constante de calor y humedad, y al inyectar aire de manera directa sobre éste, se crea una película de



estancamiento de aire caliente y húmedo que envuelve al usuario, impidiendo que el cuerpo perciba de manera apropiada el acondicionamiento térmico.

Por lo tanto, el tipo de ocupación, la actividad física, el nivel de ruido aceptable y el grado de actividad de los ocupantes de un local cobran gran relevancia en el diseño. La velocidad de inyección del aire admisible en el recinto a climatizar generalmente rondará los 1,8 m/s en el punto de inyección inmediato para que éste sea aceptable en el rango de confort, debido a que habitualmente una velocidad de menos de 0,1 m/s se considera aire inmóvil, mientras que 0,25 m/s es apenas el movimiento del aire que alcanza a percibir una persona promedio.

El estándar de la Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (por su siglas en inglés *Ashrae*) 55-2010 (Atecyr,2012), contempla que no hay un movimiento mínimo de aire para que se logre el confort; pero sí establece las velocidades máximas de 30 pies por minuto (ppm) (0.15 m/s) a una temperatura de 72 °F (22 °C), o bien de 50 ppm (0.25m/s) para una temperatura de 78 °F (25 °C). También, establece que las bajas velocidades afectan siempre la uniformidad de temperatura en los espacios.

Numerosos experimentos aconsejan situar la velocidad del aire dentro del recinto ocupado en un intervalo de 0.15 y 0.20 m/s en invierno y en verano entre 0.20 y 0.40 m/s. En verano, la corriente convectiva o movimiento natural del aire tiende a llevar el aire caliente hacia el techo y en invierno van desde el techo hacia el suelo. Es evidente que para contrarrestar ambos fenómenos debe introducirse el aire acondicionado cerca del techo.

Otro aspecto muy importante en el acondicionamiento de locales de grandes dimensiones es la evacuación de los vapores del proceso de cocción de alimentos dentro del local, en el caso de un restaurante donde se cocine en su interior es mejor recurrir a la extracción localizada para evitar la expansión de gases, olores, grasas y calor que aumentarían la carga térmica dentro de este y por ende el aumento del consumo energético de la instalación.

Otros aspectos a la hora de diseñar y proyectar un sistema de distribución de aire (Renedo, 2015, Carrier, 2009) es muy importante tener en cuenta algunas consideraciones que se enumeran a continuación:

1. *Prevención de zonas mal acondicionadas*: Se produce cuando el retorno no está bien ubicado o la velocidad de impulsión del aire no es la suficiente, generalmente este es un problema de diseño y es muy difícil corregir en la práctica.



2. *Prevención de corto circuito:* Se produce cuando el aire inyectado en el local no es capaz de absorber la carga térmica debido a que las bocas de inyección están ubicadas cerca de las bocas de retorno.
3. *Prevención de estratificaciones:* Provoca que el aire caliente se acumule en la parte superior del local y este será más acentuado a medida que aumente la altura o puntal del local.
4. *Control de la velocidad final o residual:* Esto posibilita obtener una velocidad óptima en la zona ocupada.
5. *Control del nivel de ruido:* El ruido es un contaminante muy perjudicial a la salud humana cuando se rebasa el nivel permisible y se produce generalmente por un aumento de la velocidad efectiva en los elementos de difusión.

El restaurante caso de estudio posee un área total de 335 m² y fue concebido para trabajar con un sistema autónomo tipo vertical y partido de condensación por aire con un sistema de conductos donde se distribuía el aire por todo el local, en estas condiciones estuvo funcionando por espacio de 15 años y debido a la falta de mantenimiento especializado tanto de la unidad autónoma como del sistema de conducto, ya no se lograban las condiciones de confort en el local, esto misma situación se produce con el sistema de inyección-extracción sobre la plancha de cocción de alimentos que se encuentra ubicada dentro del local climatizado y la zona de cocción de pastas alimenticias. Ante esta incapacidad de obtener las condiciones termohigrométricas óptimas del local se decide el cambio de equipamiento sin mediar un estudio previo de dicha sustitución, sólo se mantuvo la capacidad frigorífica instalada correspondiente a 30 toneladas de refrigeración, por lo que fueron instalados 6 sistemas partidos (*split system*) y ubicados de forma equitativa en toda el área del restaurant.

A pesar de haberse instalado recientemente este equipamiento, en el local no se logran las condiciones de confort requeridas de forma equitativa, pues hay lugares donde el ambiente es agradable, pero en otros sitios es molesto. Tanto la falta de climatización como la intensidad de la incidencia del chorro de aire son causas de la mala distribución del aire expulsado por las unidades interiores de los sistemas *Split*, que no son capaces de manejar el volumen de aire requerido en el local, provocando reiteradas quejas e insatisfacciones de los clientes y el personal de servicio del restaurant.

Para realizar el análisis de las velocidades en el área ocupada y la distribución de temperatura en el local se diseñó el experimento donde se medirá la velocidad del aire, con la ayuda de un anemómetro, cuando llega a las tres diferentes distancias en las que se encuentran las filas de mesas: 2.43 m, 4.43 m y 6.65 m respectivamente, en la posición de



sentado, 1.22 m y de pie, 1.80 m. Estos equipos *split* en el mecanismo de rejilla logran una apertura completa en el barrido, pero se estacionó la misma a $\frac{3}{4}$ y apertura completa, ya que en estas es donde más factible operan con respecto a lo antes mencionado sobre el confort en las tres velocidades que el equipo brinda: alta, media y baja. De colocarse dicha rejilla con una apertura de $\frac{1}{2}$, (aunque casi nunca se utiliza esta opción), el viento incidiría muy bruscamente sobre los comensales, sobrepasando los 0.25 m/s establecidos para confort, por lo que esta prueba no se realizó, ya que inmediatamente se sabe que las condiciones no son las indicadas.

En la figura 4 se representa un croquis donde fueron tomadas las mediciones de velocidad del flujo de aire expulsado por la unidad interior de los *split*.



Figura 4: Croquis del local.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Distancia	2.43		4.43		6.65	
Altura	1.22	1.80	1.22	1.80	1.22	1.80
Velocidad alta						
Velocidad	1.80	3.95	1.80	1.13	1.65	0



Velocidad media						
	1.70	3.15	1.60	0.75	0	0
Velocidad baja						
	1.30	2.44	0.82	0	0	0

Al realizarse el experimento con la apertura completa en las diferentes distancias, los resultados obtenidos mostraron que el chorro de aire, en su totalidad, corre por encima de las mesas y personas, dando lugar a un valor nulo en cada toma, por lo que la tabla no se muestra. La sensación térmica que se siente en el local, referido a la temperatura ambiental, es debido a la transferencia de calor convectiva y conductiva que existe entre el chorro de aire que sale de la unidad interior con un temperatura inferior a la que rinde en el local.

En la instalación se pudo constatar que hay instalado un sistema de conducto de inyección y retorno aislado con lana de vidrio recubierta con *foil* de aluminio, y existen tres campanas de extracción ubicadas por encima de las mesas calientes y de la plancha de asado, esta última está en funcionamiento pero lo hace de forma intermitente, debido a que se dispara frecuentemente por alto consumo eléctrico. Además, el caudal de humo y calor extraídos por las campanas están afectados por el grado de deterioro de las rejillas y la carencia de filtros de grasa.

Al no estar en funcionamiento el sistema de conductos, el local se ve afectado en la inyección y extracción de aire viciado que se genera en este, ya que no existe la necesaria renovación de aire para evitar los olores que despiden los alimentos en su proceso de cocción y conservación. Todo esto provoca que se cree un ambiente que llega a su punto máximo cuando más concurrido está el local, además de crear molestias en el personal encargado de los servicios del restaurante.

Esta situación solo se resuelve si se ponen en funcionamiento los sistemas de extracción mediante el uso de las campanas e instalan cortinas de aire en las zonas calientes, de forma tal que el aire del local no sea evacuado al exterior a través del sistema de campanas.

A continuación se muestra la distribución de temperatura en el local y la amplitud y el alcance del chorro de aire en el restaurant caso de estudio:





Figura 5. Distribución de temperaturas y amplitud del chorro de aire.



Figura 6. Alcance de la vena de aire en el local.



Conclusiones:

Las pruebas realizadas demuestran que el sistema *Split* instalado en el recinto no cumple con los requisitos de velocidades de aire para lograr el confort necesario, pues las velocidades están por encima de lo establecido para la posición de apertura de la rejilla de salida de la unidad interior de $\frac{3}{4}$ y para las tres velocidades disponibles en él.

Para una apertura total de dicha rejilla, el chorro de aire se desplaza por encima de los ocupantes y choca con una estructura decorativa ubicada encima de las mesas frías y calientes, este chorro de aire también afecta la temperatura de los alimentos calientes en esta área. Por otro lado se observa que la temperatura en el local no es la óptima ni se logra una distribución homogénea de estas en el restaurante.

Bibliografía.

Grote, K. Instalaciones de climatización y ventilación. La técnica de difusión del aire. Revista frío y calor [en línea], 2012, (114), p. 28 – 34, consultado abril 2016. Disponible en: <http://www.cchryc.cl>

Carbonell, T.; Salgado, I. Sistema de enfriamiento con desecante para reducir consumo de energía en restaurante caso de estudio, 2016, Revista Ingeniería Energética. Volumen XXXVII (1):55-62. Cuba, consultado mayo 2016. ISSN 1815-5901. Disponible en <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>

Renedo, J, C. Distribución de aire, Tema # 10 [on-line], 2015, Universidad de Cantabria, Consultado marzo 2016, Disponible en: <http://www.personales.unican.es/unican.es/reneDOC/index/htm>.

Carrier, Manual de aire acondicionado, Marcombo S.A, Barcelona, 2009, ISBN: 978-84-267-1499-2.

Atecyr. Instalaciones de climatización con equipos autónomos. Guía técnica # 17. Madrid, España, 2012 Consultado abril 2016. ISBN: 978-84-96680-61-6. Disponible en: <http://www.idae.es>

