

# Qué impacto tienen las perforaciones en las puertas del gabinete en el flujo de aire para los equipos de TI

Por: Travis North  
Gerente de Diseño Térmico  
[tnorth@chatsworth.com](mailto:tnorth@chatsworth.com)

Publicado el 08/11



CHATSWORTH  
P R O D U C T S

**800-834-4969**

[techsupport@chatsworth.com](mailto:techsupport@chatsworth.com)  
[www.chatsworth.com.co](http://www.chatsworth.com.co)

## Índice:

Introducción .....	3
La física del flujo de aire a través de una placa perforada .....	3
Determinación del tamaño y tipo adecuados de perforación .....	4
Conclusión .....	9

## Nomenclatura:

$E$  = Energía

$P$  = Presión estática

$\rho$  = Densidad

$V$  = Velocidad

$g$  = Constante gravitacional

$h$  = Altura

$F$  = Coeficiente de pérdida

$AFC_{MD}$  = Relación de capacidad del flujo de aire de la puerta con malla

$S_D$  = Área de superficie abierta total de la puerta

$F_{ea}$  = Porcentaje de perforación

$A_c$  = Ancho del área abierta

$H_{rmu}$  = Altura de rmu

$N_{rmu}$  = Número de rmu

rmu = Altura de la unidad de montaje en bastidor

kV = kilovatios; V = Vatios

CFM = Pies Cúbicos por Minuto

CMH = Metros Cúbicos por Hora (m<sup>3</sup>/h)



## Introducción

Cuando elija una puerta de gabinete para su centro de datos, es fundamental preguntarse qué nivel de perforación será necesario. Las opiniones sobre esta cuestión son amplias y algunos expertos le dirán que para cargas de calor de alta densidad de 30 kW y superiores, necesita 80% de perforación, mientras que otros le dirán que se necesita 64% de perforación. La tecnología de centros de datos se desarrolla a un ritmo rápido y todos los días se realizan nuevos descubrimientos, que son la razón por la cual esta cuestión implica más que un número único. Este estudio le proporcionará las herramientas para identificar qué nivel de perforación de gabinete se adapta mejor a su aplicación específica y le mostrará que para un área transversal amplia, el uso de una perforación del 64% no tiene impacto sobre el flujo de aire y que no hay reducción del rendimiento, incluso en cargas de densidad extremas de 30 kW y superiores.

### La física del flujo de aire a través de una placa perforada:

Para efectuar un análisis completo de la pérdida de energía (pérdida de presión) debido al flujo de aire a través de una placa perforada, debemos comenzar con los principios básicos. La relación subyacente entre las pérdidas de energía a través de una placa perforada está directamente asociada con la velocidad total del flujo de aire a través de esa placa perforada y se relaciona con las pérdidas por fricción (pérdidas menores). Esta relación se define por la ecuación de Bernoulli a lo largo de una corriente natural en la fórmula de energía como:

$$E_1 = E_2 + E_f \quad [1]$$

La ecuación de energía básica puede desglosarse aún más hasta su fórmula fundamental como:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V_1^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 V_2^2 + \rho_2 g h_2 + \frac{1}{2}\rho_f F V_2^2 \quad [2]$$

Donde el último término de la ecuación 2 representa la menor pérdida de energía debido a la placa perforada:

$$P_{loss} = \frac{1}{2}\rho_f F V_2^2 \quad [3]$$

Lo que denota la ecuación [3] es que la pérdida de presión debido a una placa perforada está relacionada con la velocidad del aire que se desplaza a través de la placa y el coeficiente de pérdida F asociado con el diseño de la perforación. La velocidad a través de la placa perforada se calcula a partir de la relación de aire libre (FAR) de la perforación en sí, el tamaño del área perforada y el flujo de aire volumétrico total a través de la placa.

Esto sólo significa que la pérdida de presión o energía real para un flujo de aire determinado debido a la presencia de la placa perforada depende de tres factores clave:

1. ¿Qué tan grande es mi área perforada?
2. ¿Cuál es la relación de área abierta de la perforación?
3. ¿Cuál es el coeficiente de pérdida asociado con el tipo de perforación que elija?



Hemos efectuado estudios exhaustivos de cada uno de estos parámetros y, en las siguientes secciones, ilustraremos cómo tener en cuenta cada uno y los límites de cada tipo de perforación.

Es importante observar que este trabajo de investigación es una extensión que va más allá del diseño del centro de datos BICSI 002-2011 y la pauta de mejores prácticas de implementación. Mientras que la capacidad del flujo de aire para la relación de puertas con malla (AFCMD) de la especificación BICSI 002-2011 es:

$$AFC_{MD} = \frac{S_D F_{ea}}{A_c H_{rmu} N_{rmu}} \quad [4]$$

$AFC_{MD}$  es la relación de capacidad del flujo de aire de la puerta con malla

$S_D$  es el área de superficie abierta total de la puerta

$F_{ea}$  es el porcentaje de perforación

$A_c$  es el ancho del área abierta (17,75 pulg)

$H_{rmu}$  es la altura de una rmu individual (1,75 pulg)

$N_{rmu}$  es la cantidad de rmu

Para desarrollar esta especificación, deben realizarse determinadas conjeturas y simplificaciones sobre el flujo de aire máximo y la velocidad máxima de aire a través de la perforación con un bastidor completo del equipo de TI. Además, el Estándar BICSI también conjetura adicionalmente que si la perforación tiene un equivalente de 63% de espacio abierto, habrá un impacto de presión mínimo debido a la presencia de la perforación.

Este estudio lleva al Estándar BICSI un paso adelante para explorar el flujo de aire total asociado a través de la puerta perforada y cómo lo relaciona con la velocidad del flujo de aire, el tamaño y el tipo de perforación, así como la determinación de la pérdida de presión a través de la puerta. Este análisis no intenta reemplazar la relación de la capacidad del flujo de aire, sino mejorar aún más la comprensión del estándar.

### Determinación del tamaño y tipo adecuados de perforación

Ahora que a partir de la ecuación 3 sabemos cómo los coeficientes de perforación, velocidad y pérdida pueden impactar sobre la pérdida de presión a través de un gabinete, es hora de comprender el impacto que tiene esto sobre las aplicaciones en el mundo real. El primer paso para determinar la perforación adecuada para su aplicación es comprender los requisitos de flujo de aire del equipo que se utilizará en su gabinete. Si, por ejemplo, desea que el gabinete soporte 30 kW de carga de TI con los servidores, conmutadores y otros dispositivos generadores de calor, puede prever que el equipo funcionará en un aumento de temperatura de 30 °F (16,7 °C) desde la entrada del equipo hasta el escape del éste y necesitaría 3.154 CFM (1,49 m<sup>3</sup>/s) de flujo de aire para refrigerar su gabinete.



Para colocar esto aún más en perspectiva, utilizamos la herramienta de configuración de energía BladeCenter de IBM para modelar una aplicación en el mundo real. Modelamos un bastidor de 42 U totalmente cargado con cuatro chasis H BladeCenter de IBM en una configuración máxima utilizando seis cuchillas PS702 por chasis. La configuración consumió una energía medida máxima de 21,3 kW en un aumento de temperatura de 30 °F (16,7 °C). Esto se relaciona con un máximo de 2.288 CFM (1,08 m³/s) de consumo de flujo de aire medido. Es importante advertir que la mayoría de las herramientas de configuración de OEM proporcionará directamente el consumo de CFM del equipo de TI. Si no tiene el flujo de aire disponible de inmediato, le proporcionamos la Tabla 1 para calcular el CFM requerido para su aplicación.22.2.

Delta T (°C)	CMH	Energía (W)	Delta T (°F)	CFM	Energía(W)
11.1	2679	10000	20	1577	10000
11.1	5359	20000	20	3154	20000
11.1	8038	30000	20	4732	30000
16.6	1786	10000	30	1052	10000
16.6	3573	20000	30	2103	20000
16.6	5359	30000	30	3154	30000
22.2	1340	10000	40	789	10000
22.2	2679	20000	40	1577	20000
22.2	4018	30000	40	2366	30000

Tabla 1: Relación entre la carga del gabinete, el aumento de temperatura y el flujo de aire de refrigeración requerido

A continuación, necesitamos utilizar nuestros CFM del gabinete especificado anteriormente, identificar el tipo de perforación que deseamos analizar (relación de aire libre) y determinar el área transversal total que tenemos disponible para la perforación. La Figura 1 ilustra los tipos de perforación comunes para una FAR determinada. Las perforaciones comunes varían en tamaño y forma según la aplicación que se utilice. En nuestro estudio, hemos elegido muestras de perforaciones que abarcan desde el 40% hasta el 80% de FAR para ilustrar los extremos de nuestro análisis.



Figura 1: Muestras de perforaciones de izquierda a derecha, 40%, 56%, 64% y 80%

Ahora, podemos utilizar el área transversal y los niveles de CFM del gabinete para determinar nuestra velocidad de aproximación. Si continuamos utilizando nuestro ejemplo anterior que requiere 3.154 CFM (1,49 m³/s), y nuestra puerta perforada es de 2' por 6' (0,6 m x 1,8 m), se calcula que la velocidad de aproximación total de aire a través de la puerta de nuestro gabinete es de 263 LFM (1,3 m/s). Esto se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\text{Flujo volumétrico}}{\text{Área total}} \quad [5]$$

De la ecuación 3, puede observar que la velocidad está elevada al cuadrado y es el término dominante en el cálculo de la presión, y de la ecuación 5, es muy importante comprender que el área transversal total se utiliza para determinar la velocidad a través de la perforación. Si nuestra área de perforación hubiera sido de sólo 2' por 3' (0,61 m x 0,91 m), nuestra velocidad total se hubiera duplicado a 526 LFM (2,7 m/s), lo que finalmente cuadruplicaría la presión a través de la puerta.

Las Tablas 2 a 4 se amplían la Tabla 1 para proporcionar varias velocidades de aproximación para un área transversal determinada. Todo lo que debe hacer es identificar qué área transversal de las siguientes tablas desearía usar y consultar la velocidad de aproximación a través de la perforación. En la siguiente sección, utilizaremos esta velocidad para investigar la pérdida de presión a través de la perforación.

Delta T (°C)	CMH	Energía (W)	Ancho de la puerta (m)	Altura de la puerta (m)	Área total (m2)	Velocidad total (m/s)
11.1	2679.0	10000	0.61	1.80	1.10	0.68
11.1	5359.0	20000	0.61	1.80	1.10	1.36
11.1	8038.0	30000	0.61	1.80	1.10	2.03
16.6	1786.0	10000	0.61	1.80	1.10	0.45
16.6	3573.0	20000	0.61	1.80	1.10	0.90
16.6	5359.0	30000	0.61	1.80	1.10	1.36
22.2	1340.0	10000	0.61	1.80	1.10	0.34
22.2	2679.0	20000	0.61	1.80	1.10	0.68
22.2	4018.0	30000	0.61	1.80	1.10	1.02

Delta T (°F)	CFM	Energía (W)	Ancho de la puerta (pies)	Altura de la puerta (pies)	Área total (pies2)	Velocidad total (pies/min.)
20	1577.3	10000	2	6	12	131.4
20	3154.6	20000	2	6	12	262.9
20	4731.9	30000	2	6	12	394.3
30	1051.5	10000	2	6	12	87.6
30	2103.0	20000	2	6	12	175.3
30	3154.6	30000	2	6	12	262.9
40	788.64	10000	2	6	12	65.7
40	1577.3	20000	2	6	12	131.4
40	2365.9	30000	2	6	12	197.2

Tabla 2: Velocidad a través de la puerta perforada para un área de perforación de 2' por 6'

Delta T (°C)	CMH	Energía (W)	Ancho de la puerta (m)	Altura de la puerta (m)	Área total (m2)	Velocidad total (m/s)
11.1	2679.0	10000	0.61	0.91	0.56	1.33
11.1	5359.0	20000	0.61	0.91	0.56	2.67
11.1	8038.0	30000	0.61	0.91	0.56	4.00
16.6	1786.0	10000	0.61	0.91	0.56	0.89
16.6	3573.0	20000	0.61	0.91	0.56	1.78
16.6	5359.0	30000	0.61	0.91	0.56	2.67
22.2	1340.0	10000	0.61	0.91	0.56	0.67
22.2	2679.0	20000	0.61	0.91	0.56	1.33
22.2	4018.0	30000	0.61	0.91	0.56	2.00

Delta T (°F)	CFM	Energía (W)	Ancho de la puerta (pies)	Altura de la puerta (pies)	Área total (pies2)	Velocidad total (pies/min.)
20	1577.3	10000	2	3	6	262.9
20	3154.6	20000	2	3	6	525.8
20	4731.9	30000	2	3	6	788.6
30	1051.5	10000	2	3	6	175.3
30	2103.0	20000	2	3	6	350.5
30	3154.6	30000	2	3	6	525.8
40	788.64	10000	2	3	6	131.4
40	1577.3	20000	2	3	6	262.9
40	2365.9	30000	2	3	6	394.3

Tabla 3: Velocidad a través de la puerta perforada para un área de perforación de 2' por 3'

Delta T (°C)	CMH	Energía (W)	Ancho de la puerta (m)	Altura de la puerta (m)	Área total (m2)	Velocidad total (m/s)
11.1	2679.0	10000	0.30	0.91	0.28	2.67
11.1	5359.0	20000	0.30	0.91	0.28	5.34
11.1	8038.0	30000	0.30	0.91	0.28	8.01
16.6	1786.0	10000	0.30	0.91	0.28	1.78
16.6	3573.0	20000	0.30	0.91	0.28	3.56
16.6	5359.0	30000	0.30	0.91	0.28	5.34
22.2	1340.0	10000	0.30	0.91	0.28	1.34
22.2	2679.0	20000	0.30	0.91	0.28	2.67
22.2	4018.0	30000	0.30	0.91	0.28	4.00

Delta T (°F)	CFM	Power (W)	Door Width (ft)	Door Height (ft)	Total Area (ft²)	Total Velocity (ft/min)
20	1577.3	10000	1	3	3	525.8
20	3154.6	20000	1	3	3	1051.5
20	4731.9	30000	1	3	3	1577.3
30	1051.5	10000	1	3	3	350.5
30	2103.0	20000	1	3	3	701.0
30	3154.6	30000	1	3	3	1051.5
40	788.64	10000	1	3	3	262.9
40	1577.3	20000	1	3	3	525.8
40	2365.9	30000	1	3	3	788.6

Tabla 4: Velocidad a través de la puerta perforada para un área de perforación de 1' por 3'

Ahora que conocemos la velocidad para una aplicación determinada, podemos determinar la pérdida de presión a través de la perforación de nuestro gabinete. Para hacerlo, debemos comprender los coeficientes de pérdida relacionados con los diferentes tipos de perforación. Esto se logra por medio de pruebas experimentales de las diferentes muestras de perforación que se muestran en la Figura 1. Se utilizó una cámara de flujo diseñada de acuerdo con la norma 210-99 de ACMA para determinar la impedancia de cada una de las distintas muestras que abarcan desde el 40% al 80% de perforación. El resumen de los datos de la prueba se ilustra en la Figura 2.

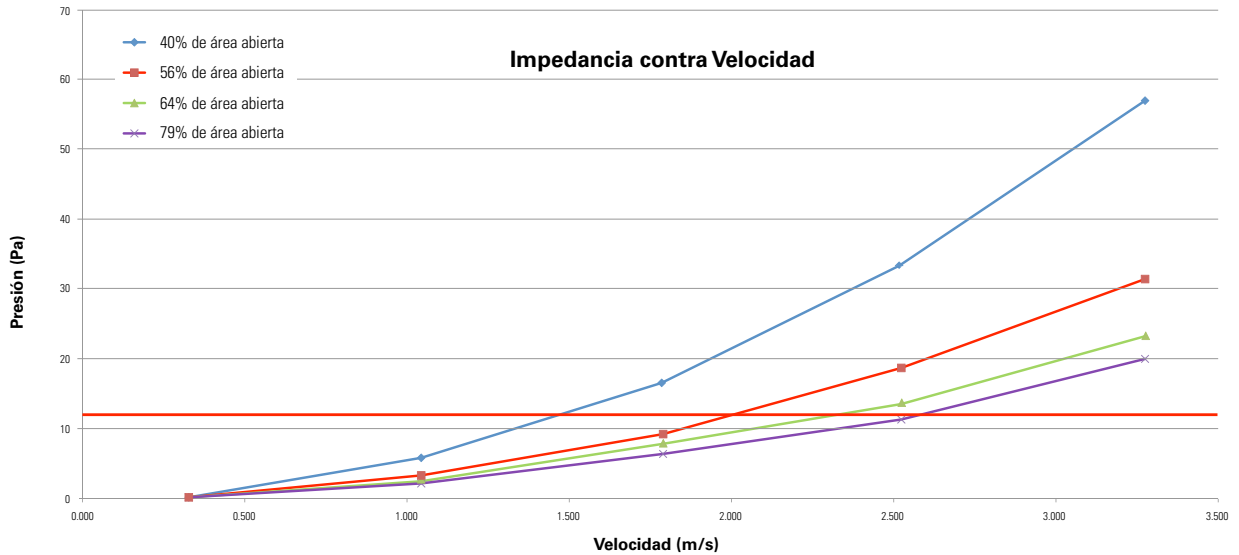


Figura 2: Resultados de la prueba de impedancia de la perforación.

Si utilizamos nuestro ejemplo anterior de un área de perforación transversal de 2' por 6' (0,61 m x 0,91 m) con 3.154 CFM (1,49 m<sup>3</sup>/s) de consumo de flujo de aire de TI (que soporta 30 kV de carga de TI), la velocidad de aproximación total de aire en el material perforado es de 263 LFM (1,3 m/s). Si ahora utilizamos nuestras curvas de impedancia obtenidas mediante los datos de la prueba experimental, que se muestran en la figura 3, y comparamos cada tipo de perforación para nuestra velocidad de aproximación ilustrada de 263 LFM (1,3 m/s), puede observar que para un 40% de perforación de la puerta, sólo tenemos una pérdida de presión de 0.025" H<sub>2</sub>O (6,2 Pa). Con 56% de perforación, sólo tenemos una pérdida de presión de 0.015" H<sub>2</sub>O (3,7 Pa), y con el 64% y 80% tenemos pérdidas de presión perceptiblemente iguales de 0.01" H<sub>2</sub>O (2,5 Pa).

Para comprender en qué medida es aceptable la pérdida de presión, es importante conocer cómo funcionan los ventiladores de los equipos de TI. A velocidades superiores, los ventiladores de TI pueden tener presiones de funcionamiento en la escala de 0.6" H<sub>2</sub>O (149,5 Pa) a 1.0" H<sub>2</sub>O (249 Pa) o superiores, según el diseño y el punto de funcionamiento del sistema, y hemos determinado que 0.05" H<sub>2</sub>O (12,5 Pa) es el punto crítico en el que la presión provocará que el servidor y los ventiladores de los equipos de TI consuman energía adicional. Este límite de presión crítica se ilustra en la Figura 3 como la línea horizontal roja. Se ilustra que incluso en un 40% de perforación, la pérdida de presión de 0.025" H<sub>2</sub>O (6,2 Pa) es mínima en comparación con el punto de funcionamiento de los ventiladores del sistema de TI y tendrá un impacto insignificante sobre el rendimiento del equipo de TI. También es importante advertir que ésta es la presión a través de una puerta perforada individual. Si se utiliza una puerta delantera y una trasera perforadas, los términos de presión son aditivos. Para nuestro ejemplo anterior, puede observar que todos los tipos de perforación diferentes satisfacen nuestro requisito de diseño, y que todos tienen menos de 0.05" H<sub>2</sub>O (12,5 Pa) y su uso sería aceptable.

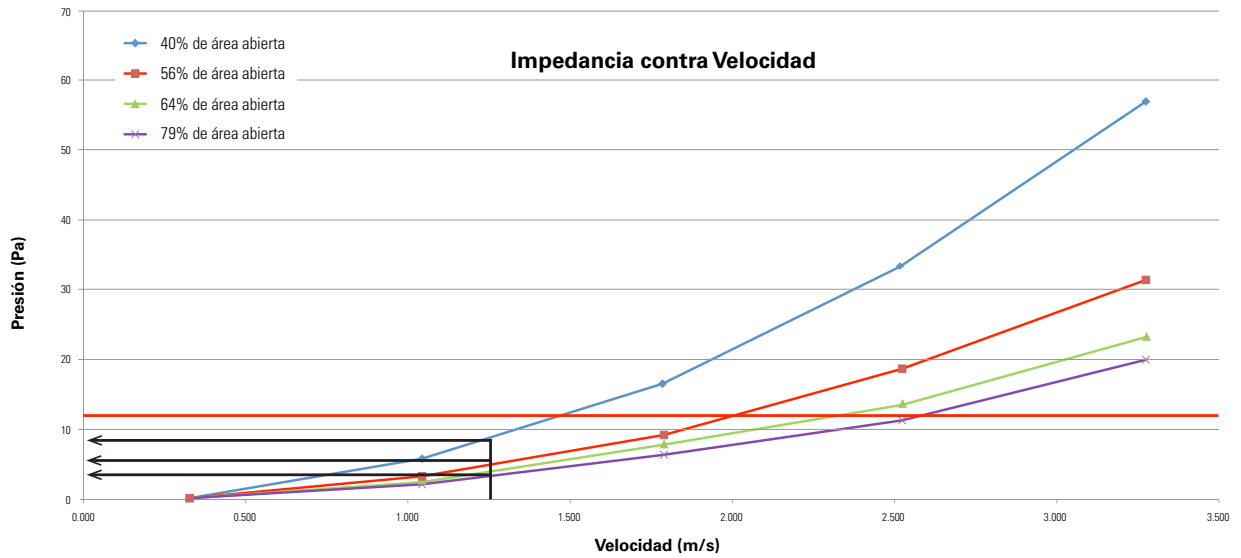


Figura 3: Puntos de funcionamiento del sistema para diferentes perforaciones en 263 LFM

Si llevamos esto al caso extremo de 30 kV de carga de TI en un aumento de temperatura de 20 °F (11,1 °C) a través de nuestro equipo, en la Tabla 2 puede observar que el consumo de CFM por bastidor sería de 4.731 CFM (2.2 m<sup>3</sup>/s) con una velocidad de aproximación de 394 LFM (2.0 m/s), que es más del doble del requisito de flujo de aire de un bastidor totalmente configurado de los sistemas BladeCenter de IBM. Nuevamente, si utilizamos nuestros datos de impedancia para comparar el punto de funcionamiento de nuestro sistema ilustrado en la Figura 4, puede obtener las diferentes pérdidas de presión para cada tipo de perforación. En este caso extremo:

- El 40% de perforación provoca una pérdida de presión de 0,08" H<sub>2</sub>O (20,0 Pa)
- El 56% de perforación provoca una pérdida de presión de 0,045" H<sub>2</sub>O (11,0 Pa)
- El 64% de perforación provoca una pérdida de presión de 0,034" H<sub>2</sub>O (8,5 Pa)
- El 80% de perforación provoca una pérdida de presión de 0,03" H<sub>2</sub>O (7,5 Pa)

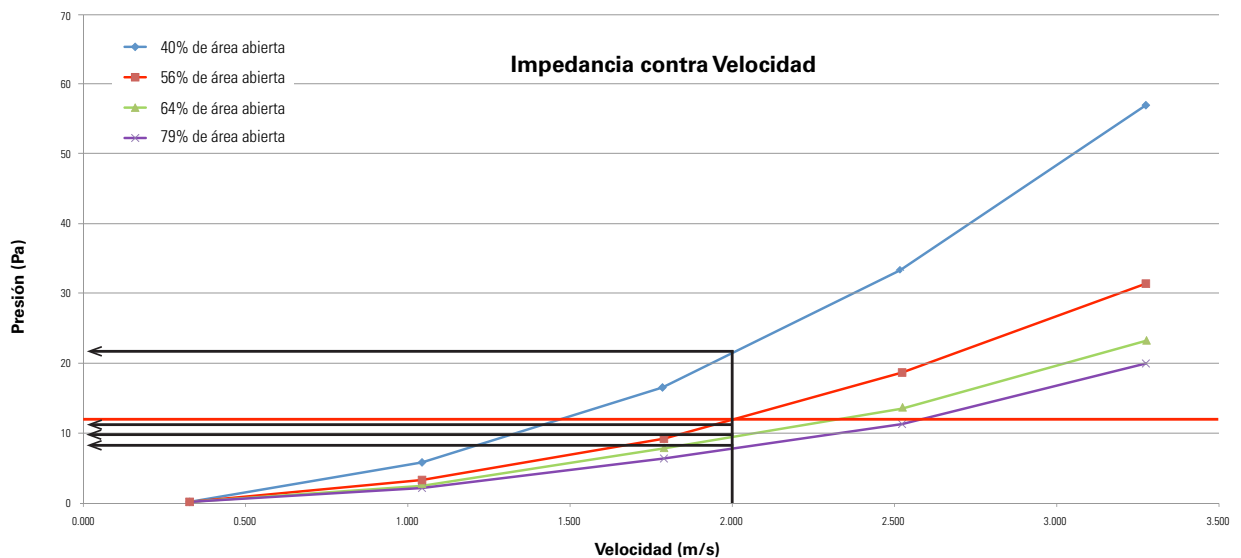


Figura 4: Puntos de funcionamiento del sistema para diferentes perforaciones en 394 LFM



Incluso en este caso extremo, puede observar que la pérdida de presión de entre 80% y 64% es inferior a 0.004" H<sub>2</sub>O (1 Pa), la cual no es detectada por el equipo de TI. De estos dos ejemplos, puede observar que si la velocidad del gabinete diseñado para un área de perforación de 2' por 6' (0,61 m x 0,91 m) es inferior a 263 LFM (1,3 m/s), el tipo de perforación tiene un impacto mínimo. Y en velocidades del gabinete extremas de 394 LFM (2,0 m/s), la pérdida de presión a través del 56% es aceptable y la diferencia entre el 64% y el 80% de perforación es mínima.

Al comparar este análisis con la especificación BICSI 002-2011 que se muestra en la ecuación 4, ahora puede observar que la conjetura utilizada para determinar la relación de aire abierto permitida máxima del 63% sobre la apertura total de la puerta de TI es adecuada. Esto se relacionaría con un descenso de presión del flujo de aire de TI máximo normal de 0.034" para el caso extremo de 394 LFM (2,0 m/s) del caso de prueba anterior.

## Conclusión

En este estudio, proporcionamos el análisis fundamental de cómo calcular la pérdida de presión del flujo de aire a través de una placa perforada. Aprendimos que la pérdida de presión (o pérdida de energía) no sólo depende de la perforación al nivel del gabinete, sino del flujo de aire total a través de la perforación y el área transversal total de la perforación. Las herramientas proporcionadas aquí pueden utilizarse para determinar la pérdida de presión a través de perforaciones que abarcan desde el 40% hasta el 80% para una variedad de cargas de TI.

Para los dos ejemplos de carga extrema del gabinete, 30 kW en un aumento de temperatura de 30 °F (16,7 °C) y de 20 °F (11,1 °C), ilustramos que la diferencia en la pérdida de presión entre el 64% y 80% de perforación era mínima y es tan pequeña que la presión debido a la perforación tendría un impacto insignificante en el consumo de energía del ventilador de TI.

Además, es importante comprender que la pérdida de presión no es el único factor que se debe tener en cuenta al elegir un tipo de perforación. Otros factores que se deben considerar relacionados con la puerta y la perforación del gabinete para soportar adecuadamente su equipo de TI, así como la pérdida de presión, son la seguridad del gabinete, la rigidez estructural y el diseño industrial. Tenga en cuenta estos factores cuando determine qué porcentaje de perforación necesitará para equilibrar las características y el rendimiento con el fin de garantizar la mejor solución integral.



**Travis North** es un experto en el campo de la transferencia de calor monofásica y bifásica y en el diseño de sistemas electromecánicos. Antes de sumarse a Chatsworth Products, Travis se desempeñó como Arquitecto Térmico Principal en Dell Inc. y fue responsable del diseño de muchos de los productos de los puestos de trabajo de Dell. Travis se desempeña en el comité de Operaciones de Green Grid, el comité de DCDG y asesora al grupo de trabajo de control térmico. Actualmente, Travis es responsable de desarrollar la línea de soluciones térmicas de Chatsworth.