

8. ANÁLISIS EN EL USO DE CAUDALES EQUIVALENTES

Este último punto ha sido separado del anterior ya que se aleja de la comparación entre los procedimientos de cálculo de ambos modelos. En este apartado se pretende analizar la posibilidad de usar caudales equivalentes de ventilación en los procedimientos de cálculo, tanto en el modelo simplificado como en la capacidad específica de ventilación utilizados por la herramienta de verificación del cumplimiento del CTE, de forma que los resultados obtenidos se aproximen lo máximo posible al comportamiento real del edificio salvando de alguna forma las limitaciones que conllevan ambos modelos.

8.1 Caudales equivalentes en el modelo simplificado

El modelo simplificado implementado en la herramienta de verificación de la limitación de la demanda y consumo energético del CTE utiliza el proceso de cálculo desarrollado en el apartado 5 del presente estudio con algunas restricciones que demuestran un comportamiento aún más básico que el descrito en ese apartado. A continuación se detallan las más importantes, y que serán las estudiadas en apartados posteriores:

- Cuando se define un edificio con esta herramienta, se designa por defecto una tasa de ventilación de 0,63 renovaciones hora. Si bien, es cierto que, en la última versión de la herramienta existe la posibilidad de modificar el caudal de ventilación introduciendo un nuevo valor para este caudal en litros segundo.
- Por otro lado, el valor de la permeabilidad global del edificio adquiere un valor por defecto según su tipología y ésta no puede ser modificada al definir la el edificio. Para viviendas unifamiliares, el valor de la permeabilidad global a 1 Pa será de 0,30 renovaciones hora, lo que transformado a 50 Pa determina que el n50 para este tipo de viviendas tendrá en cualquier caso un valor de 4,125 renovaciones hora. En el caso de viviendas en bloque, el valor de la permeabilidad global a 1 Pa es de 0,24 renovaciones hora y el n50 obtiene un valor de 3,300 renovaciones hora.
- Por último en este modelo, las aberturas de ventilación consisten en rejillas convencionales dimensionadas para dejar pasar todo el caudal de ventilación a 20 Pa, y no existe la posibilidad de modificar ni la tipología, ni el criterio de diseño de las rejillas.

8.1.1 Reducción de la permeabilidad de los opacos

Como se ha indicado, en el modelo simplificado implementado en esta herramienta, la permeabilidad global del edificio siempre adquiere un valor predefinido que no puede ser modificado. En el caso de que en una vivienda se actúe sobre la permeabilidad de los opacos reduciendo su nivel, la permeabilidad global del edificio también se reduciría, sin embargo, como se ha dicho, en la herramienta de cálculo no existe la posibilidad de modificar este parámetro cuando se define un edificio. Por ello se propone el uso de un caudal de ventilación equivalente que simule el efecto de la mejora en la permeabilidad global del edificio.

Cuando se reduce la permeabilidad global de un edificio, la estanqueidad del mismo aumenta, lo que reduce por norma general el nivel de las infiltraciones. Por otro lado, estas

infiltraciones están directamente relacionadas con el caudal de ventilación de la vivienda. Lo que se busca es un caudal de ventilación equivalente que, con la permeabilidad global del edificio predefinida por la herramienta, se generen las mismas infiltraciones que se conseguirían en el caso de que se redujera la permeabilidad global del edificio manteniendo el caudal de ventilación original.

Para explicar el procedimiento a seguir se utilizará como ejemplo el caso 01. Este caso ha sido simulado con la herramienta utilizando el modelo simplificado, aportándole diferentes valores a la tasa equivalente de ventilación.

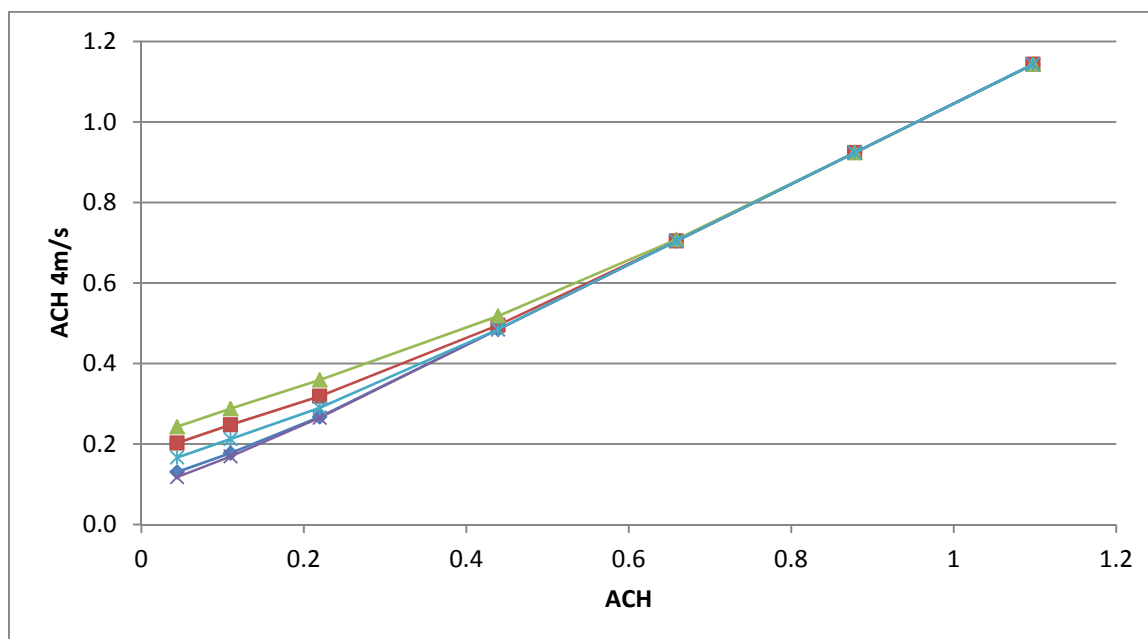


Ilustración 28. Tasa equivalente de ventilación e infiltración a 4m/s según modelo simplificado. Caso 01

En principio, este modelo no permite modificar la permeabilidad global del edificio, dándole en cualquier caso el valor de 4,125 ren/h (línea verde), sin embargo, modificando los archivos de definición del caso es posible modificar este parámetro y conseguir las diferentes líneas en función de las permeabilidades globales.

En el caso de que se actuase sobre la permeabilidad de los opacos, aumentando su estanqueidad, la tasa de infiltraciones se reducirá. Como se indica en la siguiente gráfica, para la tasa de ventilación, ACH_v , de 0,35 ren/h, el nivel óptimo de permeabilidad global, n50, sería de 1 ren/h. Para esta tasa de ventilación carece de sentido seguir reduciendo la permeabilidad de la envuelta puesto que se encuentra en la diagonal.

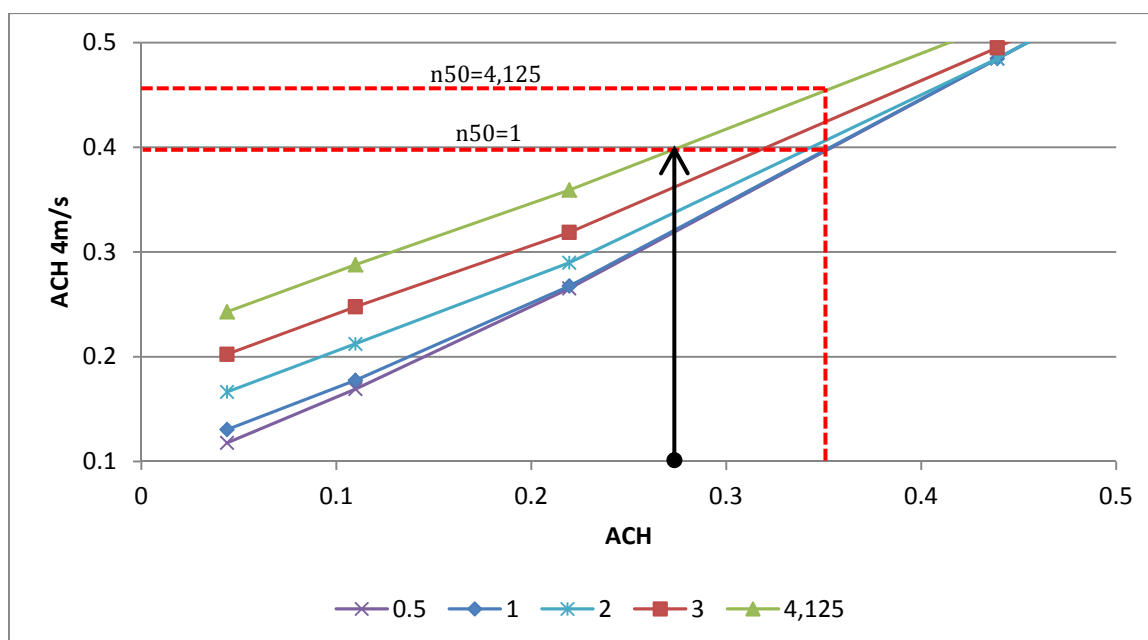


Ilustración 29. Cálculo gráfico de la tasa equivalente de ventilación al reducir la permeabilidad global utilizando el modelo simplificado. Caso 01

En el caso de que se alcanzase la permeabilidad global, n50, de 1 ren/h, para poder simular el caso con el modelo simplificado, que siempre lo hace con un n50 de 4,125 ren/h, se debe utilizar una tasa de ventilación equivalente de forma que las infiltraciones se mantengan idénticas. En este caso, para conseguir la misma tasa de infiltraciones se debe utilizar una tasa de ventilación equivalente con un valor de 0,27 ren/h.

8.1.2 Recuperación de calor del caudal de extracción

Otra de las posibilidades que no ha sido implementada en el modelo simplificado de la herramienta verificación del CTE es evaluar el efecto producido al llevar a cabo la recuperación de calor del aire de extracción. La recuperación de calor del aire de extracción consiste en un intercambiador aire-aire que transfiere parte del calor del aire que se extrae del edificio, y que se encuentra en condiciones de temperatura interior, al flujo de aire ventilación, que se encuentra en condiciones exteriores y se va a introducir al edificio. Con la recuperación de calor se consigue que parte del flujo de aire en condiciones exteriores que se introduce en el edificio, adquiera las condiciones interiores, lo que reduce la carga térmica sobre los sistemas y mejora el comportamiento energético del edificio.

El efecto que tiene la recuperación de calor del aire de extracción sobre la ventilación es equivalente a la reducción del caudal de aire de ventilación. De esta forma, en el modelo simplificado se puede evaluar este efecto en un caso determinado utilizando una tasa de ventilación equivalente que reduzca la carga energética del edificio de la misma forma que lo hace la recuperación de calor

8.1.3 Reducción de las aberturas de ventilación

Por último, como se comentó al inicio del capítulo, en el modelo simplificado de la herramienta se establece por defecto el uso de rejillas convencionales dimensionadas para dejar pasar todo el caudal de ventilación a 20 Pa. Este parámetro no puede ser modificado al

definir la ventilación del edificio, sin embargo, es posible simular el efecto del uso de diferentes tipos de rejillas o la reducción del tamaño de las mismas, si se utiliza un caudal de ventilación equivalente.

Al utilizar aberturas de ventilación más pequeñas, o que limiten el flujo de aire que pasa a través de las mismas, se traduce en una reducción del caudal de ventilación. Por lo tanto, para evaluar esta variable en el modelo simplificado implementado en la herramienta se puede optar por simular la vivienda con una tasa equivalente de ventilación más pequeña, de forma que se consiga el mismo nivel de infiltraciones.

8.2 Caudales equivalentes en la capacidad adicional de ventilación. Uso de tecnologías de ventilación

En este apartado lo que se pretende analizar es el comportamiento de la herramienta de la capacidad adicional en el cálculo de la tasa equivalente de ventilación e infiltración cuando se usan diferentes tecnologías de ventilación. Cabe recordar, que en el modelo simplificado, el uso de tecnologías que reducen el caudal de ventilación adaptándolo a las necesidades de cada momento se traducían simplemente en una reducción del número de renovaciones horas establecidas en el HS3.

En la capacidad adicional, por el contrario, el uso de tecnologías de doble, triple o cuádruple nivel conllevan una modificación horaria del caudal de ventilación del edificio en función de la distribución y el número de espacios.

Lo que se ha estudiado en esta sección es como varía el comportamiento de la herramienta cuando calcula la tasa equivalente de ventilación e infiltración si en lugar de usar los diferentes niveles de ventilación, se le asigna a la vivienda un caudal equivalente constante durante todo el día. De forma que se sustituye una tecnología de doble, triple o cuádruple nivel con múltiples caudales de ventilación por una tecnología de simple nivel con un solo caudal equivalente.

8.2.1 Cálculo de los caudales equivalentes

Para determinar el caudal equivalente a cada una de las tecnologías se calculará el caudal medio diario entre los 24 caudales horarios establecidos por cada nivel de ventilación de la siguiente forma:

- Simple nivel: caudal de extracción constante durante las 24 horas del día. Se considera como caudal de extracción, el caudal máximo entre los caudales de locales secos y locales húmedos del edificio.

$$q_1 = \max \left(\sum q_{vent}^{S+D} ; \sum q_{vent}^B \right) \rightarrow q_{vent_e} = q_1$$

- Doble nivel: se diferencian dos caudales a lo largo del día. Durante 22 horas solo se considera el caudal de los locales secos, y 2 horas al día se considera el máximo entre locales secos y locales húmedos.

$$\left. \begin{array}{l} q_1 = \sum q_{vent}^{S+D} \\ q_2 = \max \left(\sum q_{vent}^{S+D} ; \sum q_{vent}^B \right) \end{array} \right\} q_{vent_e} = \frac{22 q_1 + 2 q_2}{24}$$

- **Triple nivel:** se establecen tres caudales diferentes a lo largo de un día. Durante 18 horas solo se evalúan los locales secos, 2 horas al día solo los locales húmedos y las restantes 4 horas se evalúa el caudal correspondiente a 0,1 renovaciones hora del edificio.

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \sum q_{vent}^{S+D} \\ q_2 &= \sum q_{vent}^B \\ q_3 &= 0,1 Vol_{vivienda} \end{aligned} \right\} q_{vent_e} = \frac{18 q_1 + 2 q_2 + 4 q_3}{24}$$

- **Cuádruple nivel:** se establecen cuatro caudales. Durante 8 horas se evalúa el caudal correspondiente a los dormitorios, 2 horas al día los correspondientes a los baños, 4 horas al día el correspondiente a 0,1 renovaciones hora del edificio al completo y las restantes 10 horas corresponden al caudal relativo al salón.

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \sum q_{vent}^D \\ q_2 &= \sum q_{vent}^B \\ q_3 &= 0,1 Vol_{vivienda} \\ q_4 &= \sum q_{vent}^S \end{aligned} \right\} q_{vent_e} = \frac{8 q_1 + 2 q_2 + 4 q_3 + 10 q_4}{24}$$

8.2.2 Análisis del caso 01

Para explicar el procedimiento llevado a cabo en este análisis, utilizaré el caso 01 como ejemplo, que ha sido simulado con cada una de las diferentes tecnologías de ventilación para luego comparar los resultados obtenidos en el caso de utilizar un caudal equivalente. Para ello, el primer paso ha sido calcular cada uno de los caudales de ventilación correspondientes a las cuatro tecnologías.

	Nivel 1			Nivel 2			Nivel 3			Nivel 4		
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4		
Salón	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0	6.0		
Pasillo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8	0.0		
Dormitorio	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0	1.3	10.0	0.0	1.3	0.0		
Aseo	15.0	0.0	15.0	0.0	15.0	0.7	0.0	15.0	0.7	0.0		
TOTAL (l/s)	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0	4.8	10.0	15.0	4.8	6.0		

Tabla 24. Caudales de ventilación según espacios y tecnologías de ventilación. Caso 01

A continuación, se ha simulado el caso con las 4 tecnologías de ventilación y la herramienta devuelve el caudal de aire de entrada al sistema correspondiente a cada uno de los caudales de ventilación que existen para cada nivel, es decir, para las tecnologías de simple, doble, triple o cuádruple nivel, la herramienta devuelve uno, dos, tres o cuatro caudales de entrada al sistema respectivamente.

	Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3			Nivel 4			
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4
q_{vent}	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0	4.8	10.0	15.0	5,0	6.0
q_{sys}	20.9	20.9	20.9	20.9	20.3	14.2	17.3	20.3	14.2	14.8

Tabla 25. Caudales equivalentes según tecnologías de ventilación. Caso 01

Estos caudales son horarios, y se distribuyen a lo largo del día según el Schedule de cada tecnología. Para conseguir un solo caudal que sirva de variable de comparación, se realiza la media diaria con las ecuaciones indicadas en la parte superior.

El caudal de ventilación equivalente para cada tecnología quedará de la siguiente forma:

$$\text{Simple nivel: } q_{equiv} = q_1 = 16,0 \text{ l/s}$$

$$\text{Doble nivel: } q_{equiv} = \frac{22 * 16,0 + 2 * 16,0}{24} = 16,0 \text{ l/s}$$

$$\text{Triple nivel: } q_{equiv} = \frac{18 * 16,0 + 2 * 15,0 + 4 * 4,8}{24} = 14,1 \text{ l/s}$$

$$\text{Cuádruple nivel: } q_{equiv} = \frac{8 * 10,0 + 2 * 15,0 + 4 * 4,8 + 10 * 6,0}{24} = 7,9 \text{ l/s}$$

La equivalencia para los caudales de entrada al sistema será:

$$\text{Simple nivel: } q_{sys_e} = q_1 = 20,9 \text{ l/s}$$

$$\text{Doble nivel: } q_{sys_e} = \frac{22 * 20,9 + 2 * 20,9}{24} = 20,9 \text{ l/s}$$

$$\text{Triple nivel: } q_{sys_e} = \frac{18 * 20,9 + 2 * 20,3 + 4 * 14,2}{24} = 19,8 \text{ l/s}$$

$$\text{Cuádruple nivel: } q_{sys_e} = \frac{8 * 17,3 + 2 * 20,3 + 4 * 14,2 + 10 * 14,8}{24} = 16,0 \text{ l/s}$$

Una vez calculados los caudales equivalentes, se han utilizado los de ventilación para volver a simular el mismo caso asignándole una tecnología de simple nivel con el caudal de ventilación correspondiente, obteniéndose los siguientes resultados, en los que se puede observar como los valores del caudal de entrada al sistema (q_{sys}) obtenidos con ambos métodos son idénticos:

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
q_{vent_e}	16.0	16.0	14.1	7.9
q_{sys}	20.9	20.9	19.8	16.0
q_{sys_e}	20.9	20.9	19.8	16.1

8.2.3 Análisis del caso 03. Vivienda sin cocina

Para analizar el comportamiento de la herramienta en el caso 03 se seguirá el mismo procedimiento anterior. En primer lugar se calculan los diferentes caudales para cada tecnología:

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3			Nivel 4			
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4	
D1	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.7	5.0	0.0	0.8	0.0	
D2	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	1.2	5.0	0.0	0.8	0.0	
D3	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.7	5.0	0.0	0.6	0.0	
Salón	9.0	9.0	9.0	9.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.3	9.0	
Pasillo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	
Aseo1	15.0	0.0	15.0	0.0	15.0	0.4	0.0	15.0	1.0	0.0	
Aseo2	15.0	0.0	15.0	0.0	15.0	0.9	0.0	15.0	0.4	0.0	
TOTAL (l/s)	30.0	24.0	30.0	24.0	30.0	5.1	15.0	30.0	5.8	9.0	

Tabla 26. Caudales de ventilación según espacios y tecnologías de ventilación. Caso 03

Una vez conocidos los caudales de ventilación para cada tecnología se simula el caso con la herramienta de cálculo de la capacidad adicional y se obtienen los caudales de entrada al sistema asociados a cada caudal de ventilación:

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3			Nivel 4			
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4	
q_{vent}	30.0	24.0	30.0	24.0	30.0	5.1	15.0	30.0	5.8	9.0	
q_{sys}	33.6	28.7	33.6	28.7	33.6	17.7	23.2	33.6	17.7	19.8	

Tabla 27. Caudales equivalentes según tecnologías de ventilación. Caso 03

Estos son caudales horarios, para calcular sus equivalentes diarios se utilizan las ecuaciones indicadas al comienzo del capítulo. Con los caudales medios diarios se vuelve a simular el caso utilizando una tecnología de simple nivel. A continuación se indican los resultados obtenidos:

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
q_{vent_e}	30.0	24.5	21.3	12.2
q_{sys}	33.6	29.1	27.3	21.7
q_{sys_e}	33.6	29.1	26.7	21.6

Se vuelven a obtener resultados que demuestran la proximidad en el cálculo utilizando un cálculo con tecnología de múltiple nivel y utilizando una de simple nivel con un caudal equivalente.

8.2.4 Análisis del caso 03. Vivienda con cocina

En este análisis se va a utilizar la misma vivienda que en el apartado anterior con la particularidad de que se incluye un espacio con el uso de cocina en lugar del aseo 1. Como se indicó en apartados anteriores, este tipo de espacios tienen un comportamiento

independiente en el cálculo del caudal de ventilación siguiendo su propio Schedule, descrito a continuación:

- Caudal cocina: el caudal de extracción de la cocina permanece constante durante 22 horas cumpliendo con lo establecido en el HS3 de 2 l/sm², y las restantes 2 horas el caudal de extracción será de 100 l/s.

$$\left. \begin{array}{l} qc_1 = 2 \text{ l/sm}^2 \\ qc_2 = 100 \text{ l/s} \end{array} \right\} q_{vent_e} = \frac{22 qc_1 + 2 qc_2}{24}$$

Realizando el mismo procedimiento llevado a cabo en el resto de ejemplos, he comprobado a raíz de los resultados obtenidos que la herramienta de cálculo no evalúa bien los caudales de ventilación cuando se incluye un espacio del tipo cocina. Como se ha indicado, el espacio cocina tiene su propio Schedule, por lo tanto la herramienta de cálculo asigna el caudal de ventilación correspondiente a cada tecnología y el caudal correspondiente a la cocina de forma independiente. De tal forma que para una ventilación de simple, doble, triple o de cuádruple nivel se tienen dos, tres, cuatro y cinco caudales de ventilación respectivamente. Según el procedimiento realizado anteriormente, el cuadro de caudales de ventilación quedaría de la siguiente forma:

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3			Nivel 4			Cocina
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4	qc
D1	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.8	5.0	0.0	0.8	0.0	-
D2	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.8	5.0	0.0	0.8	0.0	-
D3	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.6	5.0	0.0	0.6	0.0	-
Salón	9.0	9.0	9.0	9.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3	9.0	-
Pasillo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	-
Cocina	15.0	0.0	15.0	0.0	15.0	0.6	0.0	15.0	1.0	0.0	100.0
Aseo2	15.0	0.0	15.0	0.0	15.0	0.4	0.0	15.0	0.4	0.0	-
TOTAL (l/s)	30.0	24.0	30.0	24.0	30.0	5.4	15.0	30.0	5.8	9.0	100.0

Tabla 28. Caudales de ventilación según espacios y tecnologías de ventilación. Valores teóricos. Caso 03 con cocina

Como se puede observar, para cada tecnología se calculan los caudales que les corresponden y además se asigna durante 2 horas al día el caudal correspondiente a la cocina.

Sin embargo, analizando los resultados obtenidos en la herramienta de cálculo, se ha comprobado que el Schedule de la cocina provoca un error al asignar los caudales de ventilación, quedando el cuadro de caudales de la siguiente forma:

	Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3			Nivel 4			
	q1	q1	q2	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q4
D1	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.8	5.0	0.0	0.8	0.0
D2	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.8	5.0	0.0	0.8	0.0
D3	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	0.6	5.0	0.0	0.6	0.0
Salón	9.0	9.0	9.0	9.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3	9.0
Pasillo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Cocina	15.0	15.0	100.0	15.0	100.0	25.3	15.0	100.0	25.3	-
Aseo2	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0
TOTAL (l/s)	30.0	24.0	100.0	24.0	100.0	25.7	15.0	100.0	25.7	9.0

Tabla 29. Caudales de ventilación según espacios y tecnologías de ventilación. Valores calculados por la capacidad adicional específica. Caso 03 con cocina

Comparando ambas tablas, se aprecia el error que se produce al asignar los caudales al espacio con uso de cocina. Los valores 15.0, 100.0 y 25.3 hacen referencia al caudal de cocina correspondiente a los 2 l/sm², los 100 l/s y las 4 renovaciones horas de verano respectivamente.

Las desviaciones que se consiguen en estos valores, hace imposible el cálculo de los caudales de ventilación equivalentes.