

## Simulación dinámica a tiempo real mediante CFD de unidades terminales de distribución de aire

Roberto Rodríguez Prades  
Business Development Manager  
Distribución de Aire & Sistemas Aire-Agua

## **ROBERTO RODRÍGUEZ PRADES**

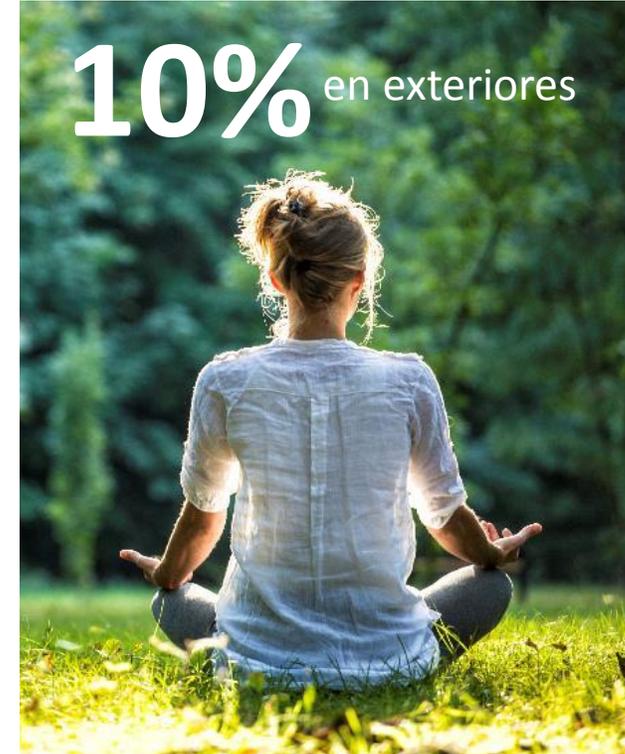
### **Business Development Manager TROX España**

Previamente Técnico Comercial de TROX España, hasta su promoción como responsable de negocio, puesto que actualmente desempeña.

- 
- Ingeniero Industrial por la Universidad de Zaragoza, en la especialidad de ingeniería mecánica
  - Máster en Ingeniería de Climatización (UNIZAR)
  - Vocal del CTN 100 Climatización de UNE (Asociación Española de Normalización) y colaborador del grupo GT 7: Dispositivos terminales
  - Vocal del Comité Técnico de estadísticas de AFEC (Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización) para Distribución de Aire.
  - Colaborador habitual en sesiones formativas y jornadas técnicas de ATECYR, ATEAN, además de en otros programas Máster Universitarios en los que TROX Academy colabora



<https://www.linkedin.com/in/roberto-rodr%C3%ADguez-prades-b5933b84/>



- Parámetros de confort para una óptima calidad de aire interior
- Métodos de distribución de aire
- Simulación dinámica de fluidos CFD





**Generalidades de confort**

## Parámetros de confort interior

norma  
española

UNE 171330-2

Diciembre 2014

TÍTULO

Calidad ambiental en interiores

Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior



Temperatura ambiente



Gradiente de Temperatura



Asimetría de temperatura



Velocidad del Aire



Indice de Turbulencia



Humedad Relativa



Nivel de contaminación



Aire de Ventilación



Nivel Sonoro

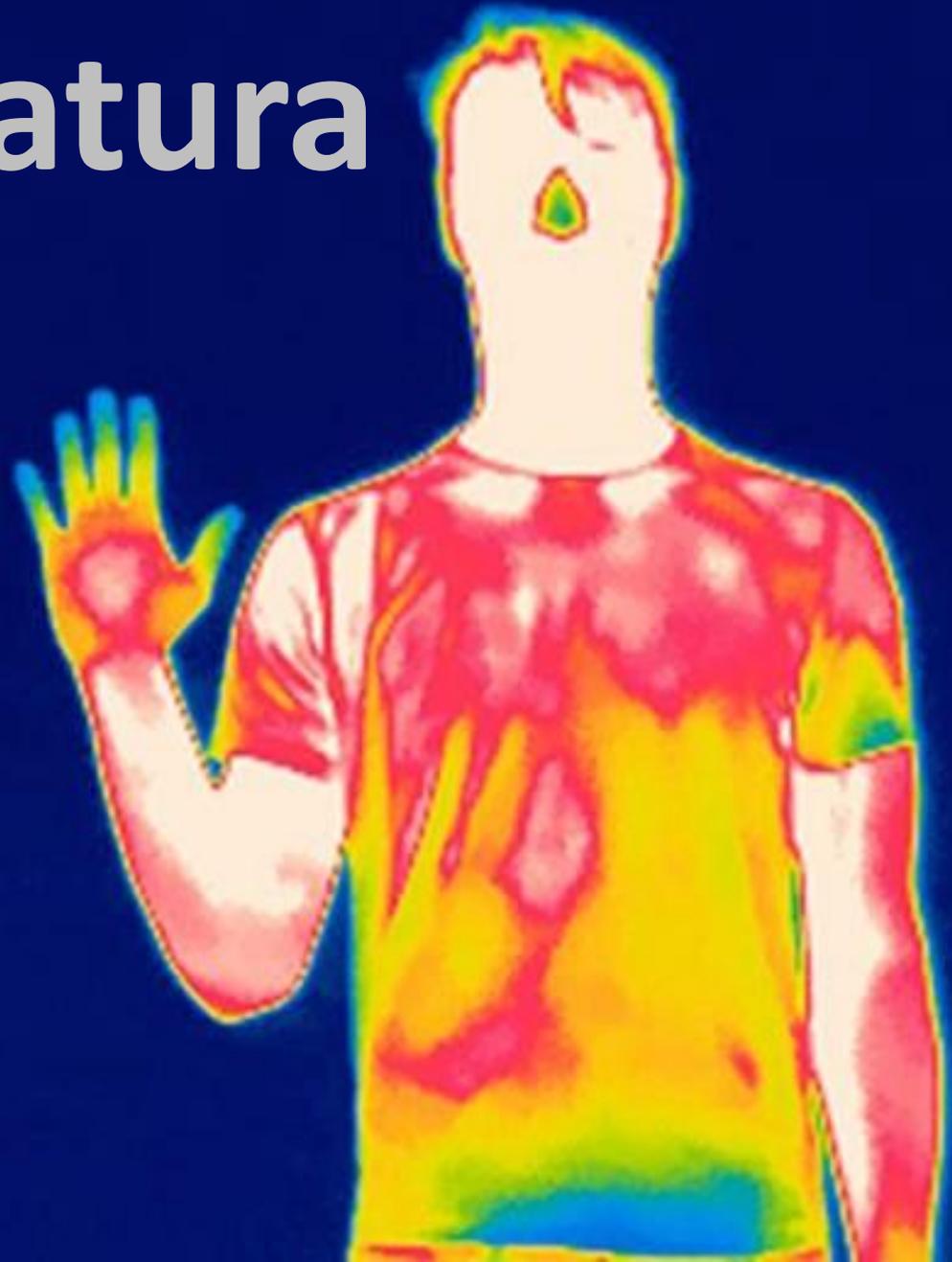
Calidad Ambiental Interior:

“condiciones ambientales de los espacios interiores, definidas por los niveles de contaminación química, microbiológica y por los valores de los factores físicos”

Parámetros a revisar en la inspección anual según RITE:

- Temperatura y humedad relativa
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Partículas en suspensión
- Bacterias y hongos en suspensión

# Temperatura



## Temperatura y humedad



	Tasa metabólica	
	W/m²	met
Sala de espera	58	1,0
Oficina	70	1,2
Sala de conferencias, auditorio	70	1,2
Cafetería, restaurante	70	1,2
Aula	70	1,2
Guardería *	82	1,4
Comercio (clientes sentados)	82	1,4
Comercio (clientes de pie)	93	1,6
Grandes almacenes	93	1,6

**Verano**

23.....25  
°C

45.....60 %

**Invierno**

21.....23  
°C

40.....50 %

**4%**

Reduction in performance at cooler temperatures.

**6%**

Reduction in performance at warmer temperatures.

Actividad metabólica met	Temperatura operativa óptima	
	Verano	Invierno
1,00	26,00	24,00
1,20	24,50	22,00
1,40	23,50	20,00
1,60	23,00	19,00
1,80	22,50	18,00
2,00	21,50	16,50
3,00	17,00	11,00

Fuente: RITE RD 1027/2007 RD 238/2013

# Humedad

# Contenido de humedad

**"Cuanto más seco mejor"**

Protege el edificio

Previene la formación de mohos

**"Al menos 30%"**

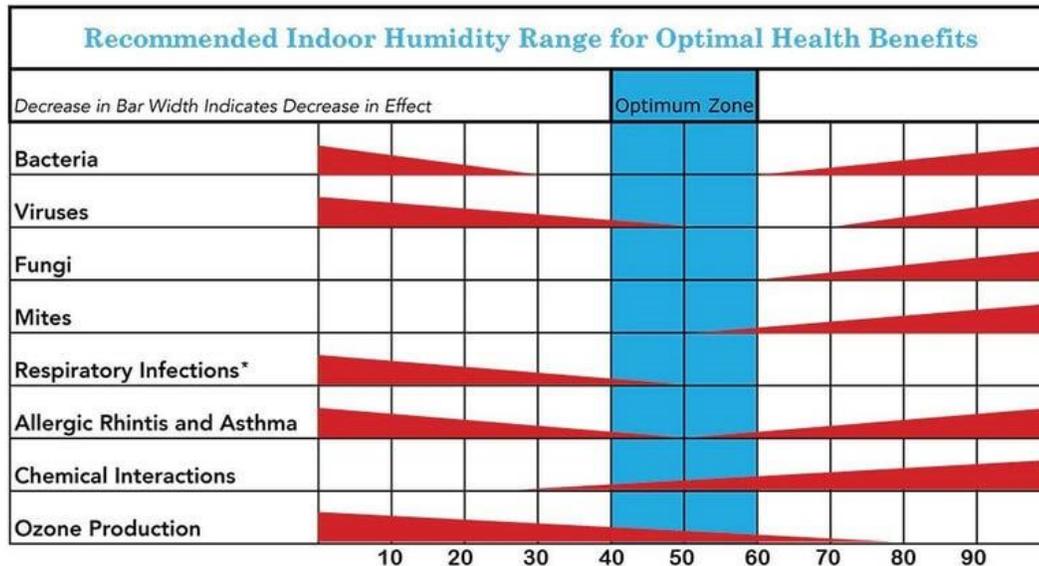
Previene problemas  
de salud



Las infecciones respiratorias se encuentran en ambientes secos

**Recomendación:**

- Mínimo 30% RH
- Óptimo: 40% a 60% RH



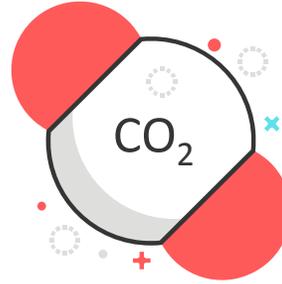
Source:  
Arundel, Anthony V., Elia M. Sterling, Judith H. Biggin, and Theodor D. Sterling. "Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments." Environmental Health Perspectives 65 (1986): 351-61. Web.



# Ventilación Concentración CO<sub>2</sub>

## Ocupación y calidad de aire interior

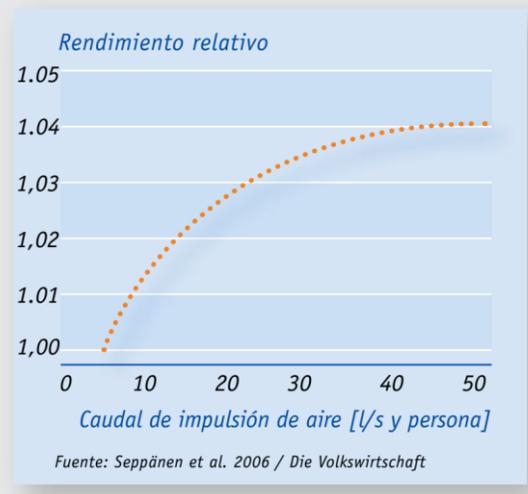
Categoría	l/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5



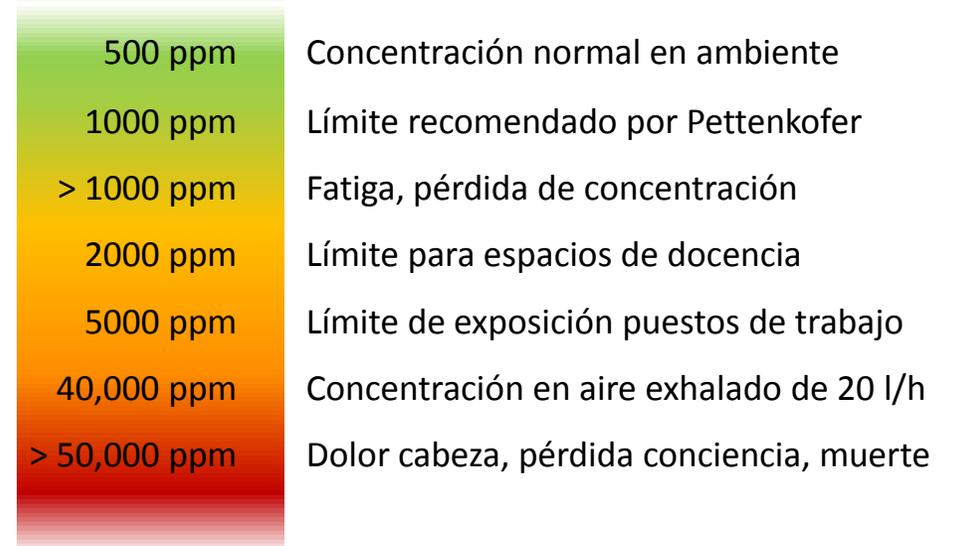
Categoría	ppm(*)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

\* Concentración (partes por millón en volumen) por encima de la concentración en el aire exterior.

**Fig. 1: Relación entre la ventilación y el rendimiento en oficinas**



IDA 1	<b>Aire de óptima calidad:</b> hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	<b>Aire de buena calidad:</b> oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
IDA 3	<b>Aire de calidad media:</b> edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
IDA 4	<b>Aire de calidad baja:</b> no se debe aplicar.

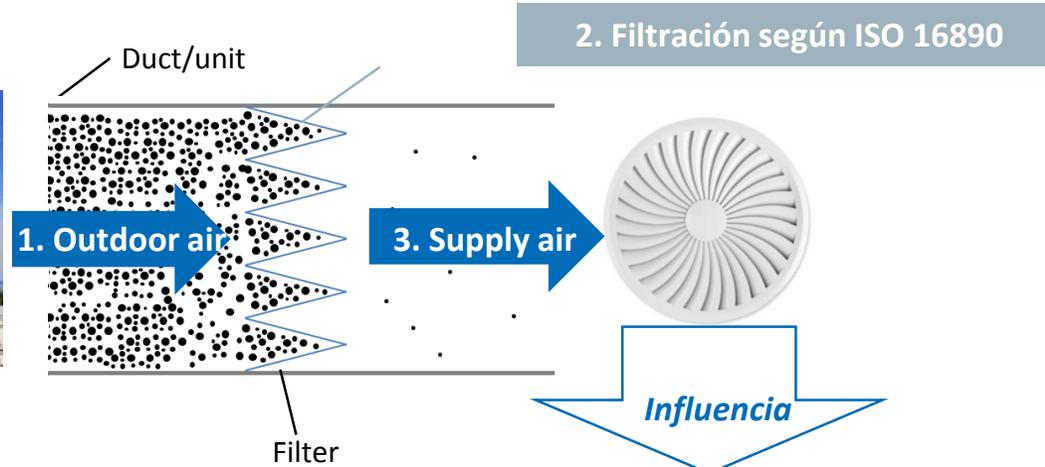


Calidad de aire interior = Satisfacción y Salud

# Filtración



# Nueva norma filtración ISO 16890



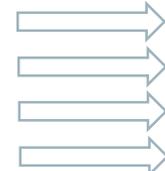
**BERLIN**  
25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



**DELHI (INDIA)**  
200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



*External influences*

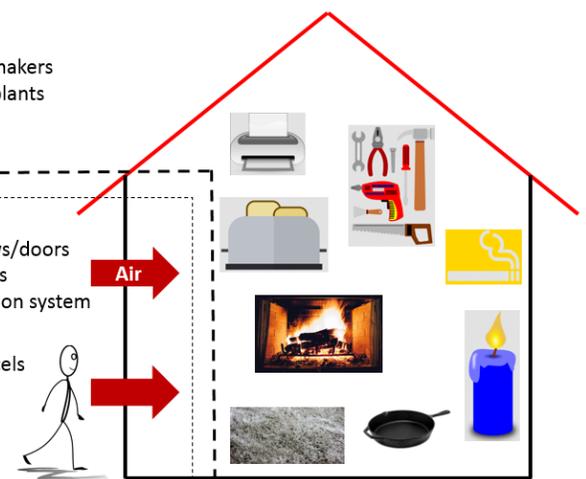


***Influencia de fuentes internas***

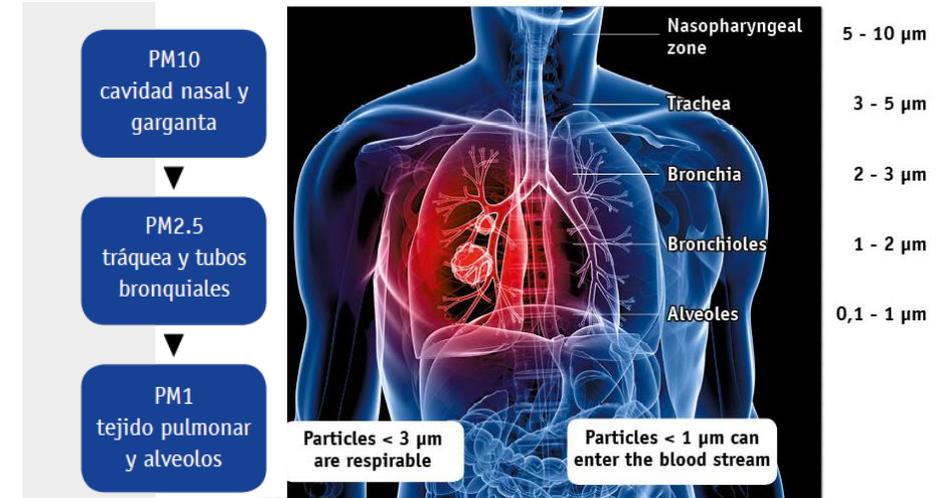
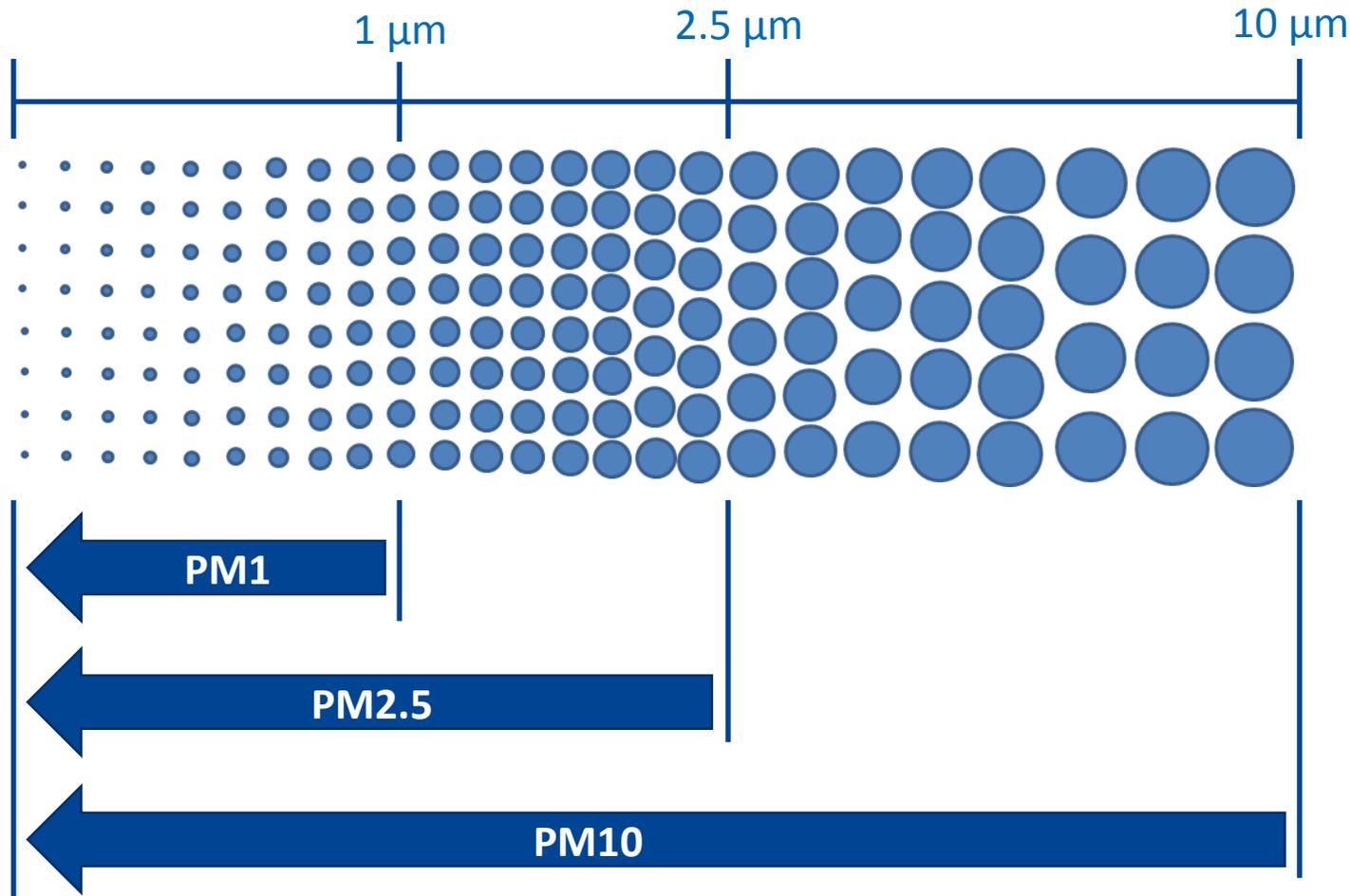
- Carpets
- Cooking
- Building and decorating
- Production processes
- Cigarette smoke
- Fireplaces
- Candles
- Printers
- Coffee makers
- Potted plants etc.

***Influencia de transferencia***

- Windows/doors
- Draughts
- Ventilation system
- Particles stuck to clothes, bags, parcels etc.
- Body (hair, skin cells etc.)



Aire exterior: tamaño de partículas PM

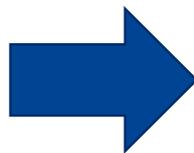


Parte del cuerpo	Entrada de partículas (tamaño)
Nariz y garganta	5 - 10 µm
Tráquea	3 - 5 µm
Conductos bronquiales	2 - 3 µm
Bronquiolos	1 - 2 µm
Alvéolos pulmonares	0.1 - 1 µm

## Clasificación de filtros – según ISO 16890

Group name	Requirement			Filter designation
	$E(PM_{1})_{min}$	$E(PM_{2.5})_{min}$	$E(PM_{10})$	Examples
<b>ISO Coarse</b>	-	-	< 50%	ISO coarse 60%
<b>ISO PM10</b>	-	-	≥ 50%	ISO ePM10 60%
<b>ISO PM2.5</b>	-	≥ 50%	-	ISO ePM2.5 50%
<b>ISO PM1</b>	≥ 50%	-	-	ISO ePM1 90%

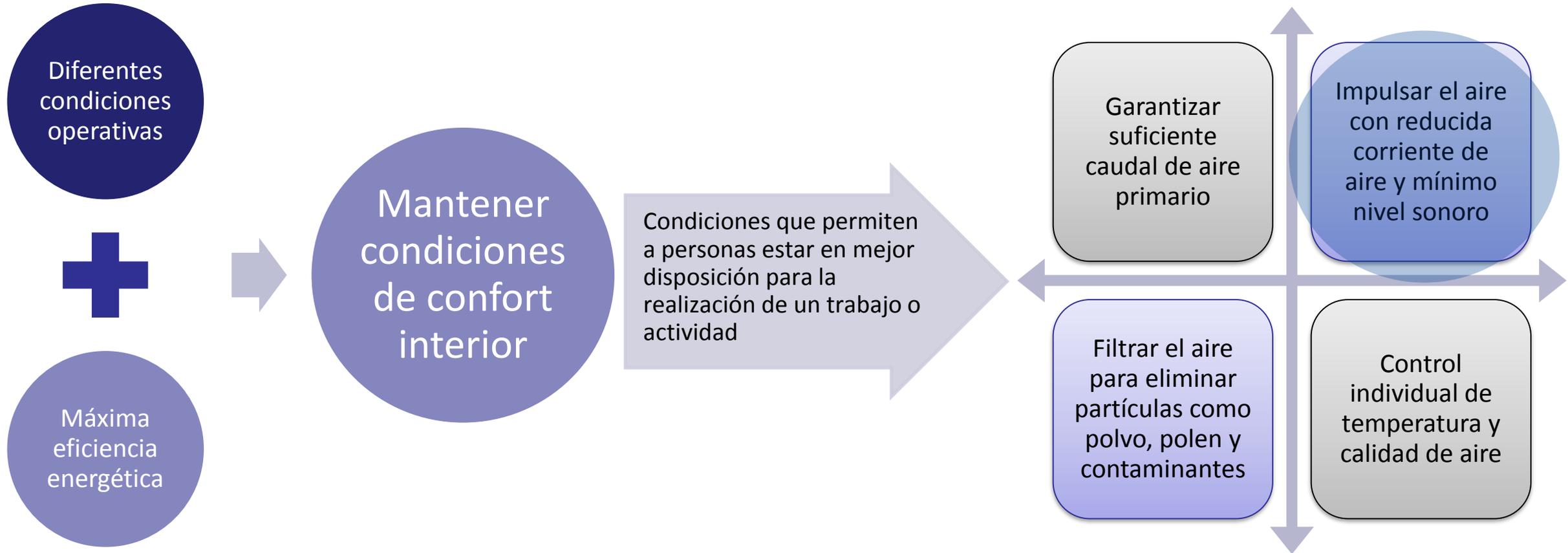
### 3 tamaños de partículas (PM1, PM2.5, PM10)



**ISO ePM1 85%**

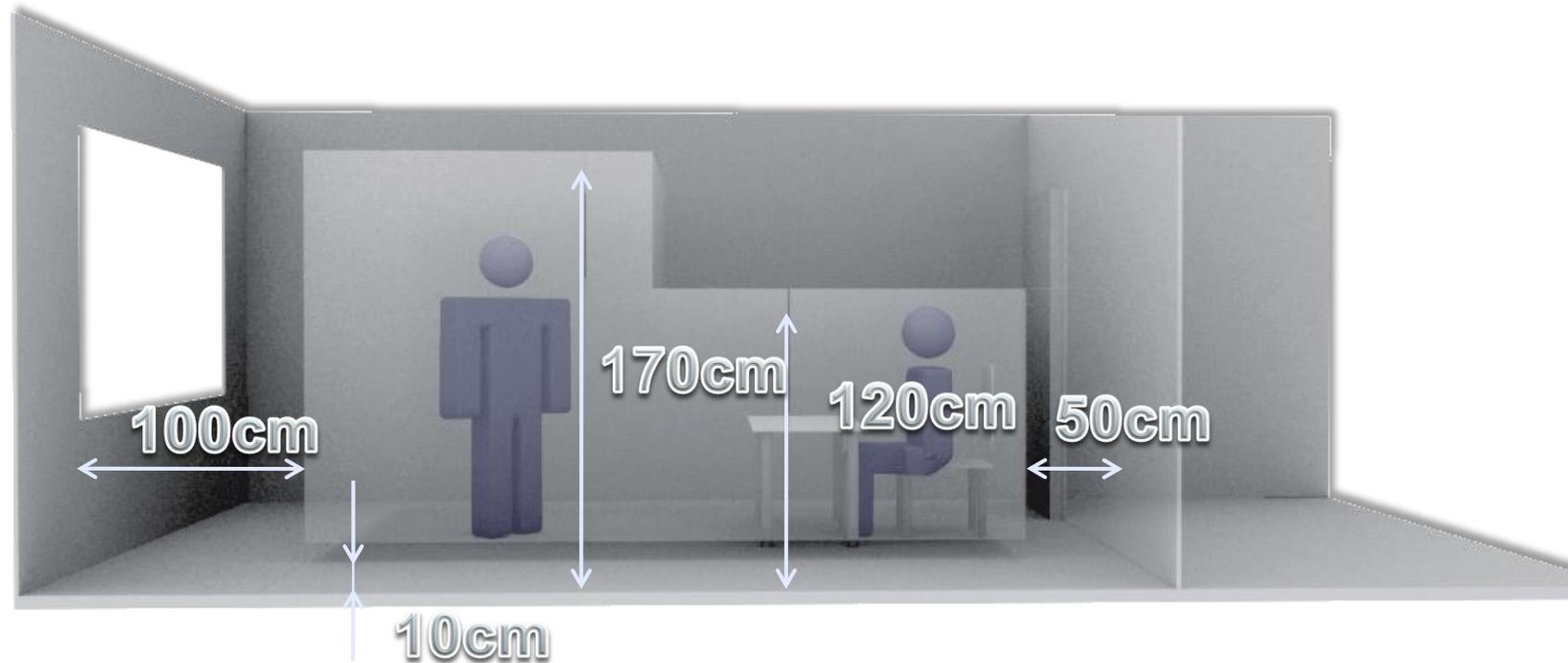
85% de partículas < 1µm no traspasan el filtro

## Función de un sistema de climatización

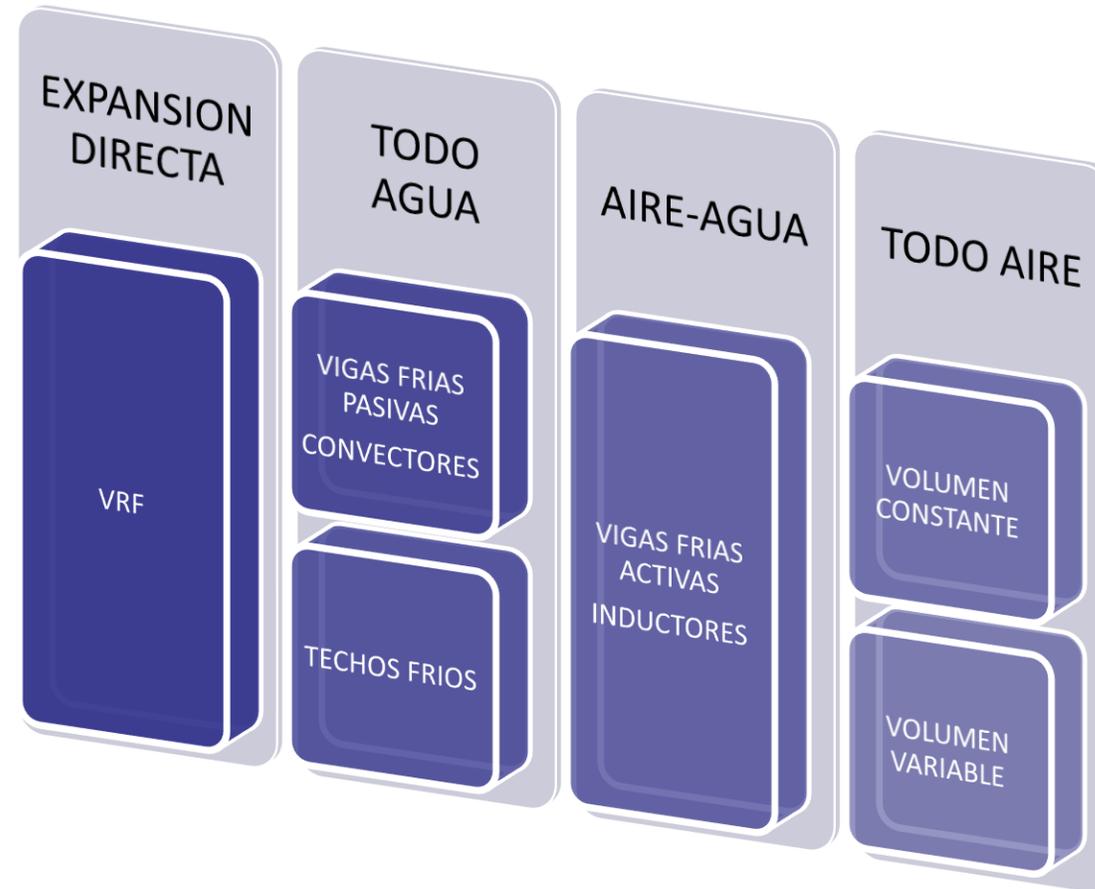


## Confort térmico: concepto de zona ocupada

Parte de un espacio diseñado para la ocupación donde se han de cumplir los criterios de diseño comprendido dentro de los siguientes límites:



## Sistemas de climatización





## MEZCLA

- Alta velocidad
- No estratificación
- Volumen homogéneo
- Mayor inducción
- Calidad aire en zona ocupación



## DESPLAZAMIENTO

- Baja velocidad
- Menor Dif. de temperatura impulsión-sala
- Estratificación
- Baja turbulencia
- Elevado confort



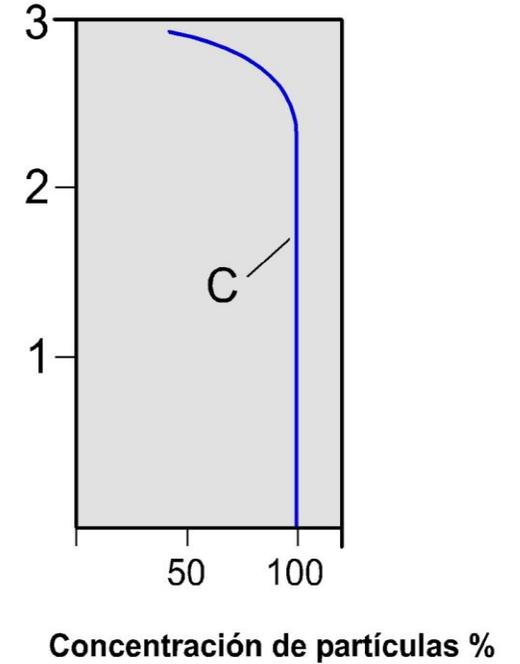
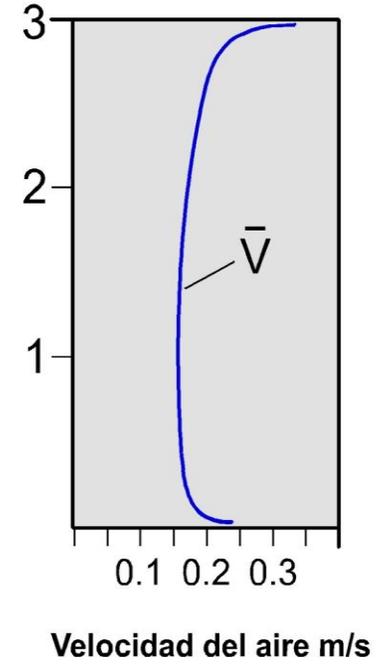
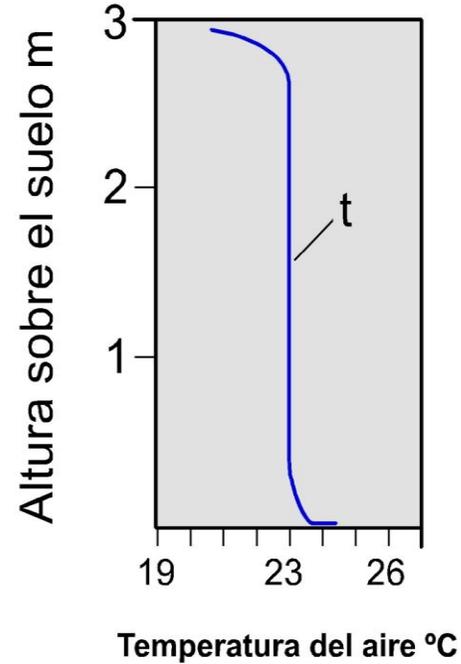
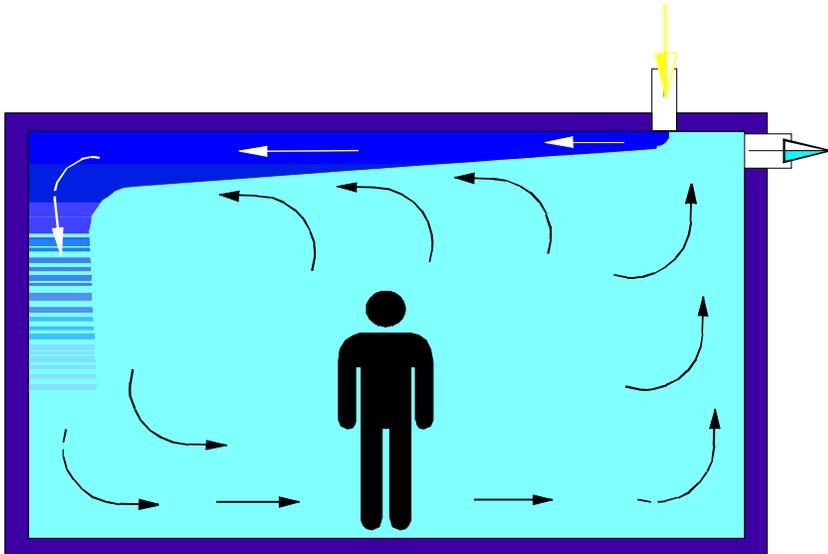
## LAMINAR

- Baja velocidad
- Reducida Dif. de temperatura impulsión-sala
- Flujo direccionado
- Sin turbulencia
- Gran calidad de aire localizada

Las unidades terminales se pueden colocar en el **techo, paredes o antepechos de las ventanas**

**Alta velocidad de impulsión del aire**

La mezcla se realiza por **inducción** con el aire ambiente



Unidad terminal más adecuada será función de:

1. **Caudal de aire** a impulsar por cada unidad terminal
2. **Temperatura de impulsión** del aire
3. **Temperatura ambiente**
4. **Altura** de impulsión
5. **Alcance** a cubrir con la unidad terminal
6. **Velocidad residual** a mantener en la zona de ocupación
7. **Presión sonora** máxima admisible en el local



Cantidad de aire a impulsar será función de la carga sensible y de la diferencia de temperatura entre el aire impulsado y el aire ambiente:

$$V = \frac{C_s}{1,2 \times 0,24 \times \Delta t}$$

Siendo:

CS = Carga sensible del local en Kcal/h

V = Caudal de aire a impulsar en m<sup>3</sup>/h

Δt = Diferencia entre la temperatura del aire impulsado y el aire ambiente en Cº

1,2 = Peso específico del aire en Kg/m<sup>3</sup>

0,24 = Calor específico en Kcal/h x ºC x kg

### Efecto Coanda y Alcance Crítico

SI influye en estas unidades:

- Rejas de impulsión colocadas en la pared
- Difusores de techo con aros concéntricos redondos o cuadrados
- Difusores lineales colocados en el techo



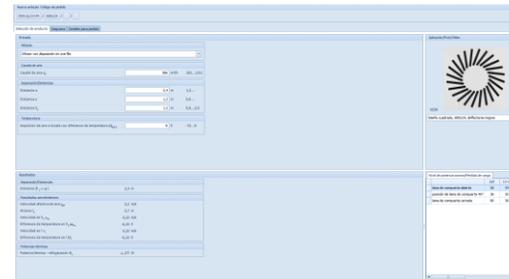
NO tiene mucha influencia en:

- Difusores rotacionales
- Toberas de alta inducción



## Selección técnica de elementos terminales

- Catálogos técnicos
- Software de selección



### Difusores rotacionales de techo Selección rápida

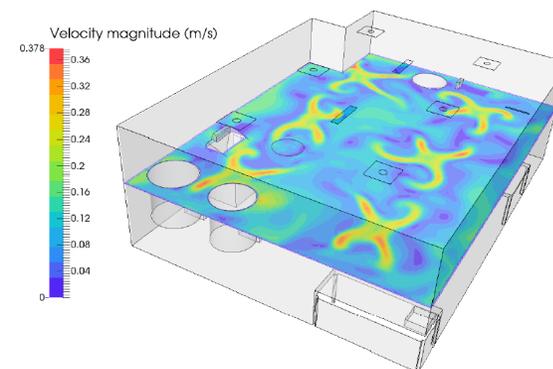
Las tablas de selección rápida proporcionan un buen resumen de los caudales de aire y sus correspondientes niveles de potencia sonora y pérdida de carga. Las tablas de selección rápida proporcionan un buen resumen de los caudales de aire y sus correspondientes niveles de potencia sonora y pérdida de carga. El caudal de aire mínimo influye en la ausencia de temperatura del aire impulsado de -6 K. Con nuestro programa Easy Product Finder se pueden generar selección para otras configuraciones de funcionamiento.

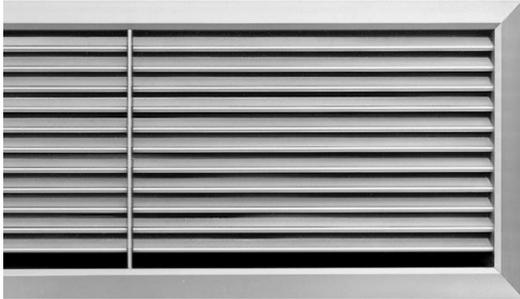
VDW-Z-H (impulsión de aire), potencia sonora y pérdida total de carga

Tamaño	V	V	Posición de la lama de la compuerta					
			0°		45°		90°	
			Pa	dB(A)	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)
300 x 8	7	20	1	<15	1	<15	1	<15
	26	136	10	23	18	22	26	24
	80	216	45	39	53	38	87	49
	85	306	81	55	100	66	134	81
400 x 16	13	40	1	<15	1	<15	1	<15
	80	216	10	23	15	23	28	25
	100	260	24	26	42	30	78	42
	140	304	71	50	81	50	154	54
500 x 24	19	70	1	<15	1	<15	2	<15
	70	282	11	19	14	19	34	24
	130	450	35	38	45	37	108	42
	170	630	68	50	89	49	212	54
600 x 24, 625 x 24	26	102	1	<15	1	<15	2	<15
	100	378	11	20	15	21	33	22
	140	604	30	34	37	34	65	40
	180	836	65	45	71	61	100	50
800 x 48	40	145	1	<15	2	<15	5	<15
	120	468	12	21	14	21	35	26
	210	758	33	37	47	40	131	45
	300	1098	67	50	98	55	239	60
825 x 54	52	184	2	<15	2	<15	7	<15
	140	654	13	20	16	24	40	30
	220	810	34	36	41	39	126	51
	310	1150	65	50	72	60	208	64
825 x 72	60	207	2	<15	4	<15	10	<15
	200	616	15	24	21	27	51	38
	400	1440	41	44	65	49	161	64
	470	1692	65	55	90	67	209	81

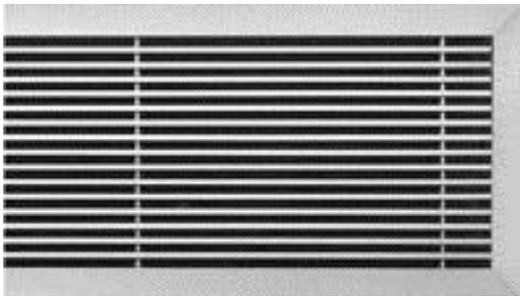
## Comprobación del funcionamiento

- Ensayos de laboratorio
- Dinámica de fluidos CFD





Rejilla de Lamas Móviles

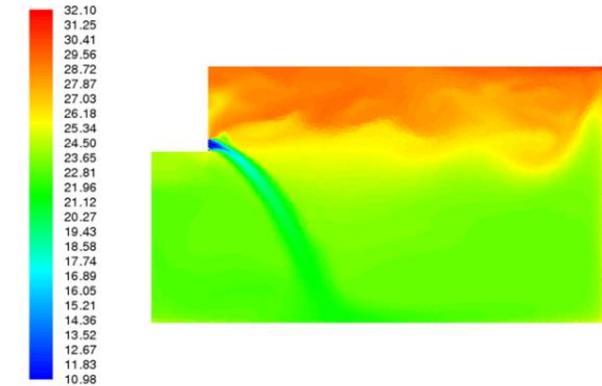
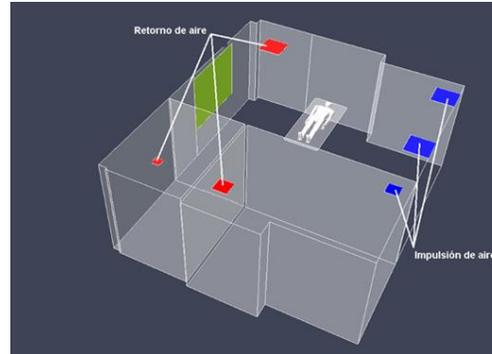
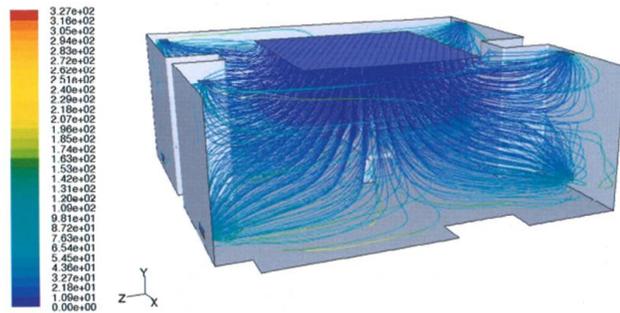


Rejilla de Lamas Fijas

En las rejillas el alcance puede **verse influenciado** por:

- **Velocidad de impulsión**  
El alcance aumenta con el incremento de velocidad
- **Caudal de aire**  
A un incremento del caudal de aire le corresponde un incremento del alcance
- **Forma geométrica de la rejilla**
- **Disposición de las rejillas**  
Impulsando junto al techo el alcance se incrementa 1,42 del alcance en descarga libre
- **Disposición de las lamas delanteras y posteriores**  
El alcance es función de la anchura de la vena de aire
- **Diferencia de temperatura entre impulsión y ambiente**  
El alcance, velocidad al alcance y alcance crítico varían con la diferencia de temperatura entre impulsión y ambiente

## Análisis CFD



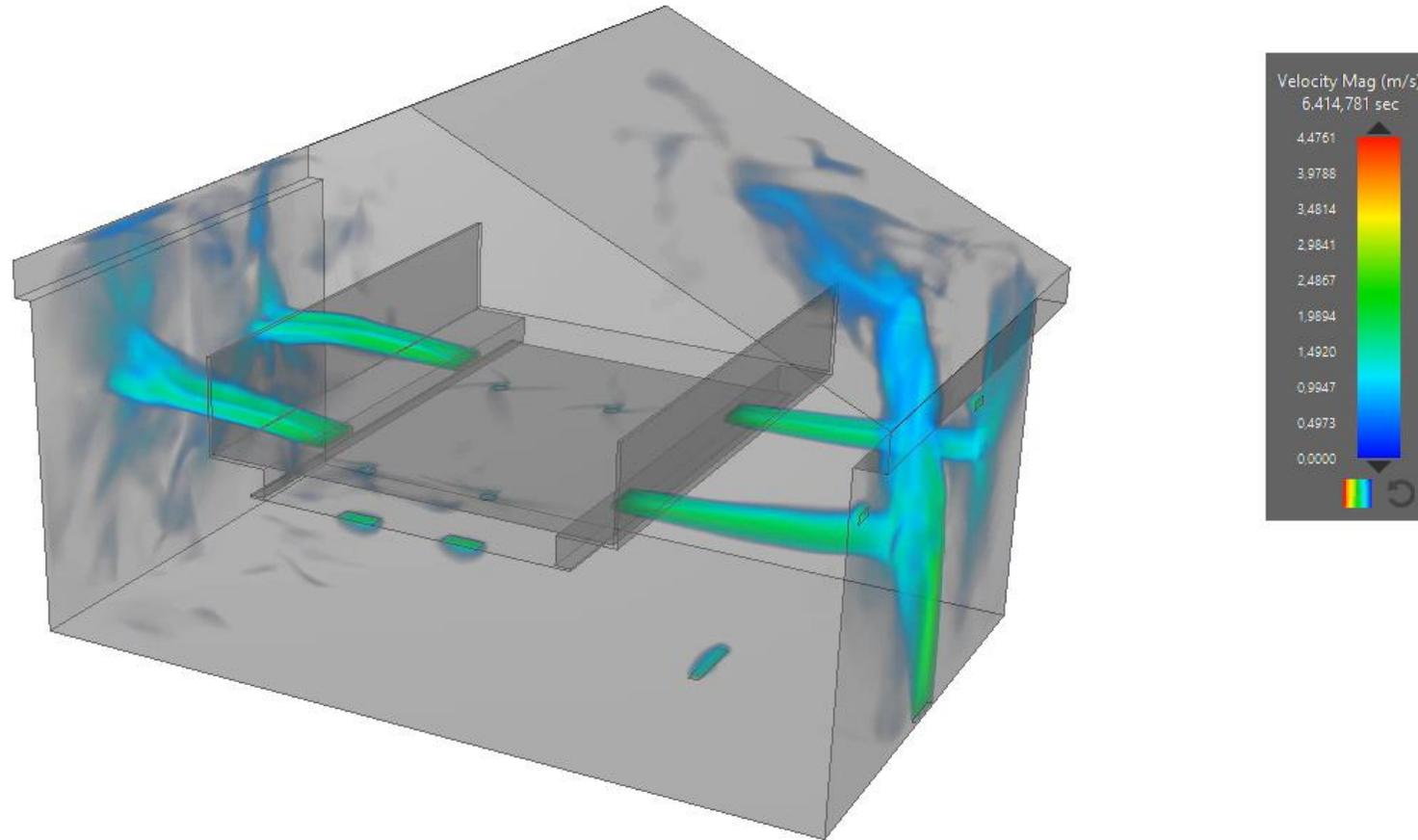
Contours of Static Temperature (c)

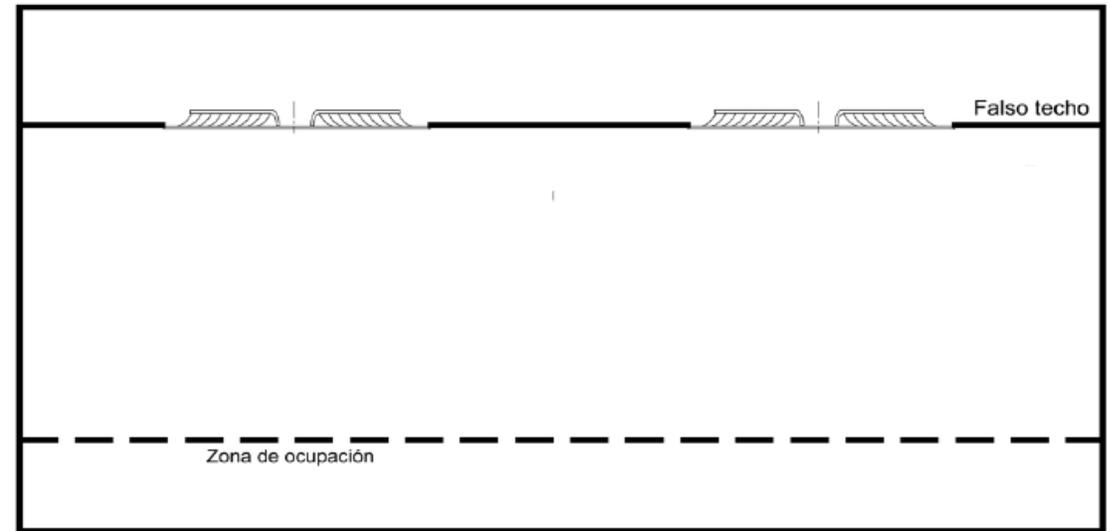
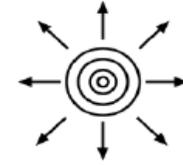
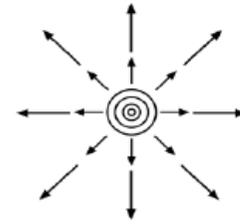
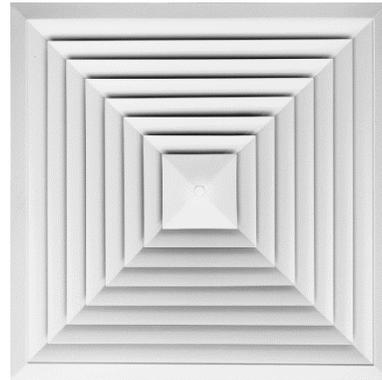
- ✓ Principios de comportamiento
- ✓ Espectro de velocidades y temperaturas
- ✓ Confort y seguridad

- ✓ Definición de cerramientos
- ✓ Cargas térmicas puntuales y distribuidas
- ✓ Temperaturas de impulsión y de entorno
- ✓ Velocidades de aire

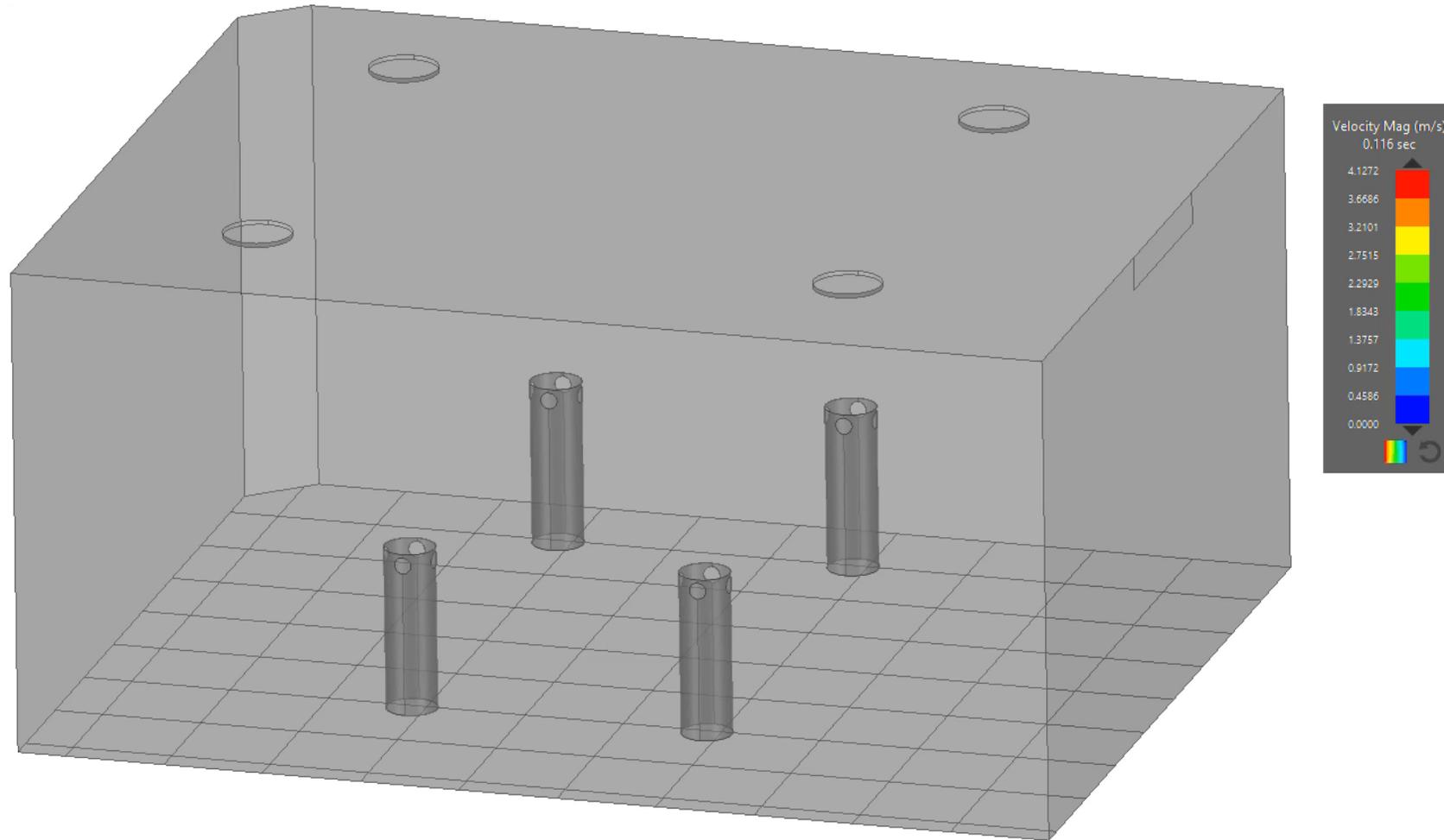
- ✓ Temperaturas ambiente
- ✓ Velocidades de aire
- ✓ Presiones estáticas
- ✓ Caminos de partículas
- ✓ Edad del aire

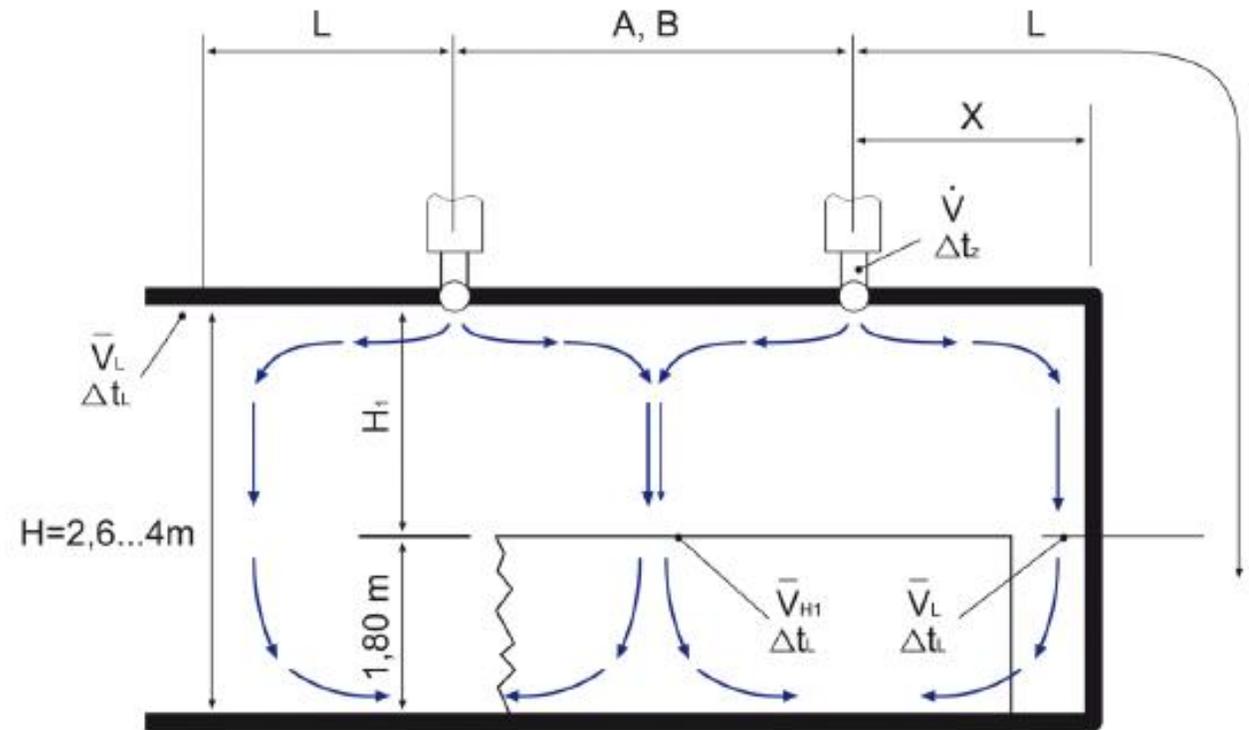
## Análisis CFD



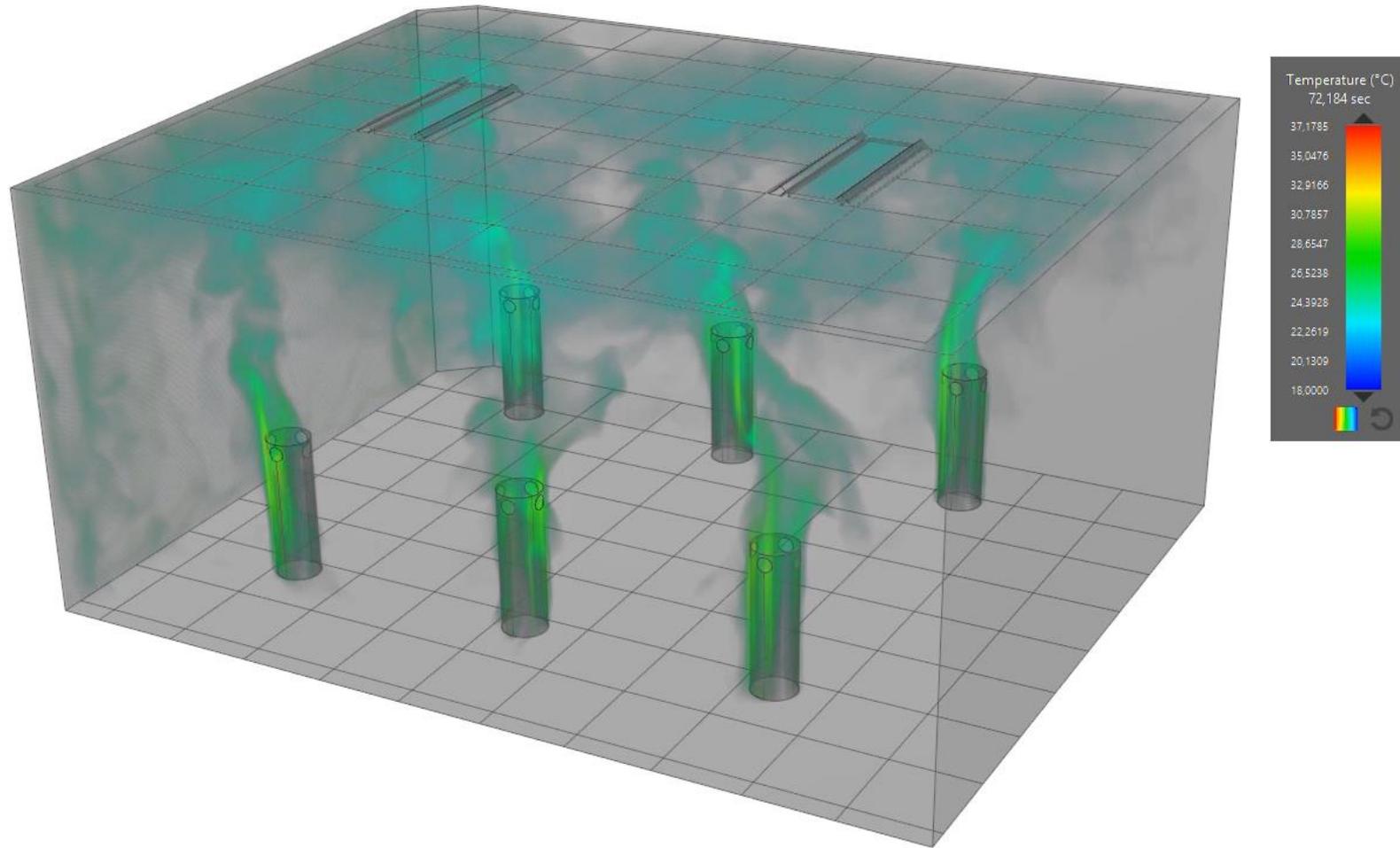


## Análisis CFD



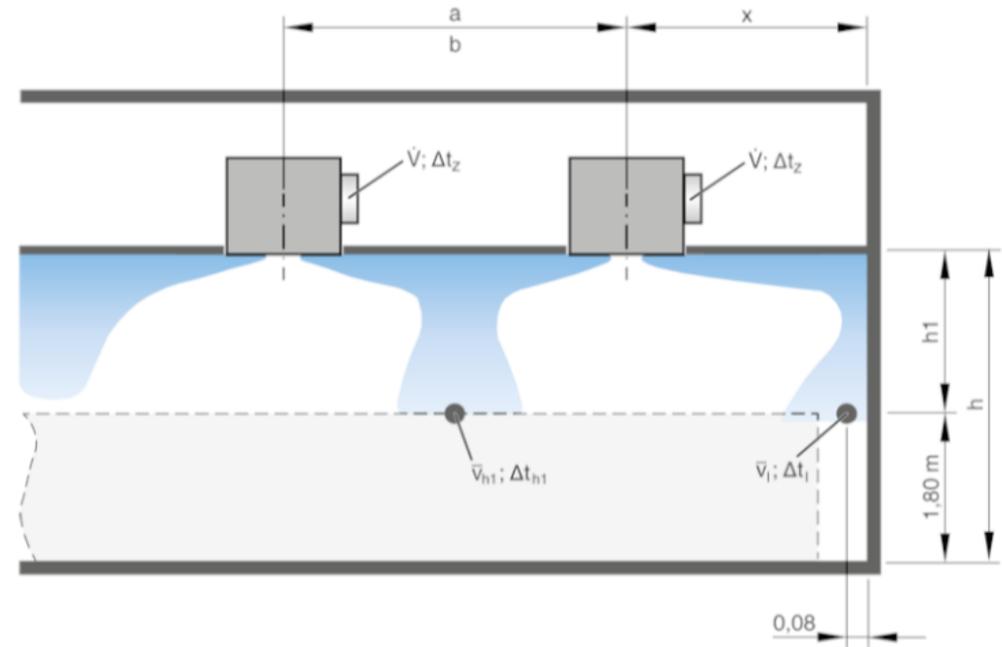
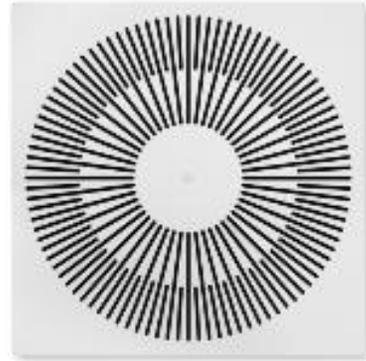


## Análisis CFD

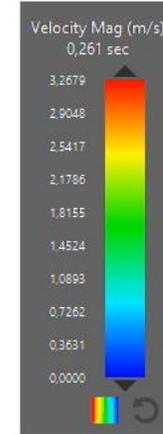
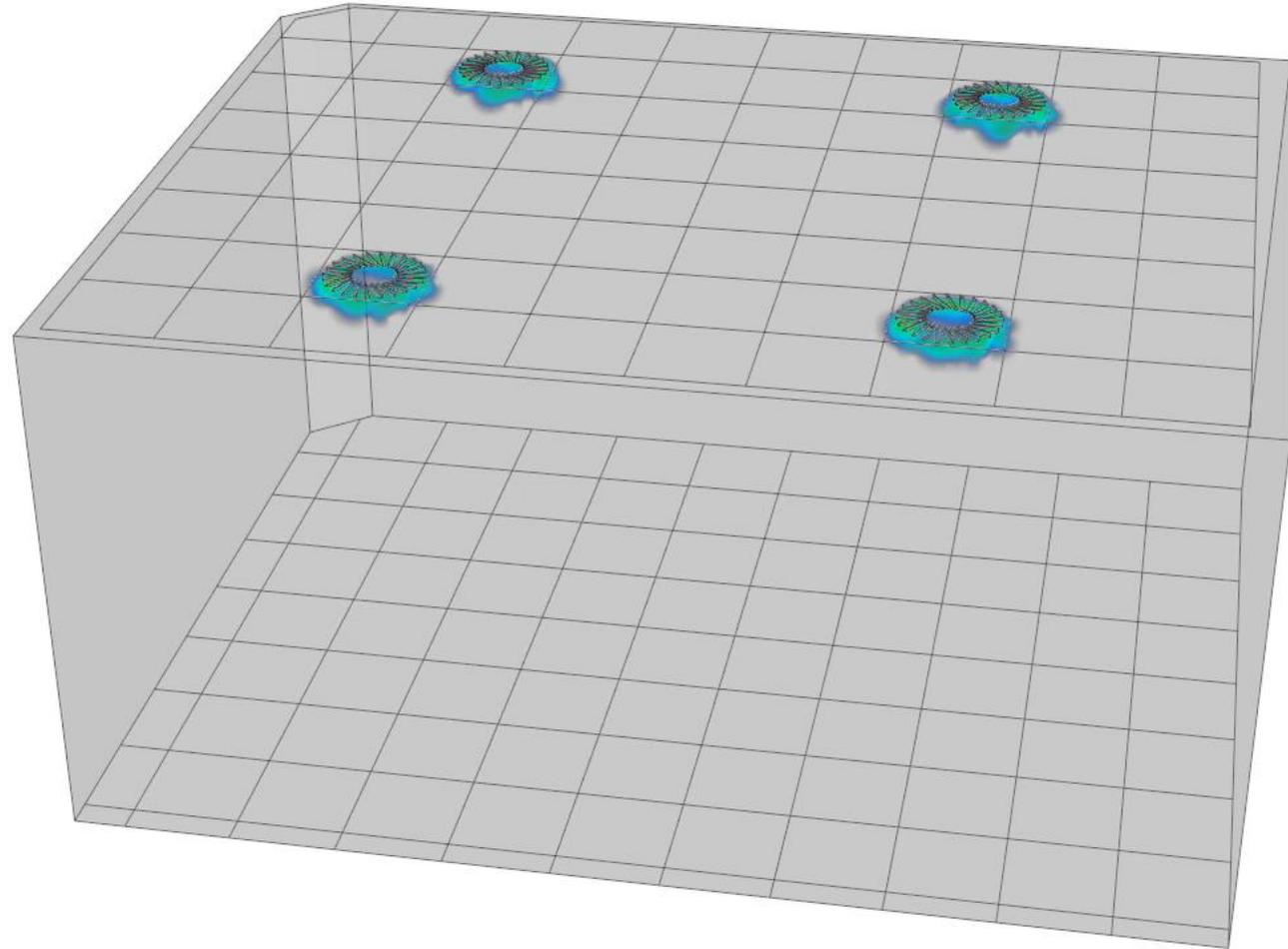


## Laboratorio

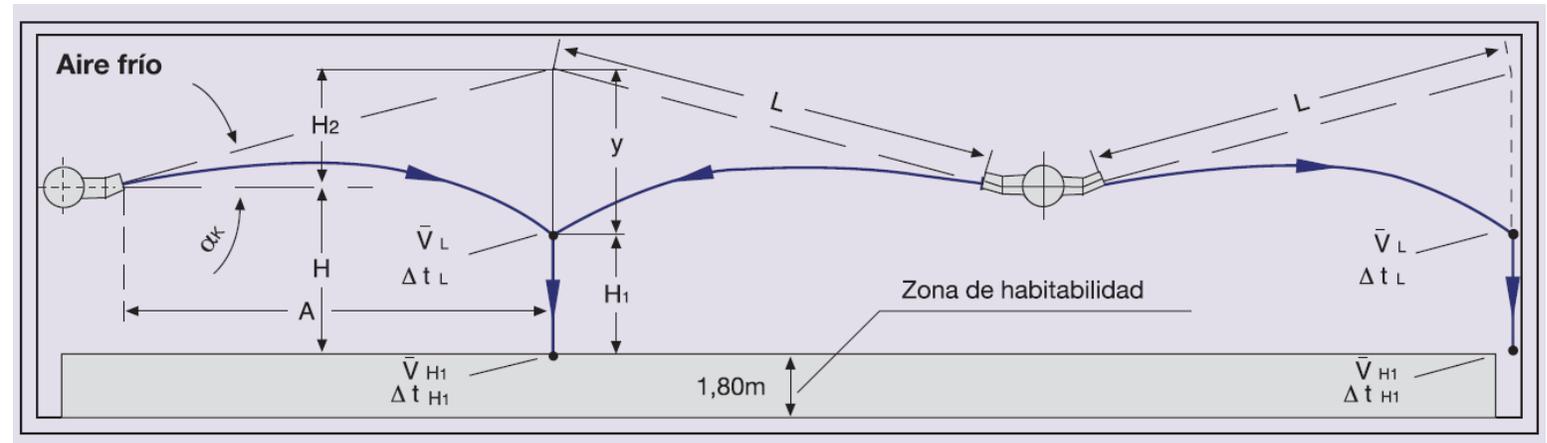




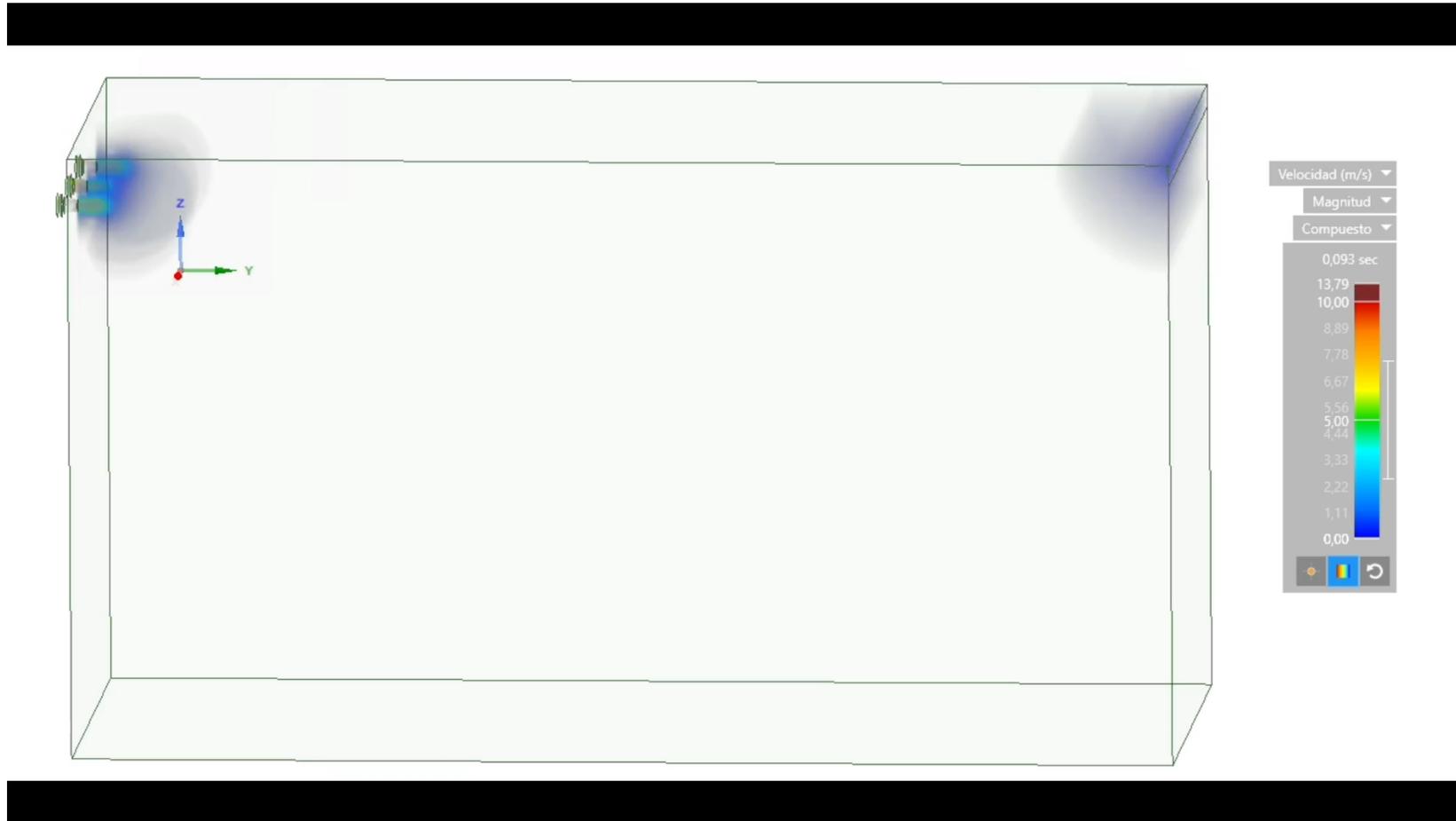
## Análisis CFD

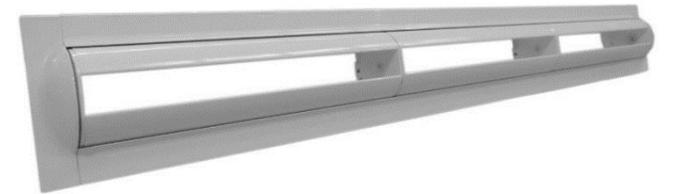
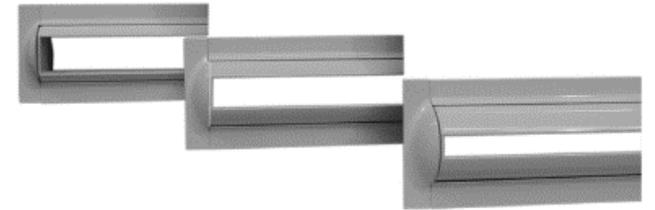






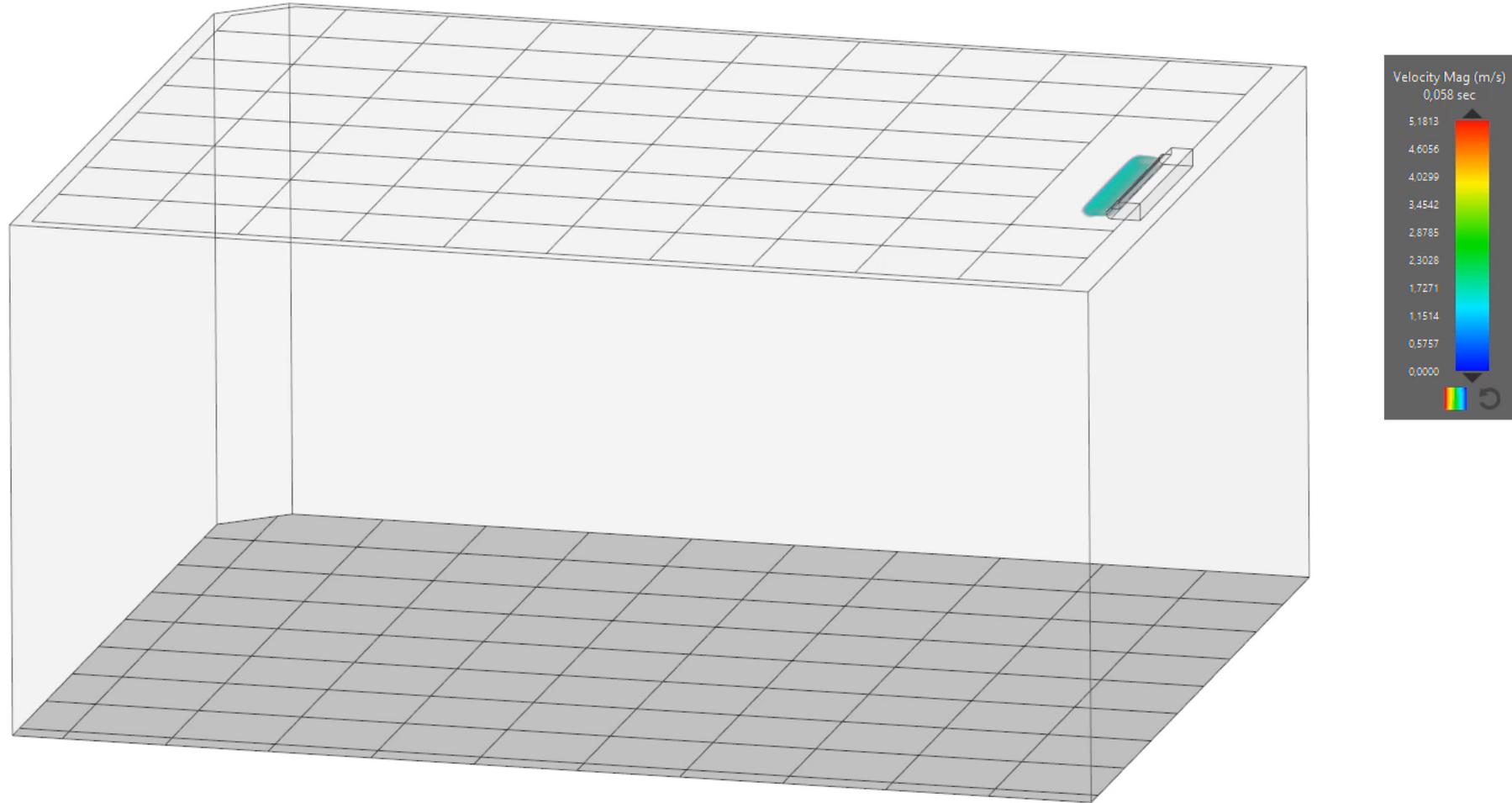
## Análisis CFD



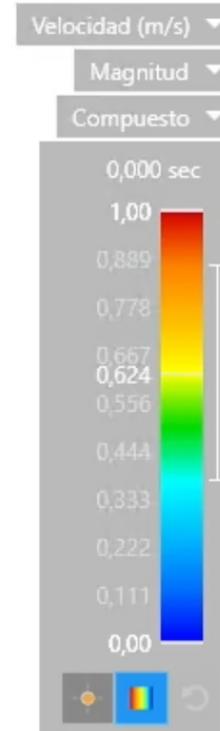
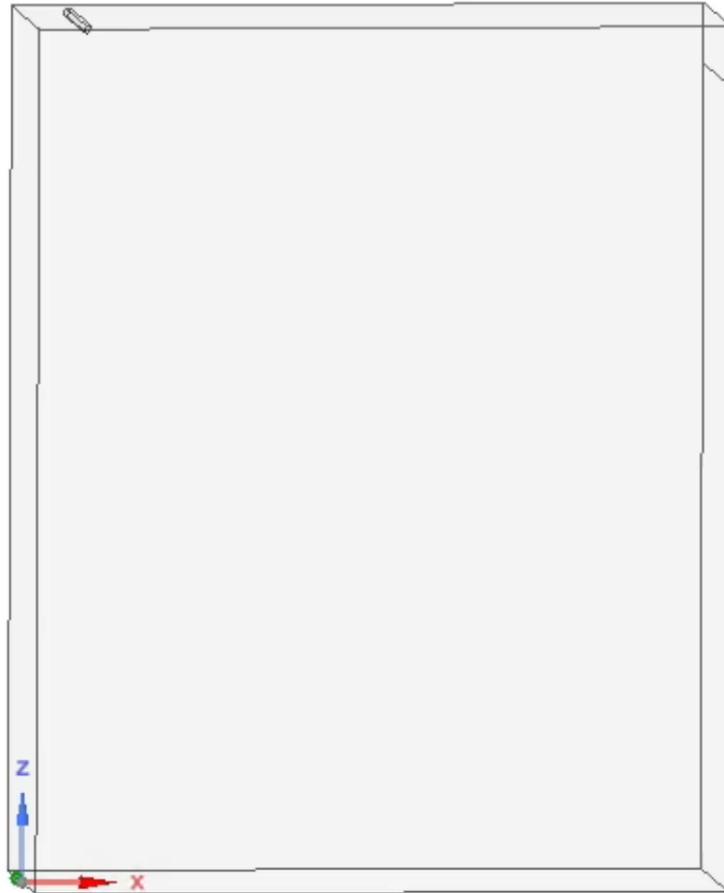


-  Linear construction
-  Lengths from 250 to 1,250 mm  
Slots width: 15, 20, 25, 30, 35 mm
-  250 - 900 m<sup>3</sup>/h (Q per linear metre)
-  Aluminium

## Análisis CFD







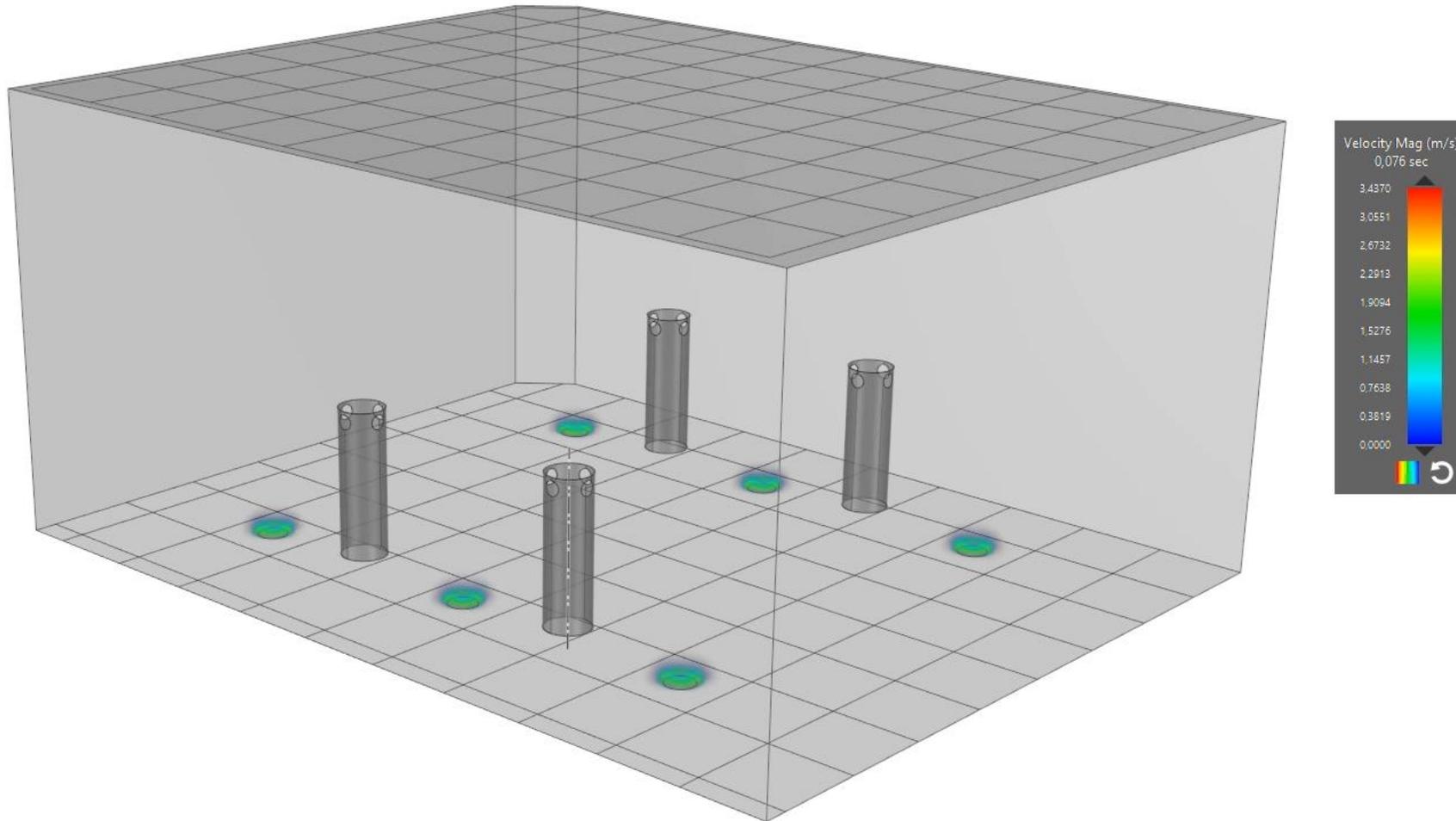


Impulsión de Aire

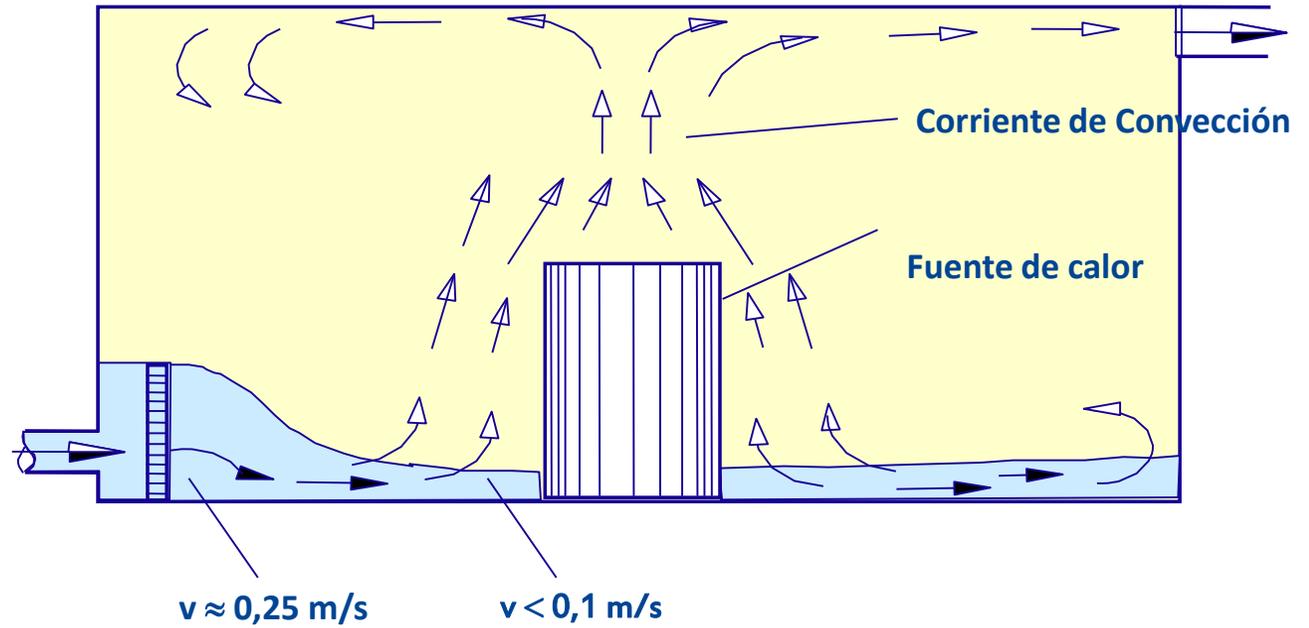


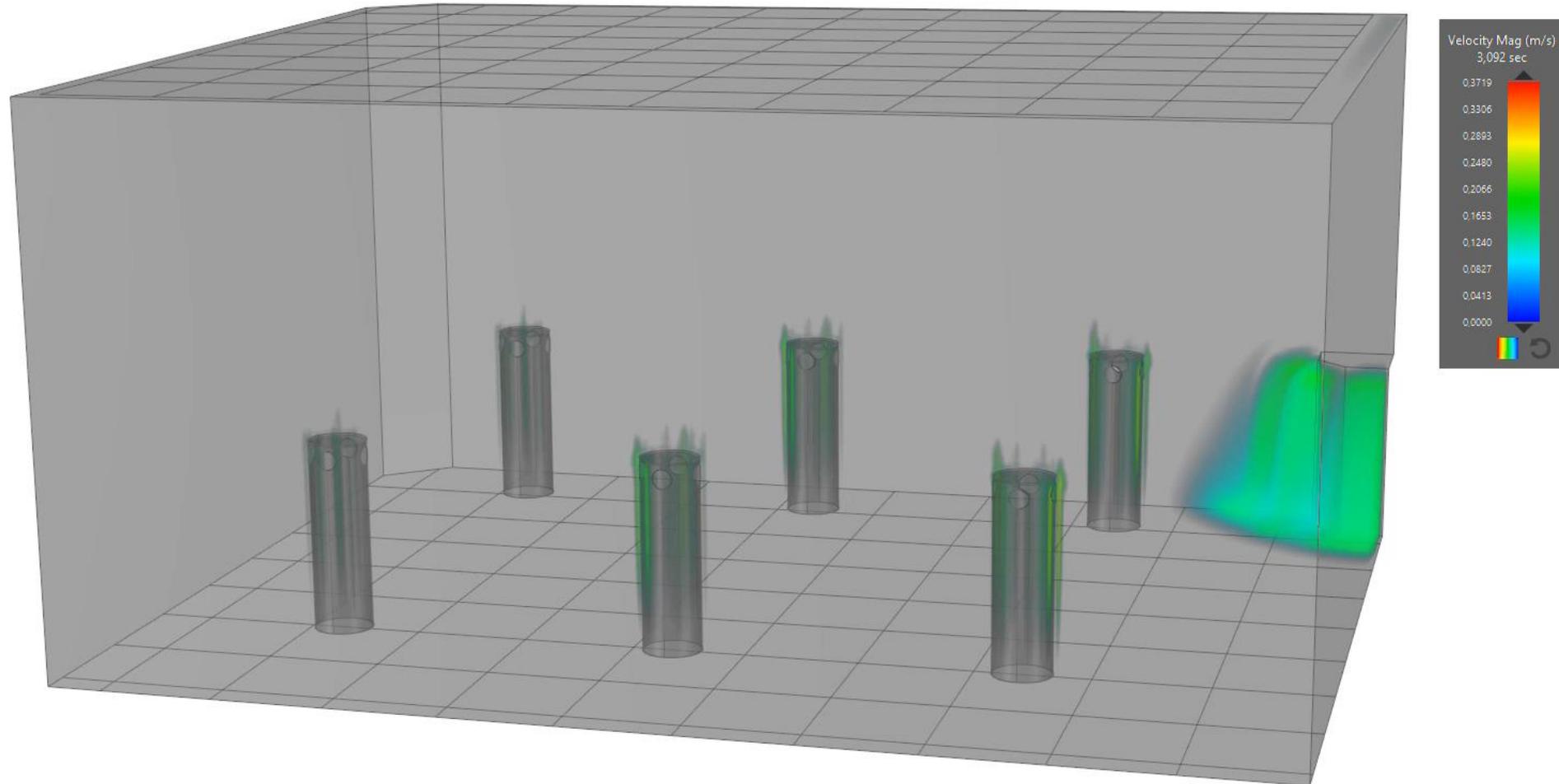
Retorno de Aire

## Análisis CFD

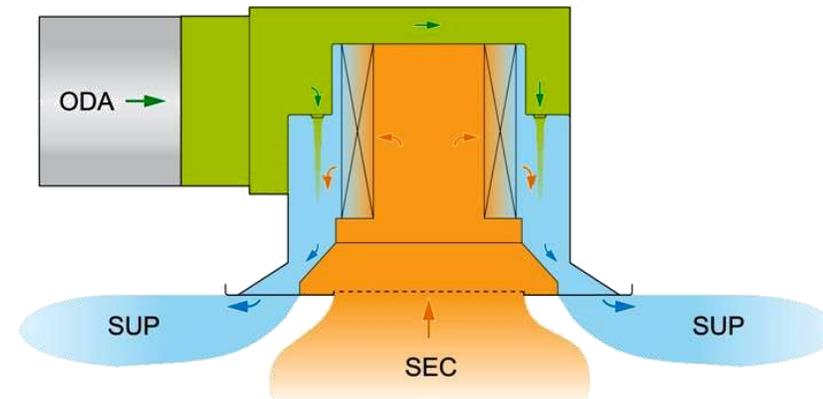
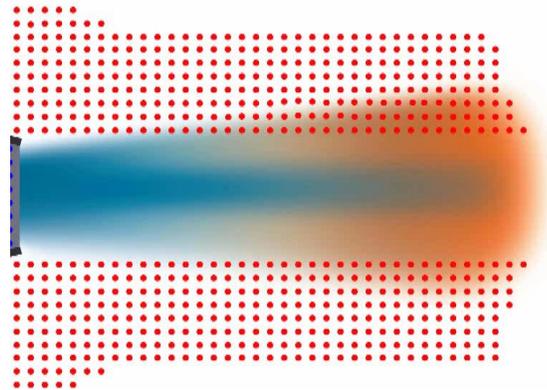
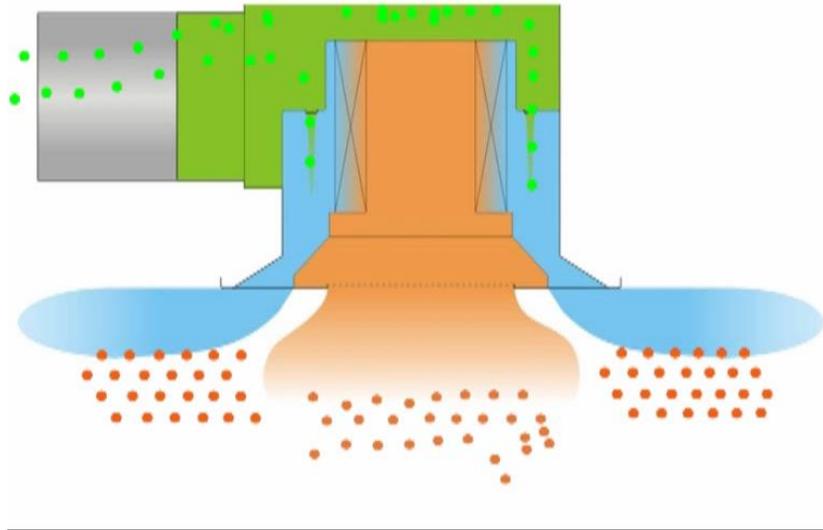




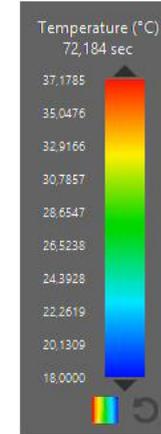
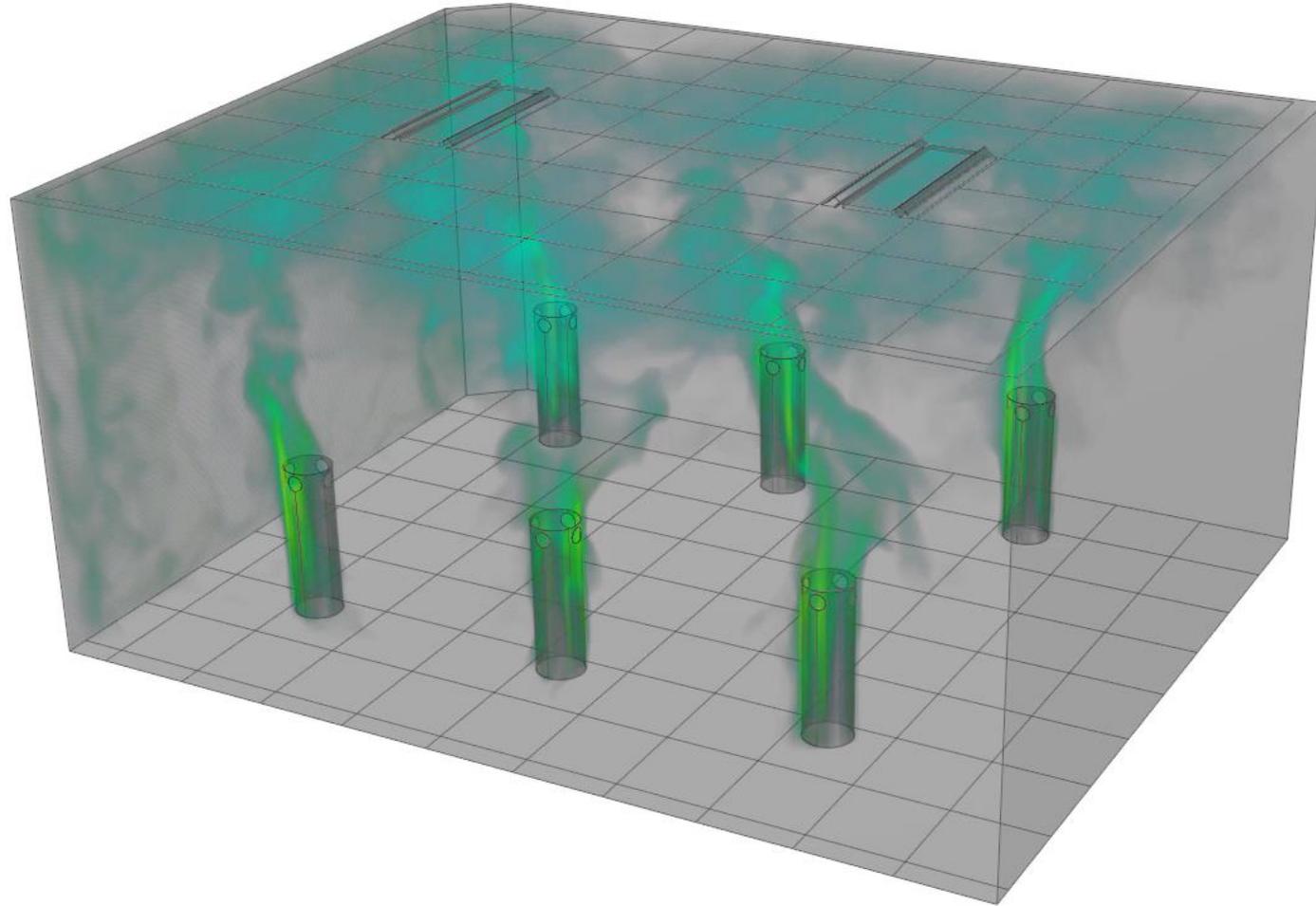








## Análisis CFD





## Quirófano tipo A –flujo unidireccional

Vel. Impulsión 0,45 m/s



Flujo unidireccional ( Laminar )  
Filtración absoluta terminal H13-H14



Sobrepresión > 20 Pa  
Retorno menor que el  
caudal de impulsión

Separados de zonas  
sucias mediante  
esclusas

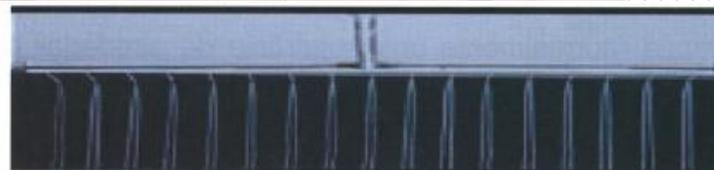
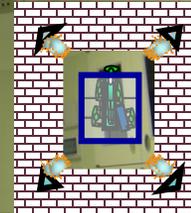


Retorno en 4 esquinas en  
zona superior e inferior

Por la parte inferior se  
aspiran 1.200 m<sup>3</sup>/h

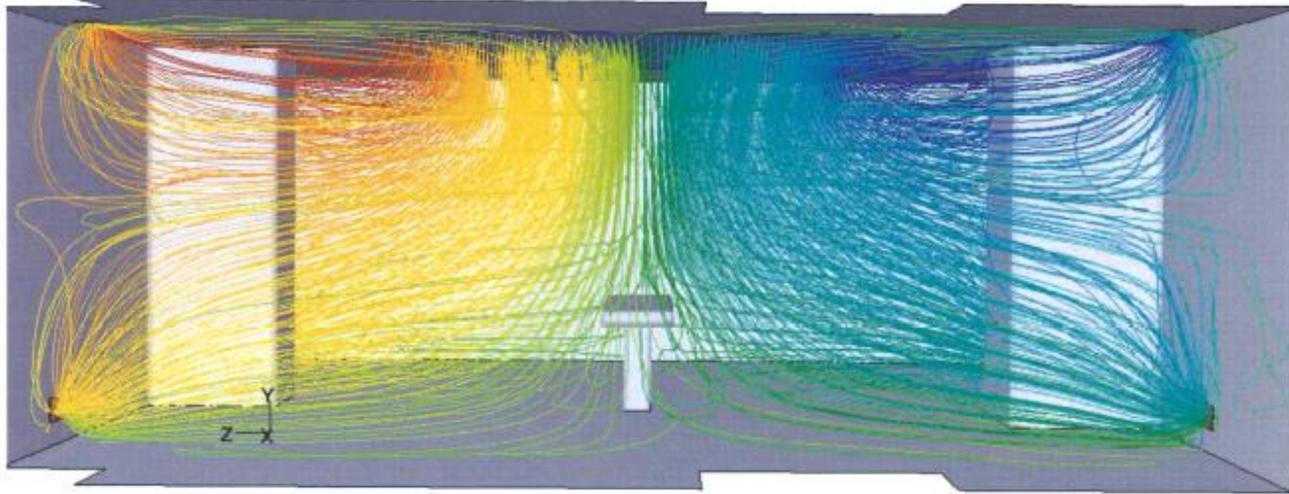
Excelente cobertura del  
paciente:

Sin recirculaciones  
Flujo controlado en mesa  
operaciones  
Sobrepresión sin alta  
velocidad de impulsión



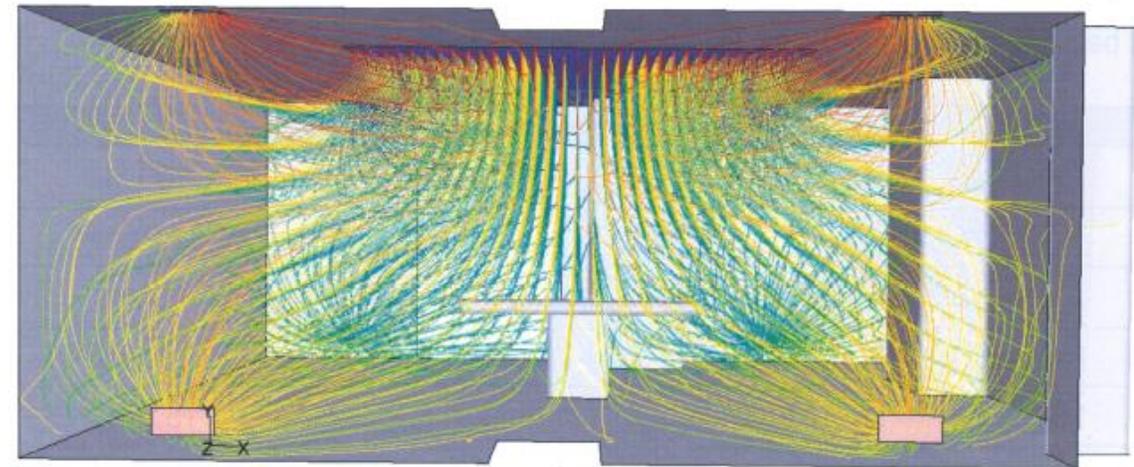
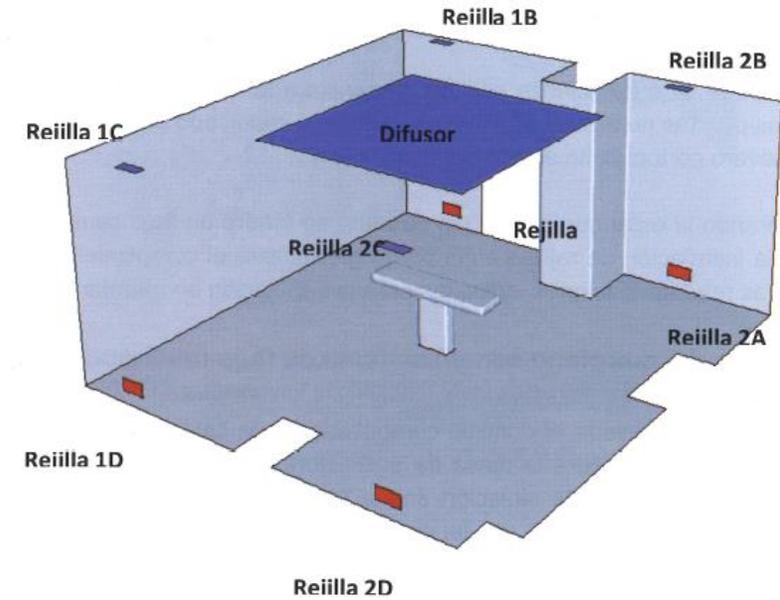


## Quirófano tipo A: simulación con CFD

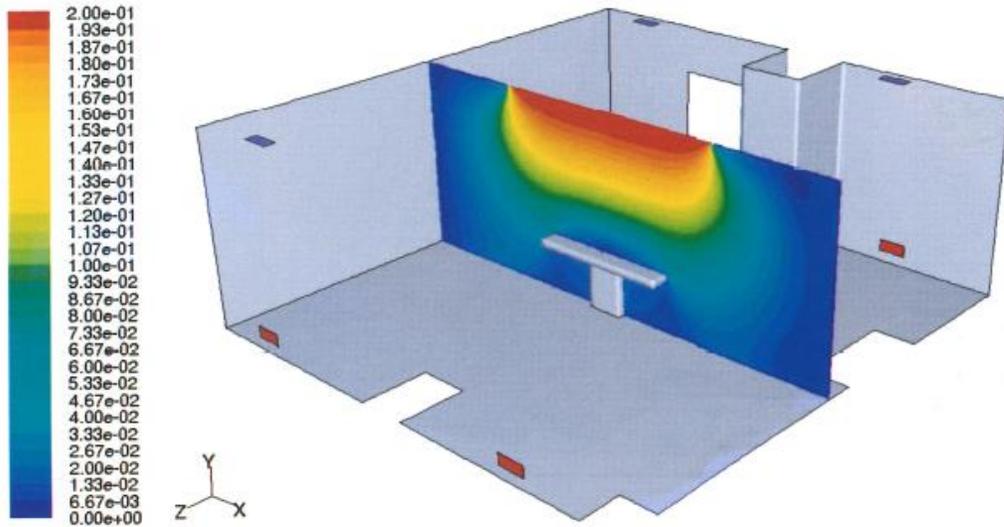


### Trayectoria partículas de aire

Quirófano equilibrado. Todas las rejillas tienen la misma proporción de extracción

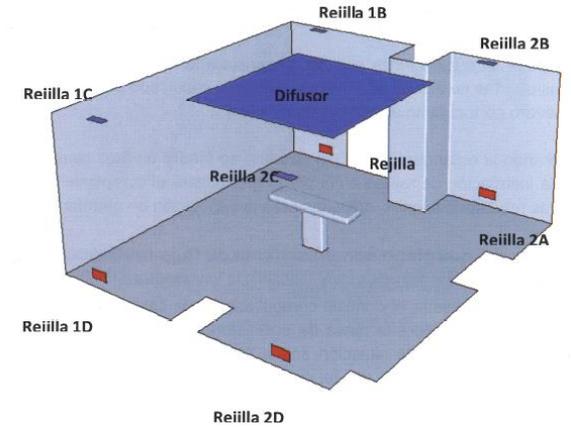


# Quirófano tipo A: simulación con CFD



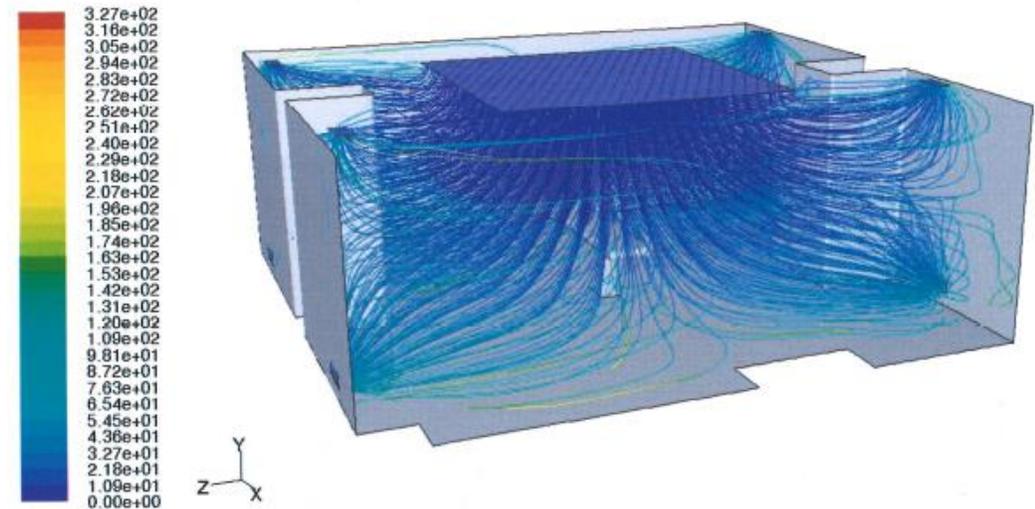
## Velocidad (m/s)

Valores de 0,1 m/s en zona de operación



## Tiempo de permanencia (s)

Entre 80 y 120 segundos



## Quirófano tipo B: Mezcla impulsión rotacional

Vel. Impulsión > 0,45 m/s

Flujo de mezcla ( difusor rotacional )  
Filtración absoluta terminal H13

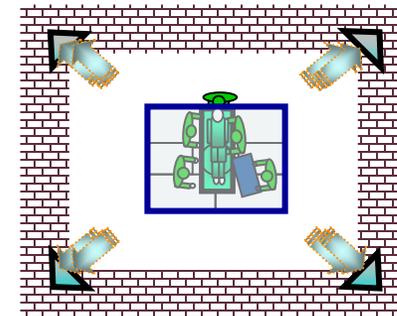


Retorno en 4 esquinas en zona superior e inferior

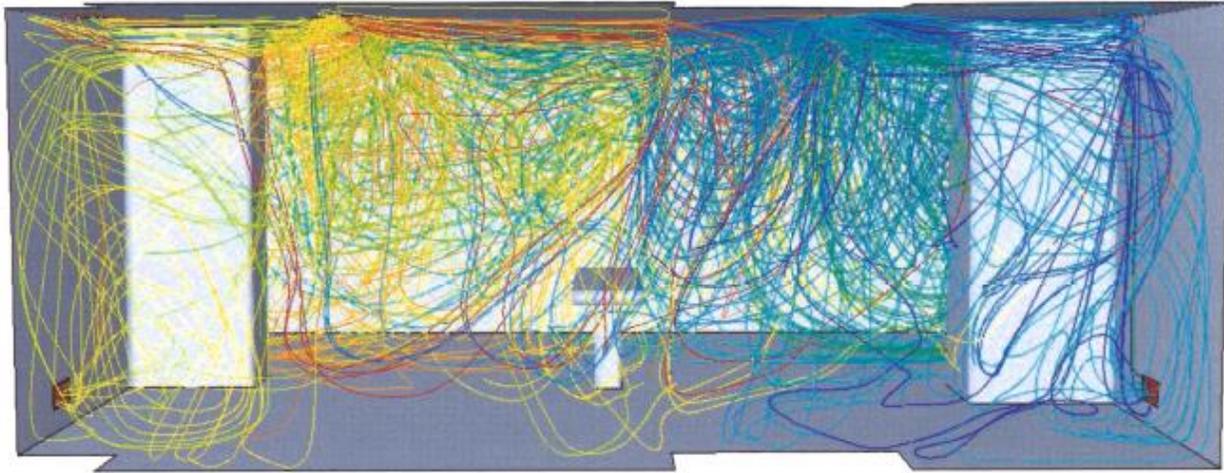
Por la parte inferior se aspiran 1.200 m<sup>3</sup>/h

Sobrepresión >10 Pa - Retorno menor que el caudal de impulsión

Presión y velocidades uniformes en todo el quirófano

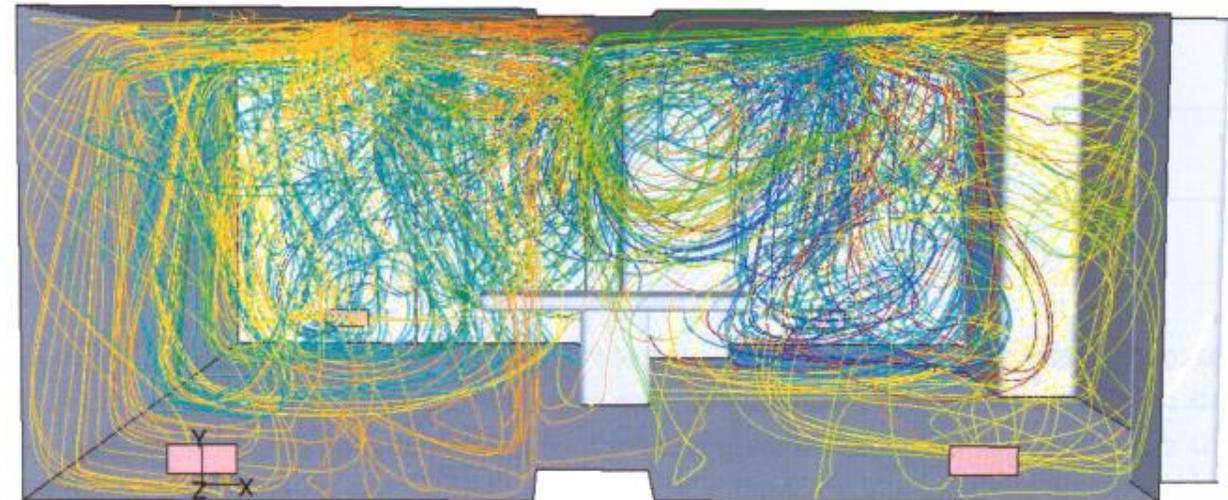
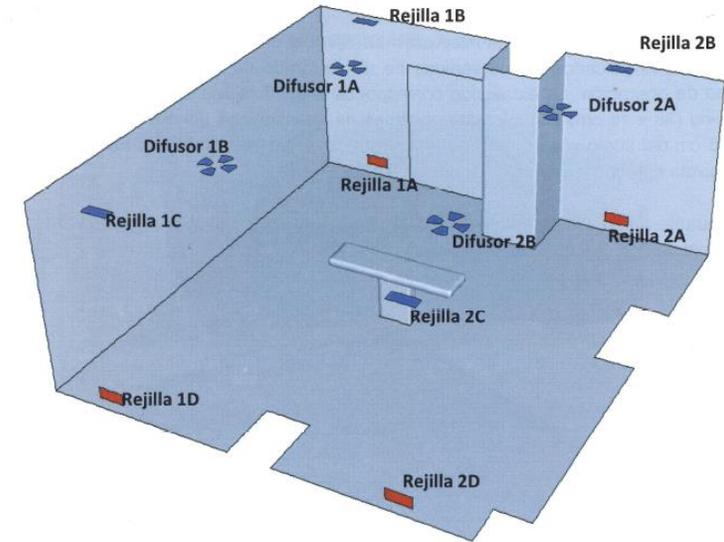


## Quirófano tipo B: Simulación por CFD

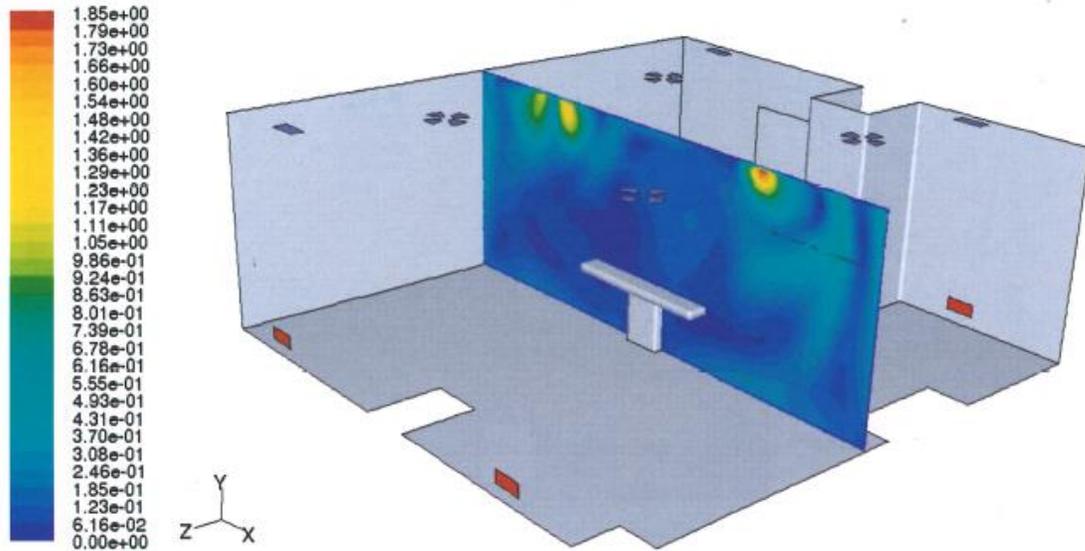


### Trayectoria partículas de aire

Situación balanceada con flujo cruzado. Más turbulencia y recirculaciones al tropezar con mobiliario y personas

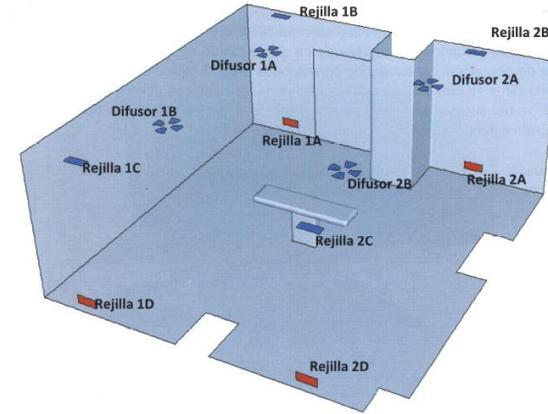


## Quirófano tipo B

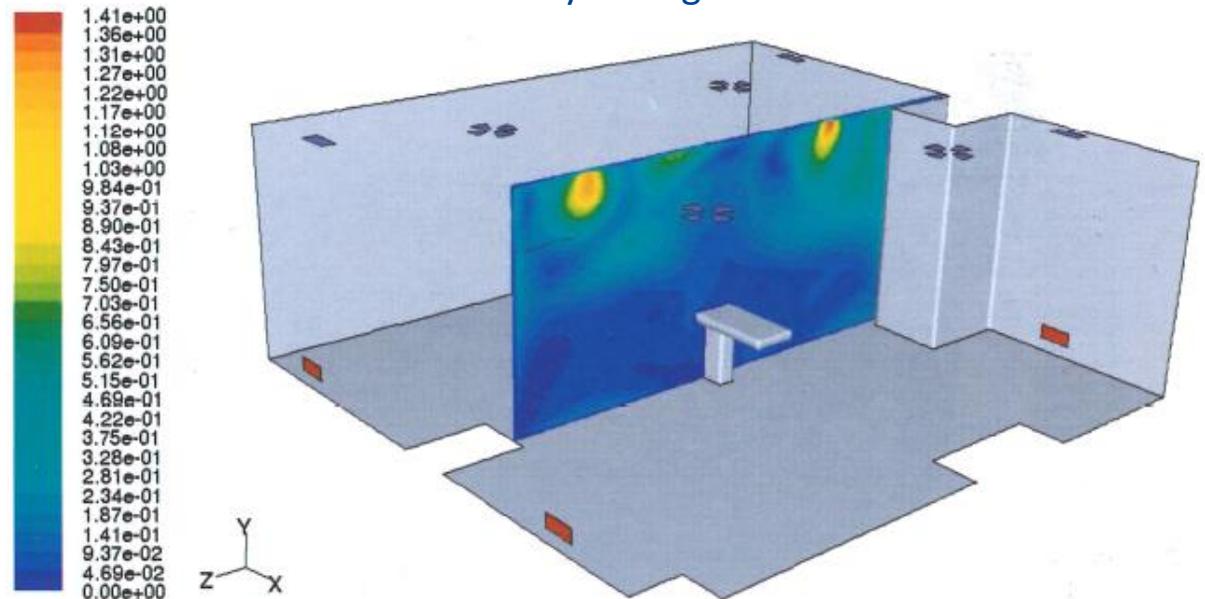


**Velocidad (m/s)**

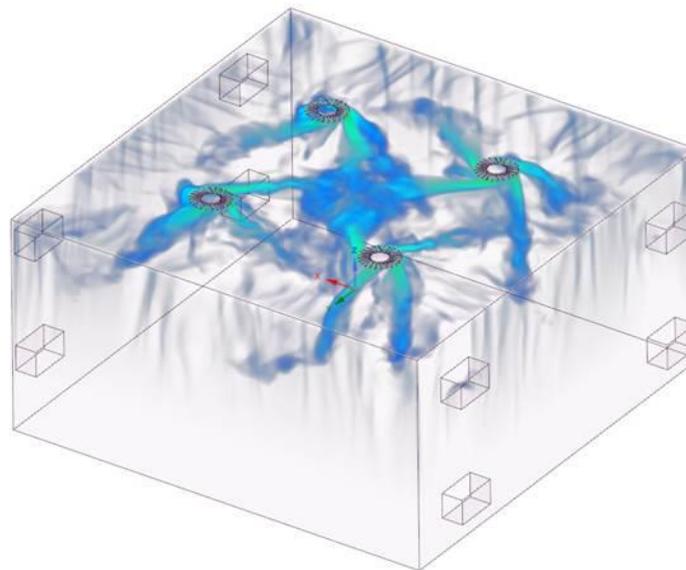
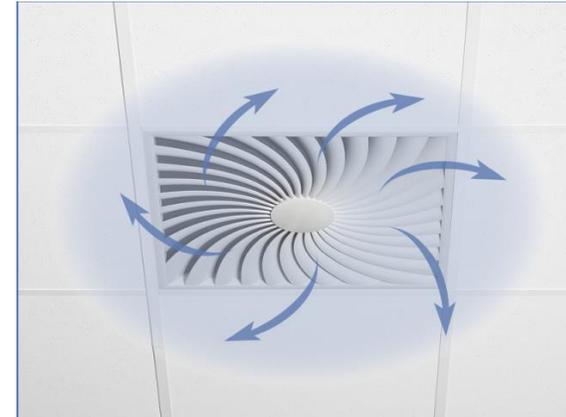
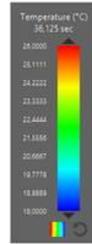
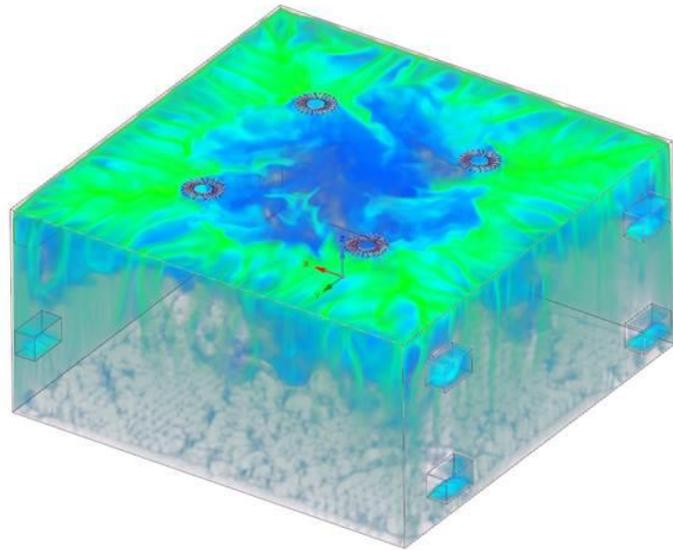
Velocidades mayores cercanas a 0,19 m/s en zona de operación



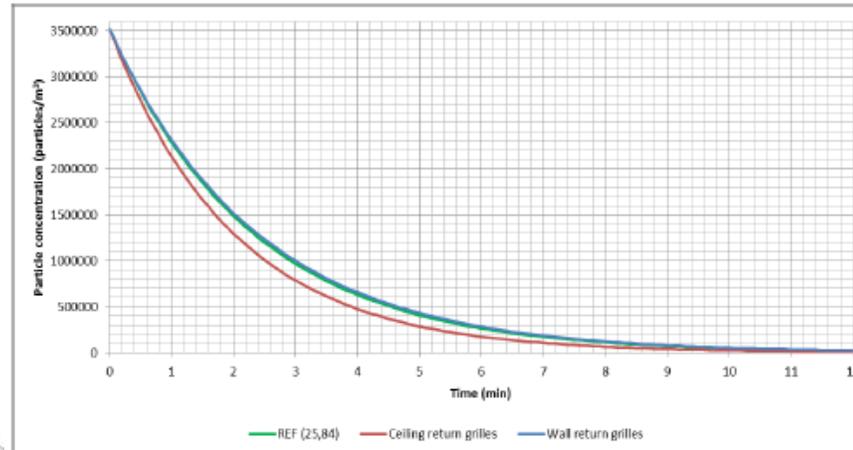
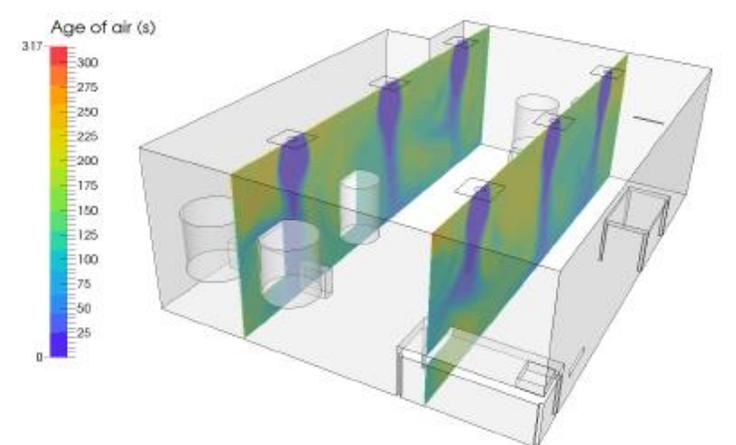
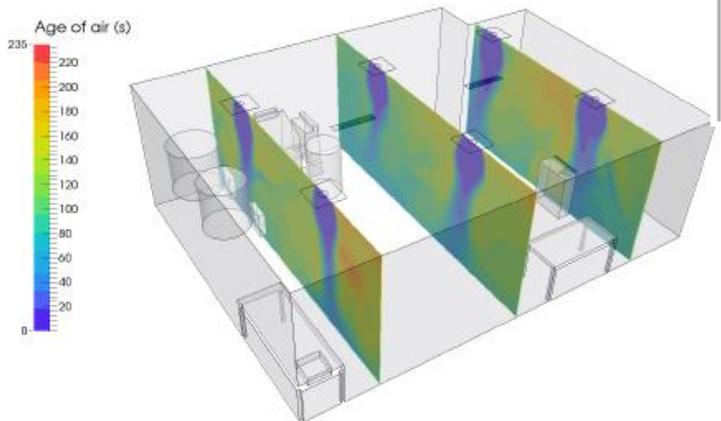
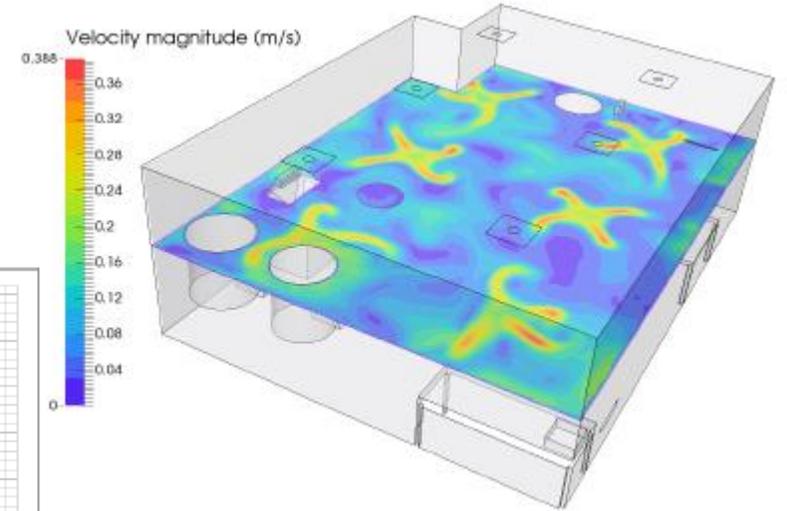
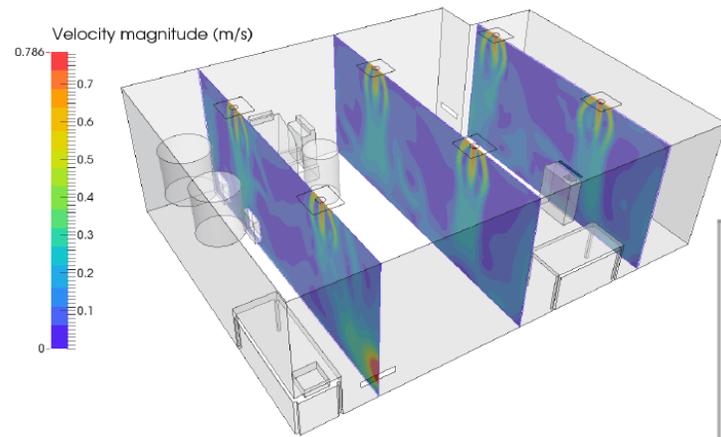
Tiempo de permanencia entre 30 y 60 segundos



## Distribución de aire efectiva



# Eficiencia de ventilación





# TROX<sup>®</sup> TECHNIK

The art of handling air

*for indoor life quality*