

CASO PRÁCTICO 46

INFORME DE ANÁLISIS DE SIMULACIÓN MEDIANTE CFD

Nuevo SAN MAMÉS, Bilbao (España)

Propuesta de Ventilación de Aparcamiento nº 12146



1. Glosario

Ítem	Símbolo	Descripción
Renovaciones por hora	ACH	Número total de renovaciones del volumen total de aire realizadas por hora
Computational Fluid Dynamics	CFD	Métodos y algoritmos numéricos para resolver y analizar problemas fluidodinámicos
Punto de Extracción de Aire	EA	Área donde se extrae el aire del aparcamiento mediante un ventilador
Modo de Emergencia	EM	Escenario de ventilación en caso de emergencia
Punto de Aire Fresco	FA	Área donde el aire es introducido al aparcamiento. Puede ser introducido de forma natural o mecánica
Entrada de Aire	IA	Área por la cual se puede introducir aire no fresco al aparcamiento. Estas serán entradas naturales, no mecánicas
Ventilador Centrífugo de Inducción	IFHT	Ventilador centrífugo que induce movimiento de aire en un aparcamiento cubierto
Edad Media Local del Aire	LMA	Tiempo que una particular de aire permanecerá en el aparcamiento desde la entrada (FA)
Ventilación Normal de la Polución	NPV	Escenario de ventilación normal de la polución
Ventilador de Impulso Axial Unidireccional (Jet Fan)	TJHU	Ventilador axial que induce movimiento de aire en un aparcamiento cubierto
Ventilador de Impulso	-	Ventilador que induce movimiento de fluido en un aparcamiento cubierto
Aire Estancado	-	Aire que no tiene movimiento

2. Aparcamiento del estadio de fútbol "Nuevo San Mamés"

El objetivo de este proyecto es revisar el funcionamiento del sistema de ventilación propuesto para el aparcamiento del Estadio de Fútbol Nuevo San Mamés en Bilbao, España, e instalado en 2013 (el número de referencia de Soler & Palau es: 12146).

2.1 Normativa aplicable

Según el código técnico de la edificación (CTE), la ventilación de aparcamientos está regida por dos documentos básicos (DB):

- **DB HS** de salubridad.
- **DB SI** de seguridad en caso de incendio.

Según el **DB HS** (2009), capítulo "3 Calidad de aire interior", apartado "3.1.4 Aparcamientos y garajes de cualquier tipo de edificio",

sub-apartado "3.1.4.2 Medios de ventilación mecánica": "(...)

2. La ventilación debe realizarse por depresión y puede utilizarse una de las siguientes opciones:

- a) con extracción mecánica;
- b) con admisión y extracción mecánica.

3. Debe evitarse que se produzcan estancamientos de los gases contaminantes y para ello, las aberturas de ventilación deben disponerse de la forma indicada a continuación o de cualquier otra que produzca el mismo efecto (...)" Según el **DB SI** (versión de diciembre 2011 con comentarios del ministerio de Fomento), capítulo "3 Evacuación de ocupantes", apartado "8 Control de humo en incendio":

"Normas sobre control del humo y el calor en garajes

Hasta que se disponga de normas UNE EN específicas, se pueden considerar adecuadas para su aplicación en los proyectos de instalaciones para el control del humo y el calor en garajes, de forma no excluyente, las normas que se indican a continuación, las cuales están sirviendo de referencia en los trabajos de elaboración de una norma europea en CEN/TC191/SC1/WG9:

- **BS 7346-7**. Componentes de los sistemas de control del humo y el calor. Parte 7: Código de práctica sobre recomendaciones funcionales y métodos de cálculo de los sistemas de control del humo y el calor para aparcamientos cubiertos. (...)"

Por lo tanto, esta propuesta está basada, generalmente, en los caudales definidos en la normativa

de UK BS 7346-7:2006, para ventilación diaria y disipación de humo. La extracción para Ventilación de la Polución Normal (NPV) será de 6 renovaciones/hora (ACH) y de 10 ACH para disipación de humo en Modo de Emergencia (EM).

El diseño del sistema jet fan se ha guiado por la BS 7346-7:2006 tanto para NPV como para EM. Para NPV, en las sección 6 de BS 7643-7:2006 se puede encontrar, “6 Vehicle exhaust pollution control”; donde el apartado “6.4 Mechanically ventilated car parks” se refiere a: “For basement or enclosed car park storeys, mechanical ventilation should be provided to at least 6 air changes per hour.”

Para EM, en la sección 9 de BS 7643-7:2006 se puede encontrar, “9 Impulse ventilation to achieve smoke clearance”; donde el apartado 9 se refiere a: “The objective of the smoke clearance system design is to:

- a) Assist fire-fighters by providing ventilation to allow speedier clearance of the smoke once the fire has been extinguished;
- b) Help reduce the smoke density and temperature during the course of a fire.”

La redundancia de los jet fans no se ha considerado en esta propuesta ni para NPV ni para disipación de humo puesto que esto no está referenciado en la sección 9 de la BS 7346-7:2006. La redundancia es la pérdida de un jet fan debido a un incendio o al mantenimiento de los mismos. BS 7346-7:2006, sección 10: “Impulse ventilation to assist firefighting access”, apartado 10.1.10 se refiere a “The design objectives of the system should be met even after failure of the jet fan closest to the fire.”

S&P propone un diseño basado en depresión para reducir potencialmente el flujo de polución/humo hacia áreas contiguas, y por razones de seguridad. Esto significa que parte

del aire de entrada debe ser suministrado mediante áreas abiertas a la atmósfera (tales como chimeneas, rampas de entrada/salida...). Entonces, un aparcamiento tipo debe disponer de:

- Punto/s de extracción mecánica (uno como mínimo).
- Punto/s de entrada natural de aire (como mínimo uno).
- Punto/s de impulsión mecánica de aire (a definir por el diseñador).

El cliente confirmó que el sistema funcionaría tanto para la Ventilación Normal de la Polución como en caso de emergencia por incendio (EM).

No obstante, los sistemas de disipación de humo están, normalmente, sujetos a las leyes y regulaciones locales.

2.2 Descripción geométrica

El aparcamiento está compuesto por un único sótano (Sótano -1), de un área total aproximada de 9.927 m² y un volumen total de 32.913 m³.

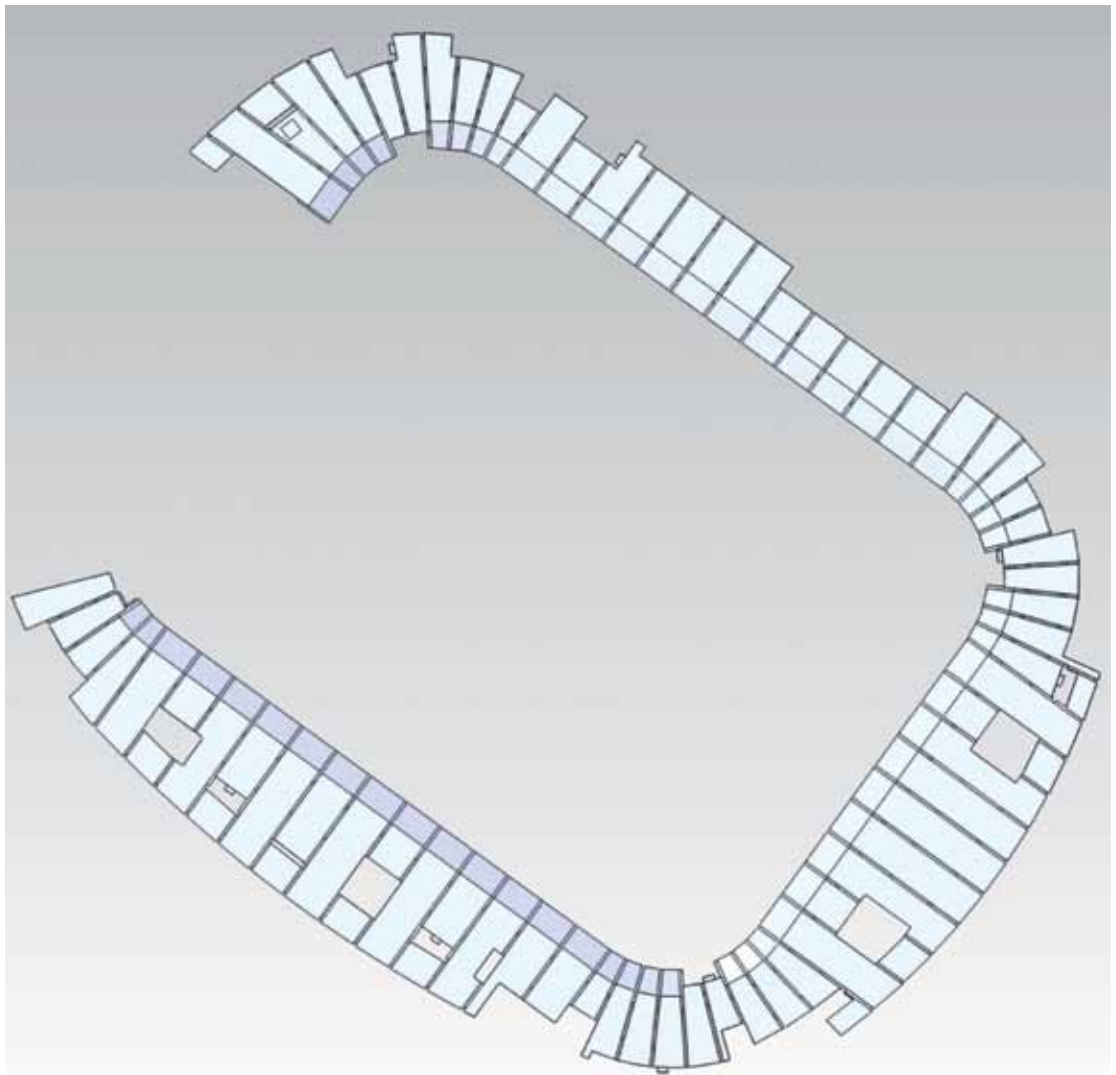


Figura 2.1. Modelo del Sótano -1 – Fase 2

2.3 Definición de las rampas del aparcamiento

El aparcamiento se accede mediante un túnel de acceso que conecta el nivel de calle con la esquina inferior-izquierda del aparcamiento. Esta rampa es la única vía de acceso/salida de vehículos desde el exterior al Sótano -1.

2.4 Definición de zonas del aparcamiento

Para este aparcamiento no se ha definido ningún tipo de zonificación, ni física ni virtual.

2.5 Descripción del sistema de ventilación

El sistema de ventilación está compuesto por ventiladores de extracción, que crean el movimiento de aire, un ventilador de aporte de aire y ventiladores de impulso del tipo axial y centrífugo de inducción que distribuyen el aire por el aparcamiento. Además, el sistema dispone de puntos de aporte natural de aire fresco.

La extracción para la el modo Horario será de 6 ACH, mientras que para la Ventilación Normal de la Polución (NPV) y para el Modo de Emergencia – Disipación de Humo será de 10 ACH. Los aparatos suministrados por Soler & Palau (S&P) para el sistema de ventilación corresponden a ventiladores de las gamas TGT, CHGT, TJHU e IFHT, además de los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. A continuación se relacionan los aparatos que se instalarán en el aparcamiento:

- Extracción:
 - CHGT/4-800-6/26-5,5kW-F300-400V-50Hz
 - CHGT/4-800-6/20-4kW-F300-400V-50Hz
 - CHGT/4-1000-6/22-11kW-F300-400V-50Hz
 - CHGT/4-1250-6/12-15kW-F300-400V-50Hz
- Aporte:
 - TGT/4-1000-6/28-15kW-400V-50Hz
- Ventiladores de impulso:
 - TJHU/2/4-315-BC 0,8/0,2kW F300
 - IFHT-50N-C 4/8 1,1/0,18kW F300

El análisis del sistema de ventilación ha sido realizado con la selección de productos Soler&Palau mostrada anteriormente. **Otros fabricantes o modelos podrían incurrir a un incumplimiento de los requerimientos de la instalación** y por lo tanto, el análisis de los resultados obtenidos mediante CFD quedaría invalidado.

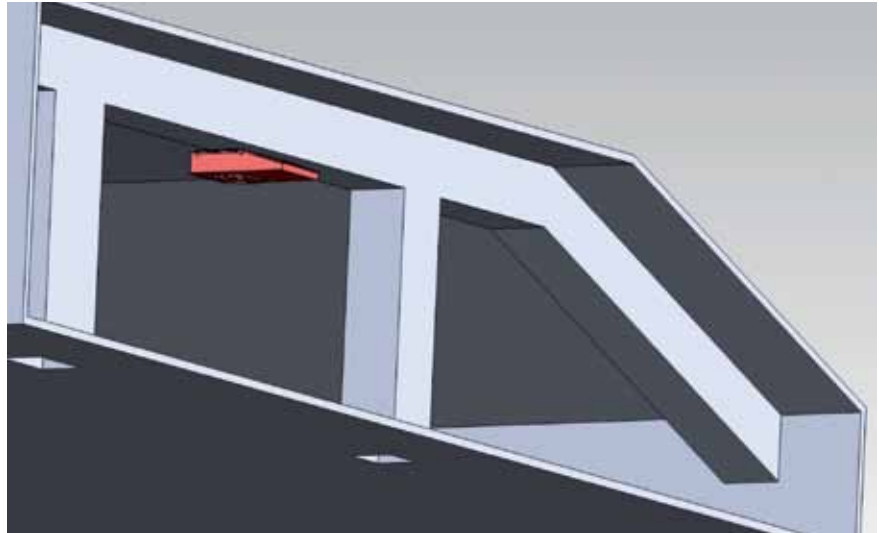


Figura 3.1. Detalle de la ubicación de los ventiladores de impulso y vigas de descuelgue

3. Datos de la simulación

3.1 Definición del software

El programa usado para realizar las simulaciones de Dinámica de Fluidos (CFD) del aparcamiento es capaz de modelar la geometría, crear la malla y permite al usuario asignar las condiciones de contorno al modelo. Además, en el mismo software se resuelve el modelo y se pueden post-procesar los resultados. Los programas de CFD ayudan a simular ciertos tipos de flujos. En esencia, el volumen de fluido se divide en celdas cuyo tamaño es conscientemente seleccionado para capturar el comportamiento global del flujo dentro del aparcamiento para diferentes escenarios. Una vez finalizada la simulación, el programa puede proporcionar valores de la presión, velocidad del aire o edad media del aire, entre otros, en cada una de las celdas.

3.2 Detalles geométricos

Algunos detalles geométricos han sido simplificados puesto que se considera que éstos no afectan al comportamiento global de la ventilación del aparcamiento y que por lo tanto, las características principales del flujo aún son capturadas por la simulación. En particular:

- Se ha simplificado el modelado de los ventiladores de impulso.
- Los posibles conflictos con otras instalaciones presentes en el aparcamiento no se tendrán en cuenta en este estudio.
- Aparte de las vigas de descuelgue, el cliente no ha definido otras obstrucciones significativas:

- No se ha considerado el túnel de acceso al aparcamiento puesto que se asume que tendrá baja resistencia y que la ventilación dispuesta en el túnel no funcionará al mismo tiempo.
- El modelo 3D del aparcamiento podría no coincidir exactamente con la realidad, puesto que la zona ubicada debajo de las gradas no se ha modelado completamente al considerar que esto no afecta de manera significativa al flujo general de aire dentro del aparcamiento.
- Las distintas simulaciones se han realizado sin tener en cuenta los posibles vehículos presentes en el aparcamiento. Los vehículos tienen dos efectos principales en la ventilación:
 - Por un lado, los vehículos son obstrucciones que pueden crear flujo turbulento y por lo tanto modificar el perfil de velocidades, especialmente en las cercanías de las plazas de aparcamiento.
 - Por otro lado, como se considera que están perfectamente sellados, éstos sustraen volumen de aire del aparcamiento y por lo tanto, para un caudal de extracción dado, las renovaciones de aire incrementan, elevando la velocidad de aire en las zonas de paso de viandantes y carreteras, lo que podría redundar en un incremento de la calidad del aire puesto que éste permanecería menos tiempo en el aparcamiento.

3.3 Puntos de Extracción de Aire

Existen un total de ocho (8) puntos de extracción que han sido ubicados en la misma posición donde se encuentran las chimeneas actuales de extracción proyectadas inicialmente.

La extracción en modo Horario será de aproximadamente 6 renovaciones por hora mientras que en Ventilación Normal de Polución (NPV) y Modo de Emergencia – Disipación de Humo será de aproximadamente 10 renovaciones por hora. Los caudales detallados en cada punto de extracción se muestran en la Tabla 3.1.

Se ha acordado que el área libre es un 80% del área real de la rejilla, aunque de cualquier modo, el cliente ha definido que las superficies de área libre en cada uno de los puntos son viables. (Tabla 3.1)

Se recomienda el uso de compuertas antiretorno en cada ventilador cuando se instalen en paralelo, para evitar el efecto de cortocircuito entre ellos, para operar en caso que uno de los dos fallara.

Note que los caudales de extracción en cualquiera de los escenarios y fase son significativamente mayores a los definidos por el CTE. Por lo tanto, éstos se podrían considerar aceptables.

Nota: No se ha recibido información detallada de la ubicación de la descarga a la atmósfera de los ventiladores principales de extracción. De cualquier modo, el cliente debe asegurarse que no existan implicaciones adversas para la descarga de polución y, potencialmente, humo en emergencia por incendio.

3.4 Puntos de suministro de Aire Fresco

Se han definido varios puntos de aporte de aire fresco distribuidos por el aparcamiento:

- Aporte natural de aire fresco:
 - FA-R: La rampa de entrada/salida al Sótano-1.
 - FA-2: Esquina inferior-derecha, ubicado en el eje 49.
 - FA-3: Esquina superior-derecha, ubicado en el eje 32.
- Aporte mecánico de aire fresco:
 - FA-1: Un ventilador de aporte de aire fresco.

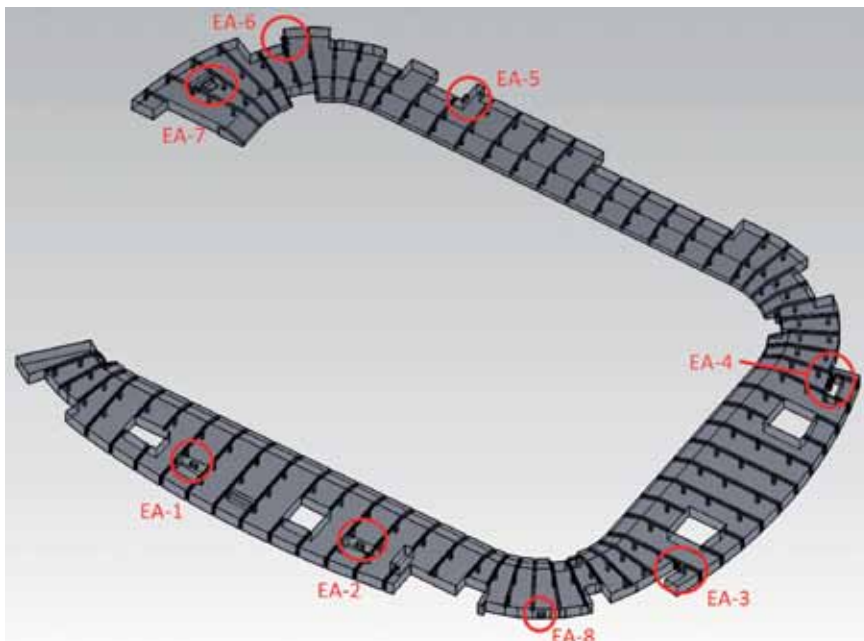


Figura 3.2. Puntos de extracción en Fase 2

Tabla 3.1. Valores detallados de ventilación en los puntos de extracción

Nivel	Designación	Caudal (m³/h)	Velocidad (m/s)
Sótano - 1	EA-1	28.916	4,02
	EA-2	28.916	4,02
	EA-3	23.183	3,22
	EA-4	56.109	3,90
	EA-5	28.916	4,02
	EA-6	28.916	4,02
	EA-7	148.890	4,31
	EA-8	28.916	4,02

Los puntos de entrada de aire fresco definidos en el CFD, tanto mecánicos como naturales, se han marcado en azul en la figura 3.3.

De este modo, se considera que los puntos de entrada natural de aire

fresco desde el exterior permanecen permanentemente abiertos y por lo tanto se ha considerado que son una condición aceptable para la entrada de aire a los distintos sótanos del aparcamiento puesto que se asume

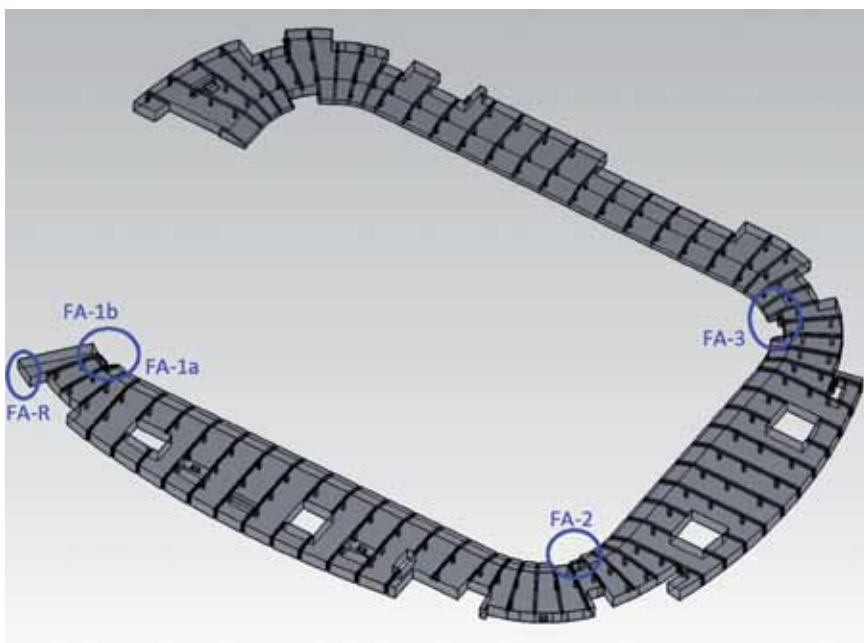


Figura 3.3. Puntos de suministro de aire fresco en Sótano -1

que el aire del exterior puede circular a través de estos elementos con mínima resistencia.

Por lo tanto, se ha acordado con el cliente que para la simulación se tomará el siguiente dato:

- El área libre es un 80% del área real de la rejilla abierta a la atmósfera, excepto en las rampas de entrada y/o salida de los sótanos y los puntos de aporte natural ubicados en los córneres, donde se considera que el área libre es igual al área real.

En la siguiente figura 3.4 se muestra un detalle del punto de aporte mecánico de aire fresco FA-1.

El caudal en cada punto de entrada natural de aire no puede ser calculado a priori, puesto que el sistema completo se equilibrará durante la operación. (Tabla 3.2)

4. Definición de los escenarios

Se ha realizado la simulación del escenario de “Modo de Emergencia – Disipación de Humo (EM)” con las siguientes características (Tabla 4.1). Debido a que el funcionamiento del sistema cuando se detecte polución y en modo de emergencia es el mismo, los resultados pueden considerarse equivalentes.

En cuanto al modo de funcionamiento de los ventiladores de impulso será el siguiente:.

Tabla 4.2. Funcionamiento de los ventiladores de impulso – Fase 2

Num Jet Fan	Escenario NPV o EM
JF1	Velocidad alta
JF2	Velocidad alta
JF3	Velocidad alta
JF4	Velocidad alta
JF5	Velocidad alta
JF6	Velocidad alta
JF7	Velocidad alta
JF8	Velocidad alta
JF9	Velocidad alta
JF10	Velocidad alta
JF11	Velocidad alta
JF12	Velocidad alta
JF13	Velocidad alta
JF14	Velocidad alta
JF15	Velocidad alta
JF16	Velocidad alta
JF17	Velocidad alta
JF18	Velocidad alta
JF19	Velocidad alta
JF20	Velocidad alta
JF21	Velocidad alta
JF22	Velocidad alta
JF23	Velocidad alta

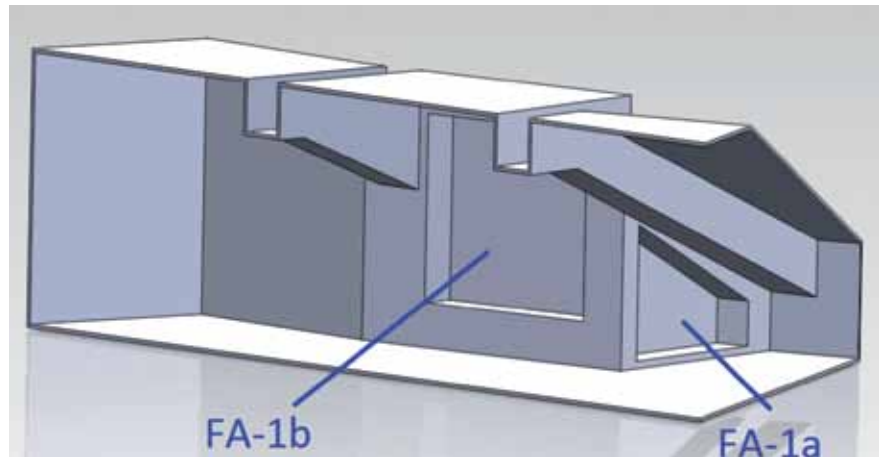


Figura 3.4. Detalle de FA-1

Tabla 3.2. Valores detallados de ventilación en los puntos de aporte mecánico de aire fresco

Nivel	Designación	Caudal (m³/h)	Velocidad (m/s)
Sótano - 1	FA-R	-	-
	FA-1a	72,317	2.01
	FA-1b		
	FA-2	-	-
	FA-3	-	-

Tabla 4.1. Funcionamiento de los ventiladores principales

Escenario	Puntos de extracción mecánica		Puntos de aporte mecánico	
EM	EA-1	28.916 m³/h	FA-1	72.317 m³/h
	EA-2	28.916 m³/h		
	EA-3	23.183 m³/h		
	EA-4	56.109 m³/h		
	EA-5	28.916 m³/h		
	EA-6	28.916 m³/h		
	EA-7	148.890 m³/h		
	EA-8	28.916 m³/h		

5. Resultados de las simulaciones

Los resultados de las simulaciones han sido obtenidos tanto para funcionamiento en Modo de Emergencia – Disipación de Humo (EM) para el Sótano -1. Los resultados más interesantes para analizar el flujo de aire son aquellos correspondientes a la velocidad del aire ya que nos muestra la distribución del aire en el aparcamiento, juntamente con la Edad Media Local del aire (LMA). El análisis de la velocidad de aire se realiza para verificar que no existen áreas significantes de aire estancado, especialmente en Modo de Emergencia – Disipación de Humo. Una velocidad de 0,1 m/s o superior podría ser considerada deseable. Además, el análisis del LMA se considera interesante para determinar posibles recirculaciones de aire. El valor de este parámetro es 360 segundos en NPV o EM Disipación de Humo (10 ACH). Dichos parámetros se grafican en el

plano paralelo al suelo a una altura de 1,70 m (altura de respiración estándar para un adulto) y en el plano de los ventiladores de impulso.

5.1 Modo de Emergencia – Disipación de Humo

Las siguientes imágenes muestran diferentes aspectos del flujo de aire y funcionamiento del sistema de ventilación para el escenario de Modo de Emergencia – Disipación de Humo (EM) en el Sótano -1, Fase 2. Nótese que los resultados obtenidos en esta simulación y los resultados para la Ventilación Normal de la Polución (NPV) podrían considerarse equivalentes al aplicarse las mismas condiciones de contorno. Refiérase a la sección de Definición de los Escenarios para las condiciones de contorno y restricciones aplicadas en este escenario. Se ha realizado una simulación estacionaria.

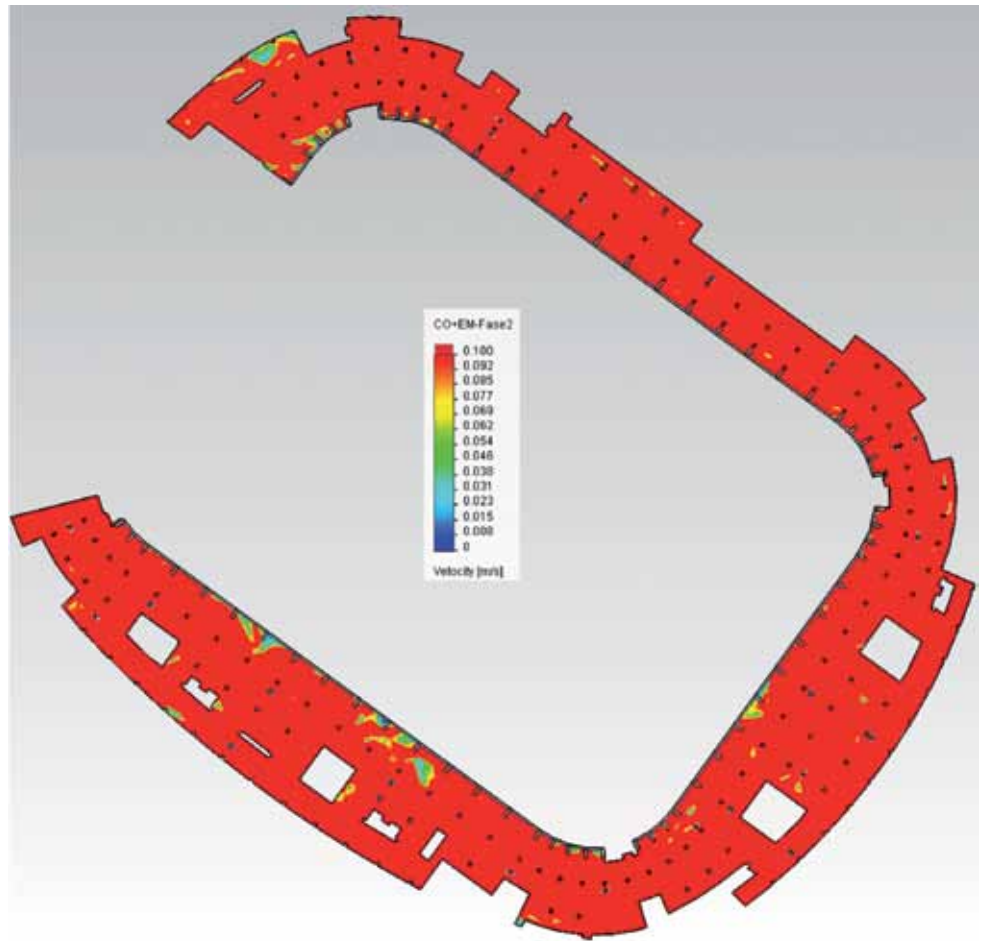


Figura 5.1. Velocidad en el plano paralelo al suelo a 1,7 m - Sótano -1 (en m/s)

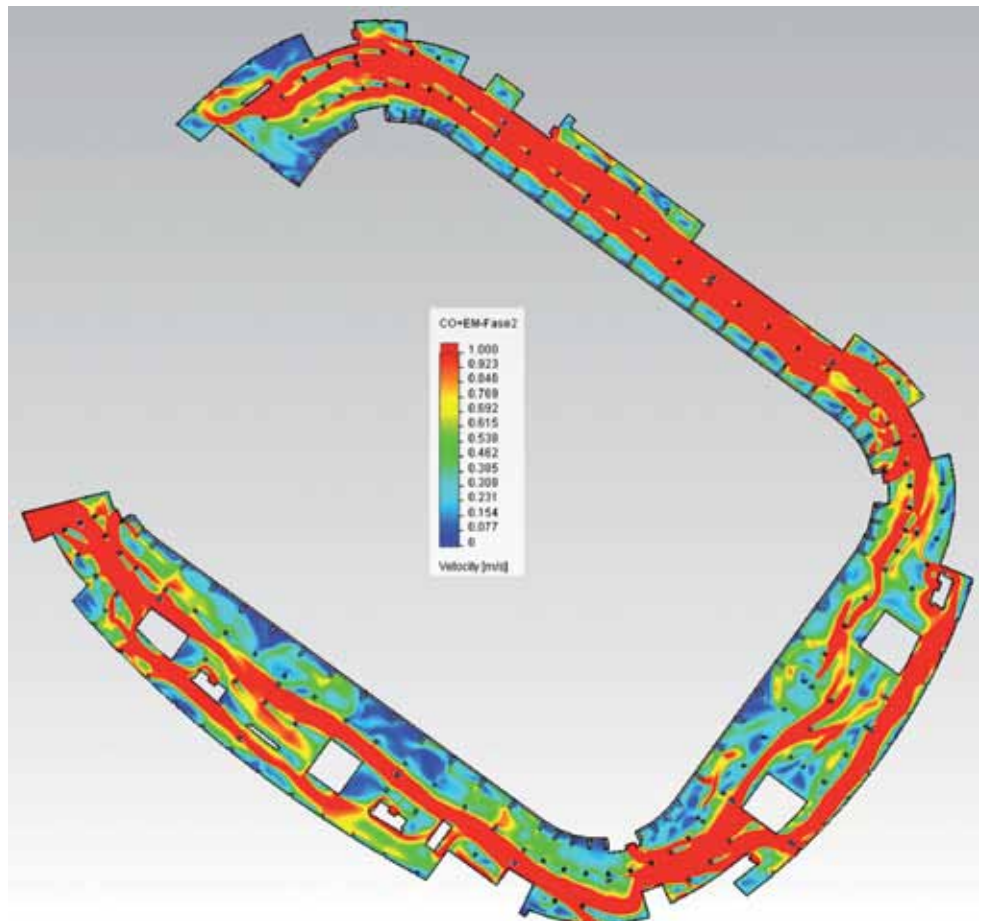


Figura 5.2. Velocidad en el plano paralelo al suelo a 1,7 m - Sótano -1 (en m/s) - Cambio de escala

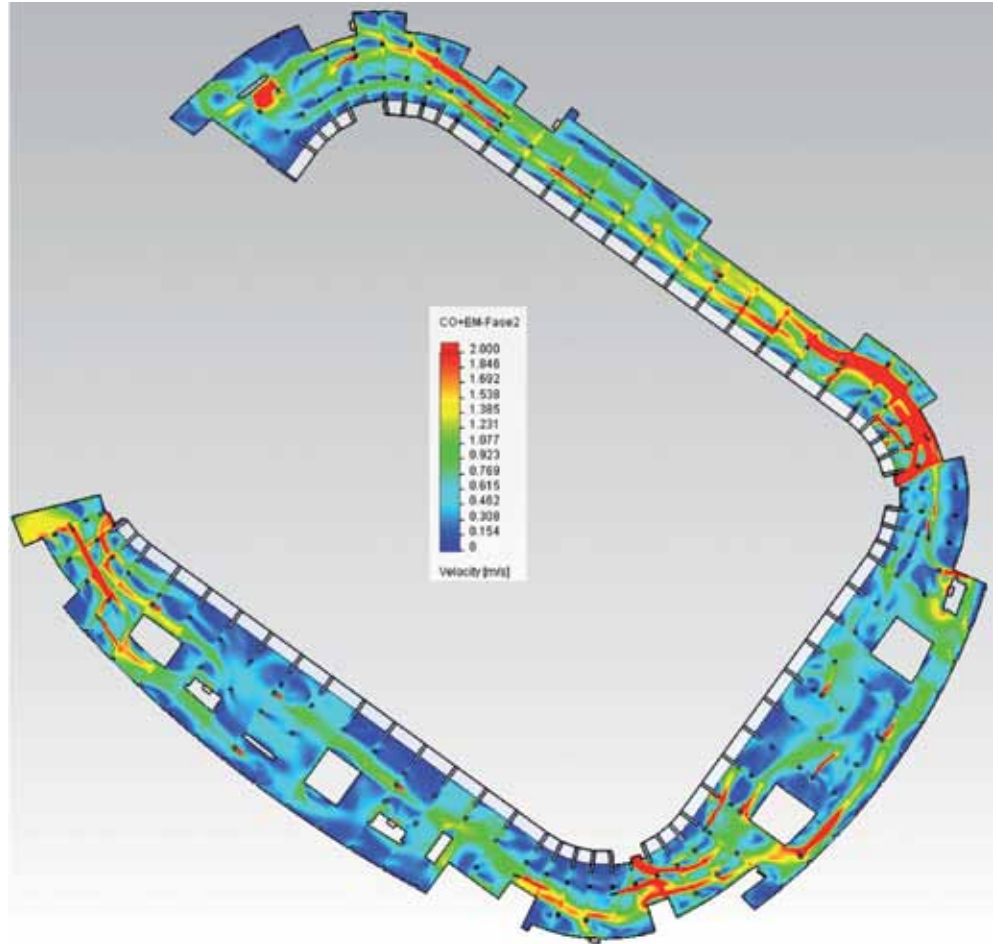


Figura 5.3. Velocidad en el plano de los ventiladores de impulso (m/s) - Sótano -1

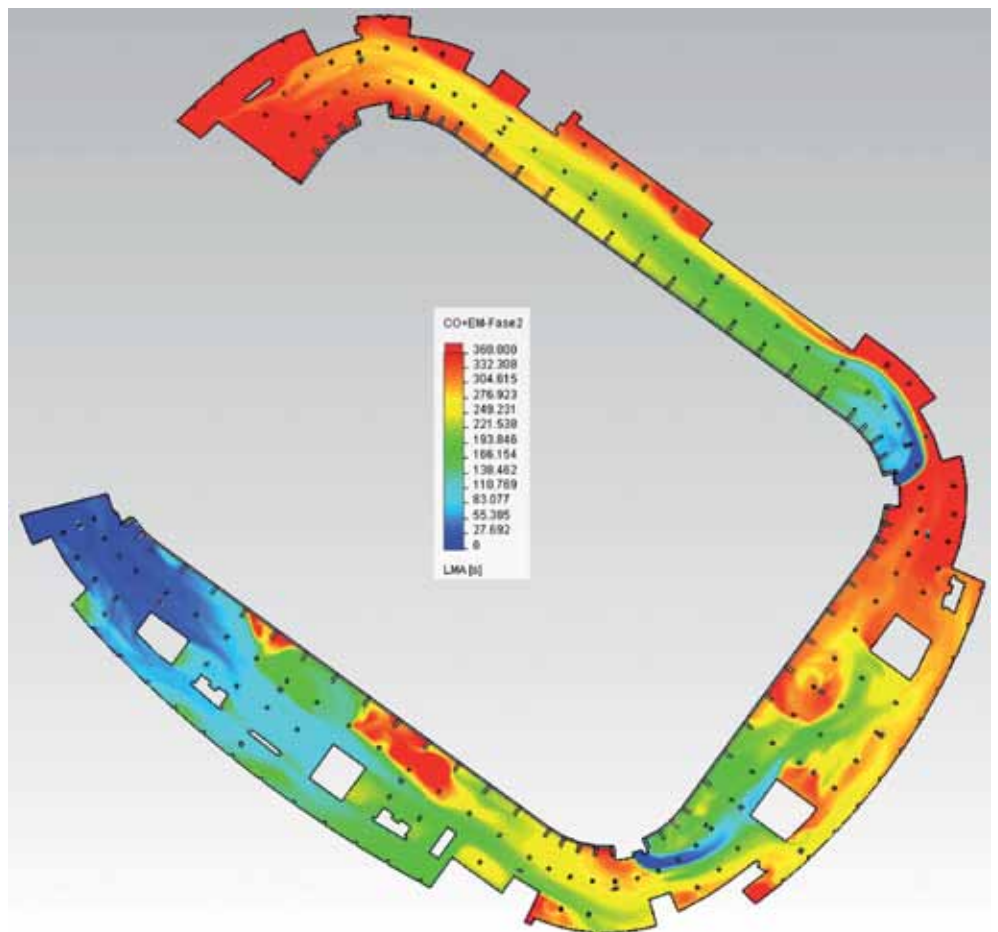


Figura 5.4. LMA en el plano de 1,7 m paralelo al suelo – Sótano -1 (en s)

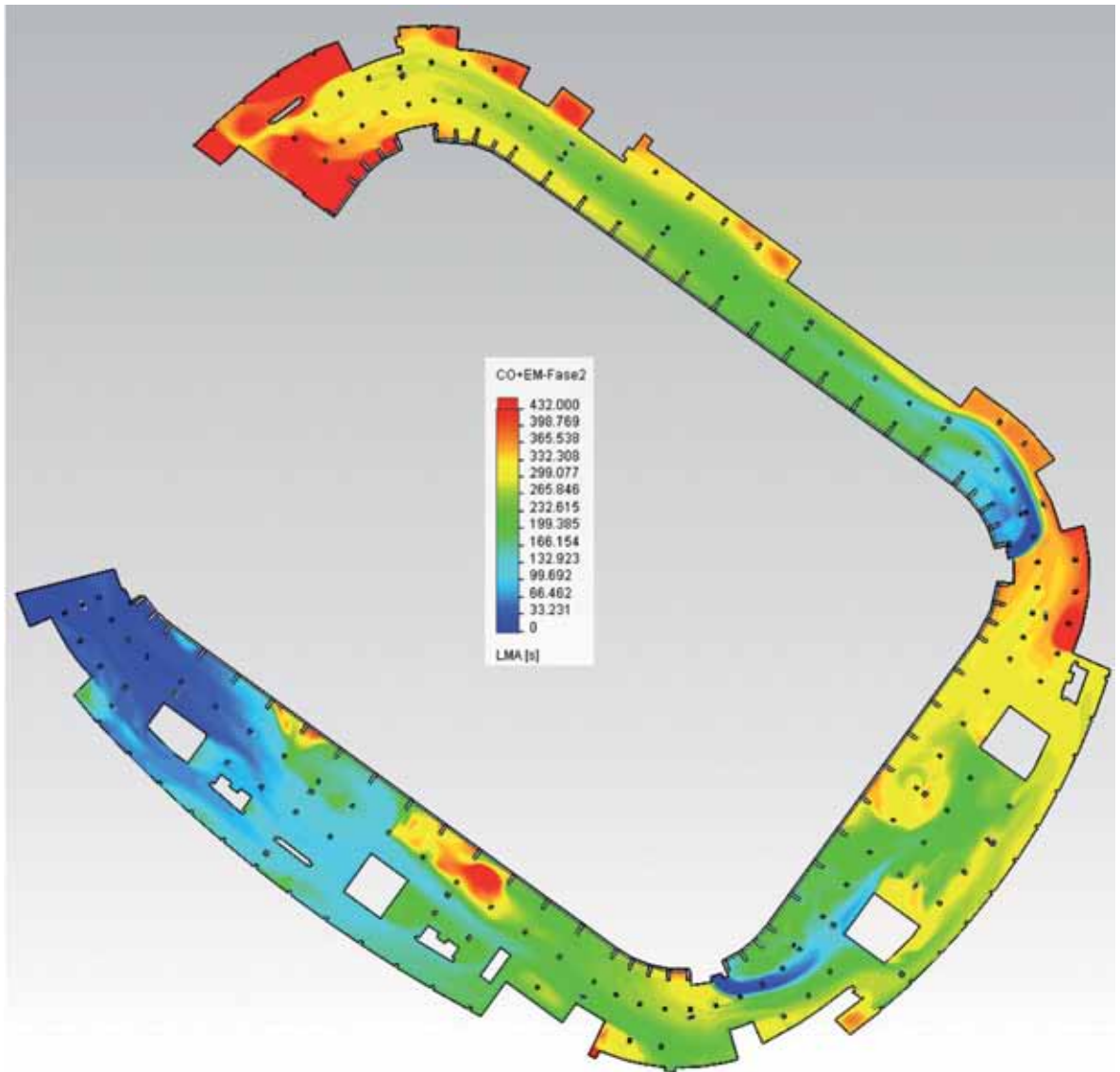


Figura 5.5. LMA en el plano de 1,7 m paralelo al suelo – Sótano -1 (en s) - Cambio de escala

Las siguientes figuras muestran las trayectorias que 20 partículas deberían seguir en 360 segundos si fueran lanzadas de los distintos puntos de extracción (desde EA-1 hasta EA-8):

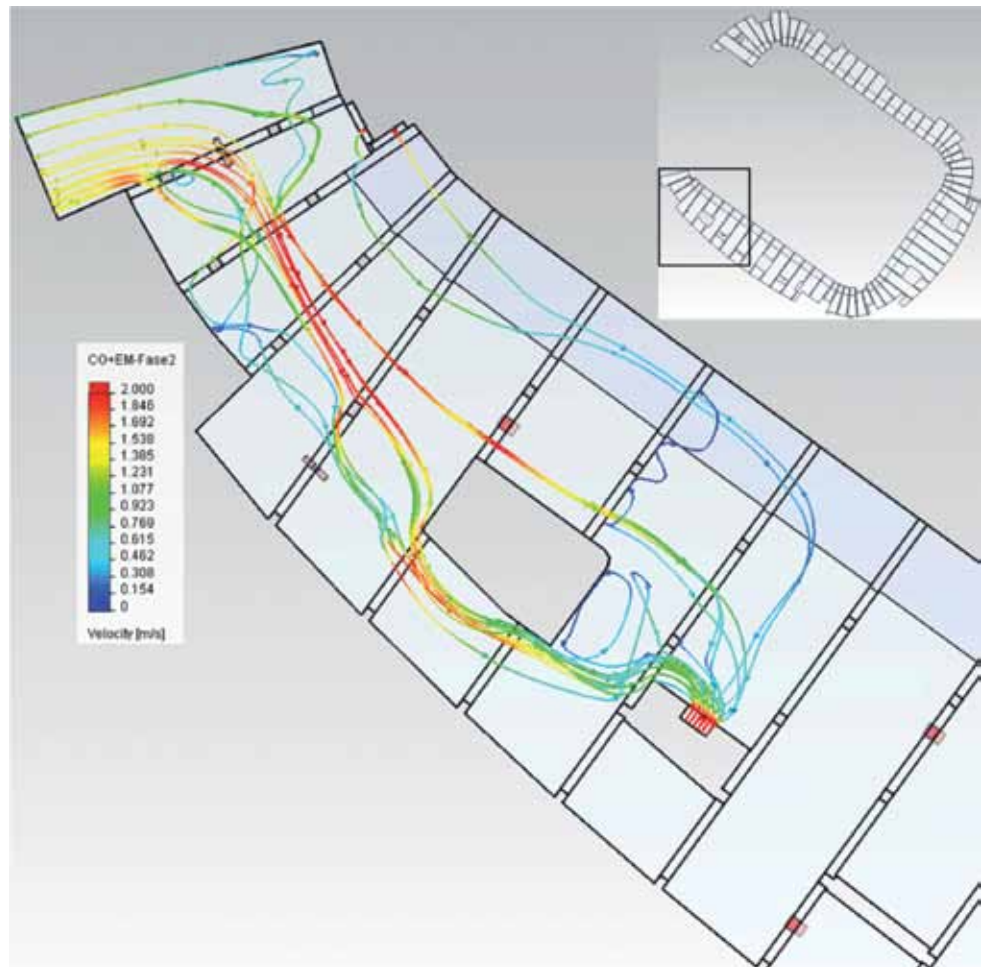


Figura 5.6. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-1 – Vista en planta

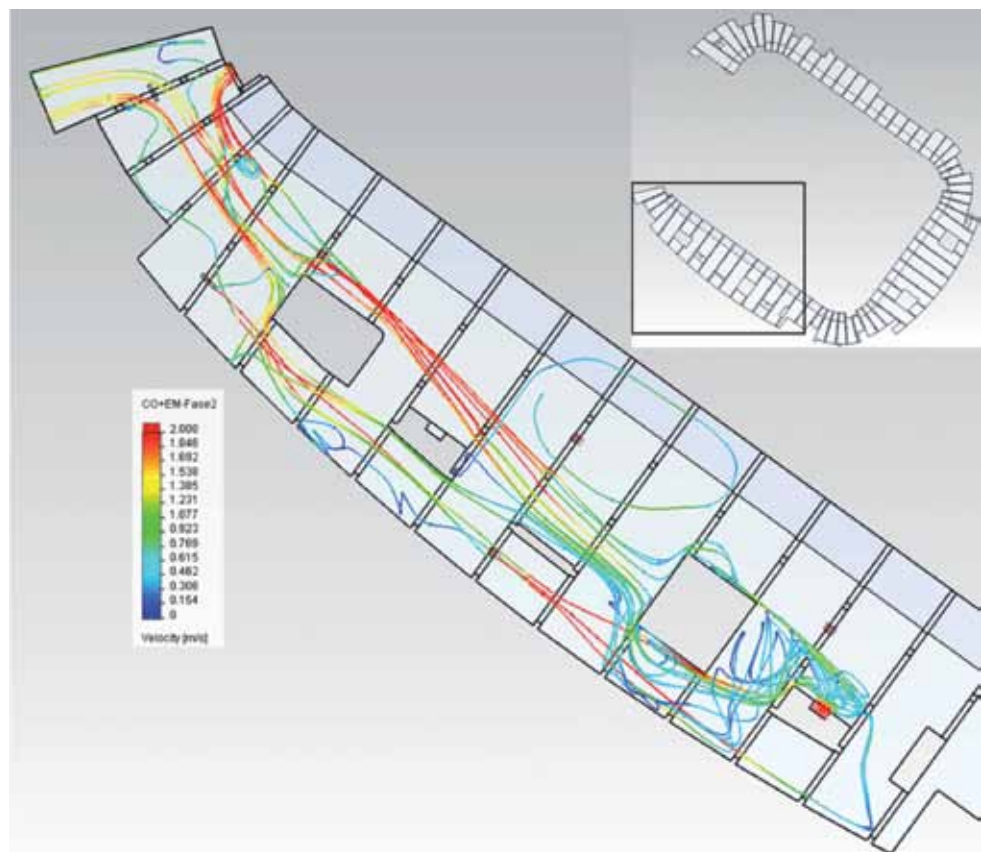


Figura 5.7. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-2 – Vista en planta

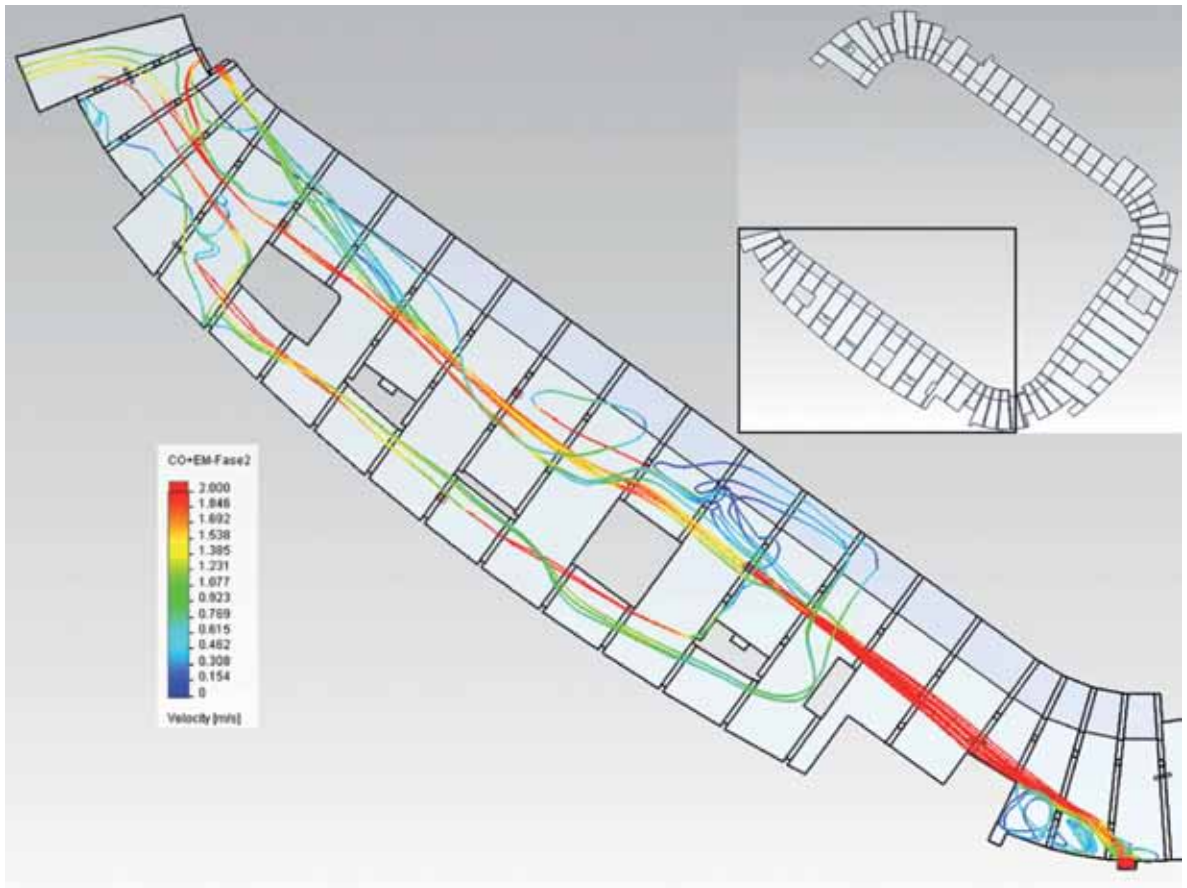


Figura 5.8. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-8 – Vista en planta

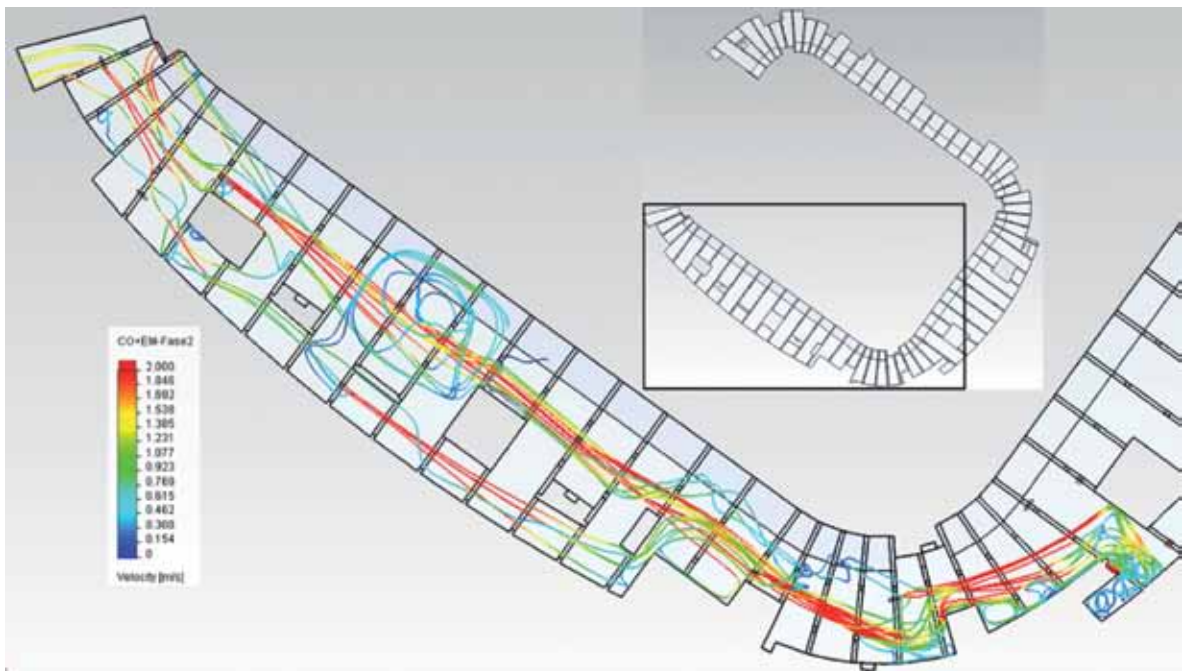


Figura 5.9. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-3 – Vista en planta

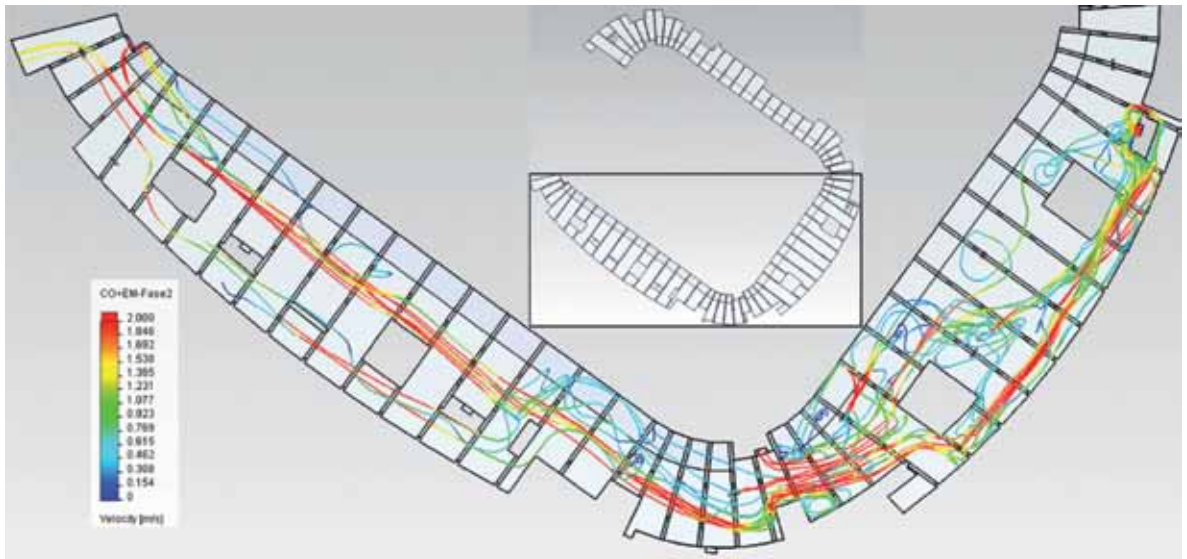


Figura 5.10. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-4 – Vista en planta

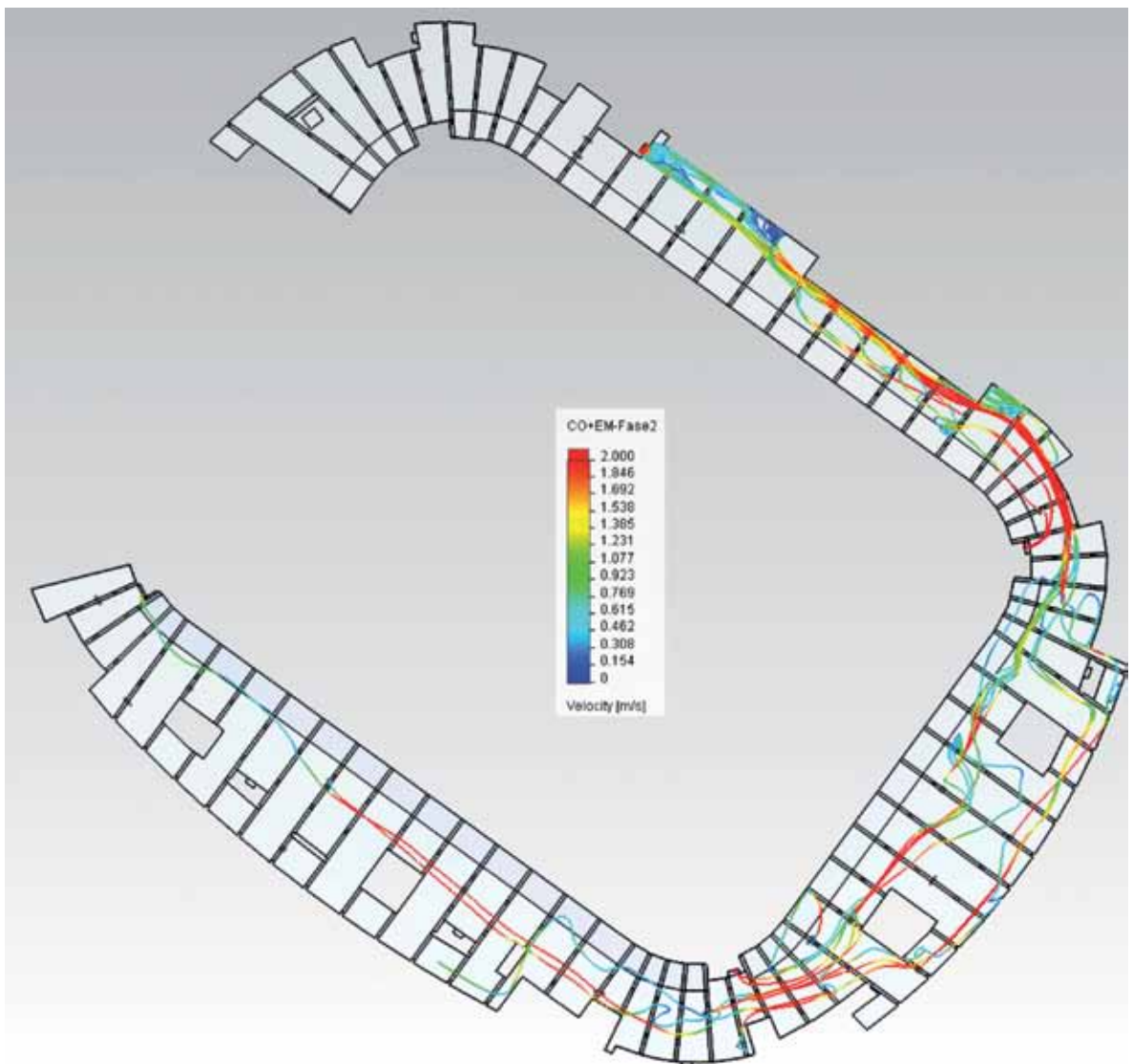


Figura 5.11. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-5 – Vista en planta

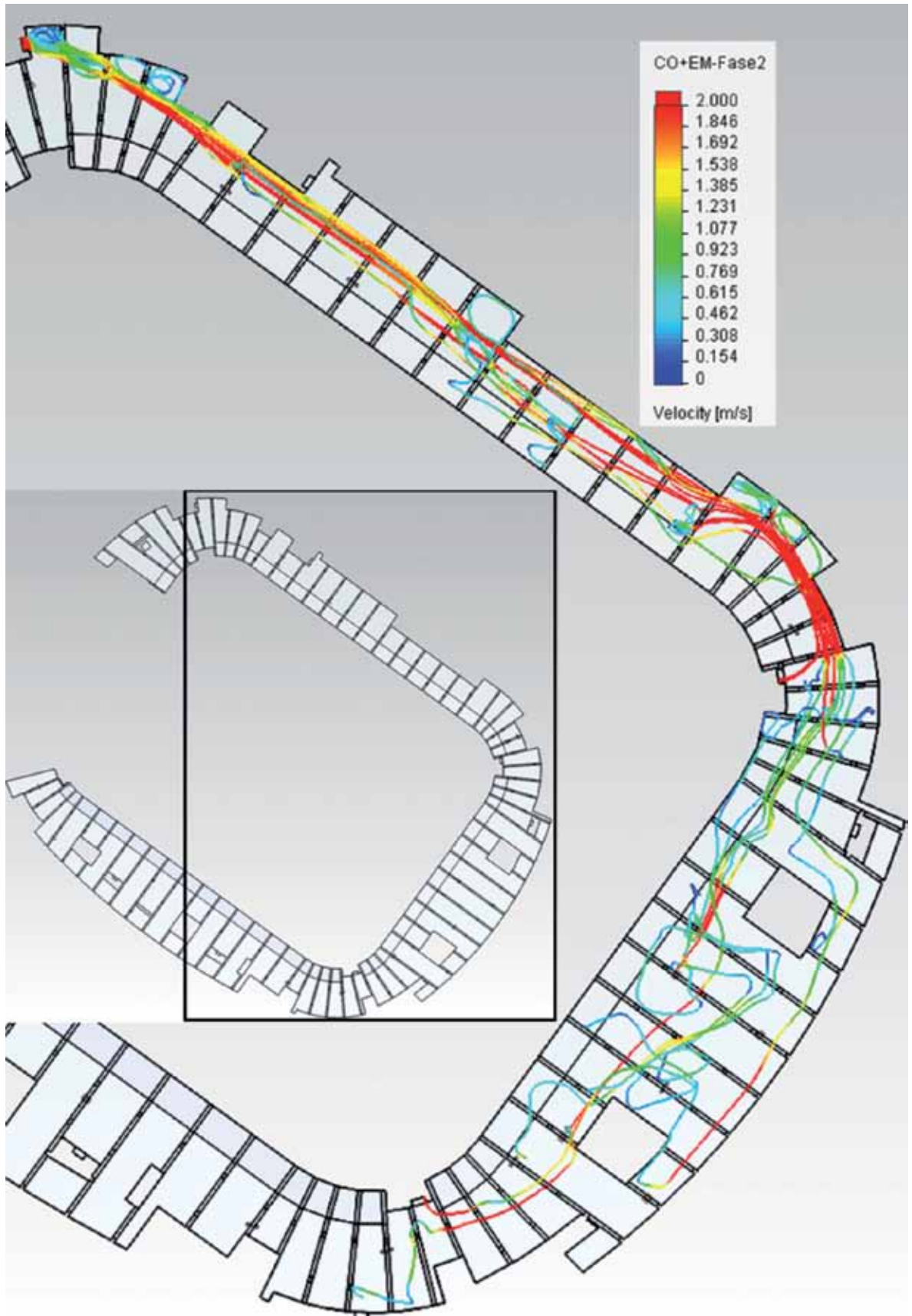


Figura 5.12. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-6 – Vista en planta

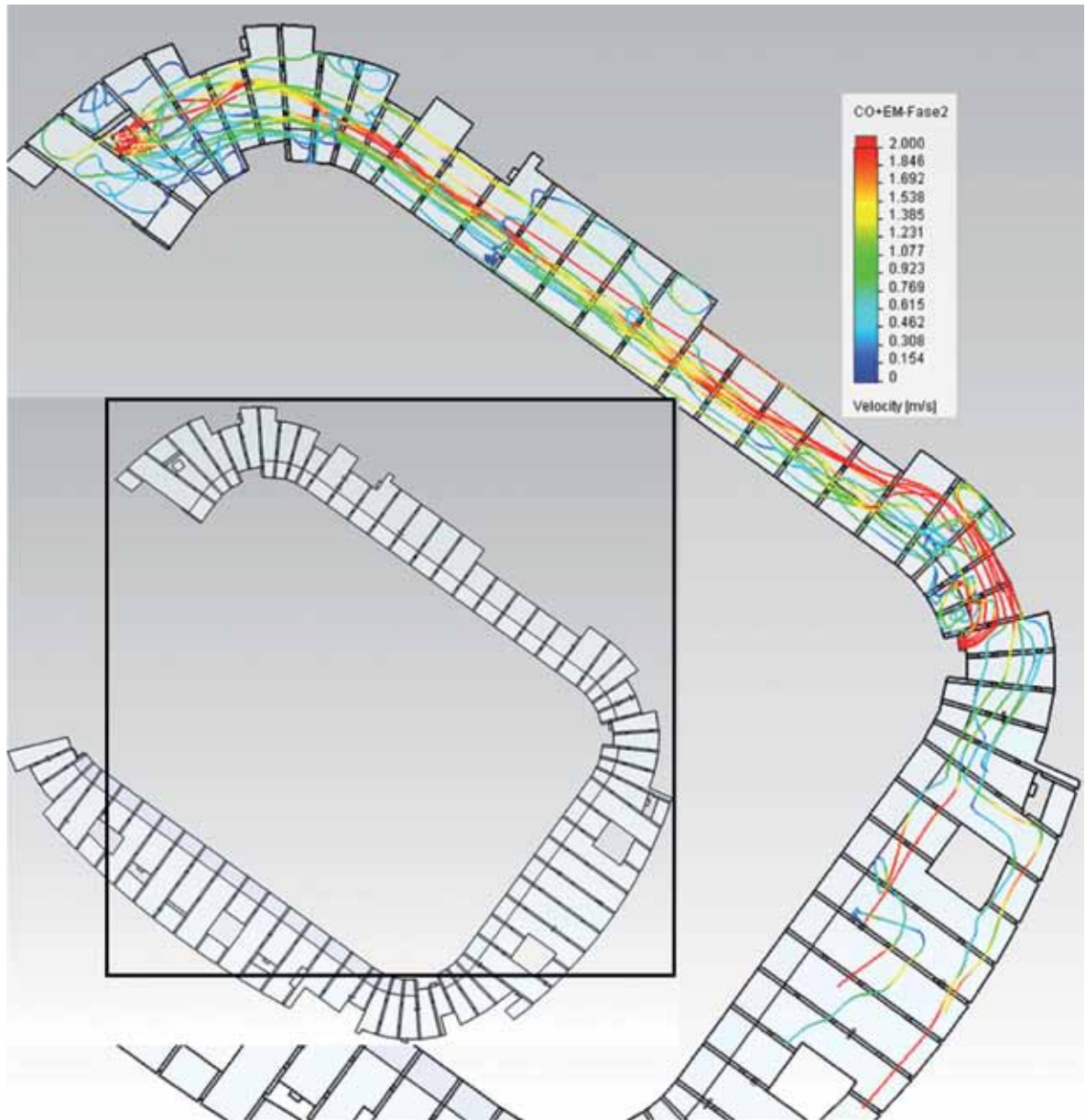


Figura 5.13. Líneas de corriente de velocidades yendo hacia EA-7 – Vista en planta

Los caudales obtenidos en cada uno de los puntos de aporte natural de aire del Sótano -1 se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Caudales obtenidos en la simulación de CFD para EM

Designación	Aporte / Extracción / Cerrado	Caudal (m ³ /h)
FA-R	Aporte	118.943
FA-2	Aporte	74.820
FA-3	Aporte	106.378

6. Conclusiones

Las conclusiones obtenidas del análisis de los resultados del CFD son las siguientes:

- En general, no se muestran zonas significantes de aire estancado en el aparcamiento, especialmente en carreteras y zonas de paso en Modo de Emergencia – Disipación de Humo (ver Figura 5.1)

Las conclusiones específicas obtenidas en el análisis de CFD para el Modo de Emergencia – Disipación de Humo (EM) son:

- La Figura 5.4 muestra los valores de LMA en el plano 1,7 m encima del suelo del Sótano -1. Se puede observar que aparecen valores superiores aunque, según la Figura 5.5, poco significativos en las proximidades del punto de extracción EA-7.
- Desde la Figura 5.6 hasta la Figura 5.13 muestran líneas de corriente desde los puntos de extracción del Sótano -1, con una longitud equivalente a 360 segundos (10 renovaciones por hora). Estas figuras muestran que se podría considerar que el aparcamiento ha sido barrido, a alguna altura, para realizar la Disipación de Humo en el Modo de Emergencia.
- En el escenario de EM, se considera que no existen áreas significantes de aire estancado.

Este informe, incluyendo todo el material y productos suministrados, está sujeto al estándar de “Términos y Condiciones” de Soler & Palau.

7. Referencias

[1] GREAT BRITAIN. BS 7346-7:2006. Components for smoke and heat control systems. Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks. London: The Stationery Office, 2006.

8. Sistema de ventilación propuesto

Los aparatos suministrados por Soler & Palau (S&P) para el sistema de ventilación corresponden a ventiladores de las gamas TGT, CHGT, TJHU e IFHT, además de los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

A continuación se relacionan los aparatos que se instalarán en el aparcamiento:

- Extracción:
CHGT/4-800-6/26-5,5kW-F300-400V-50Hz
CHGT/4-800-6/20-4kW-F300-400V-50Hz
CHGT/4-1000-6/22-11kW-F300-400V-50Hz
CHGT/4-1250-6/12-15kW-F300-400V-50Hz
- Aporte:
TGT/4-1000-6/28-15kW-400V-50Hz
- Ventiladores de impulso:
TJHU/2/4-315-BC 0,8/0,2kW F300
IFHT-50N-C 4/8 1,1/0,18kW F300

