

INFORME TÉCNICO

FILTRACIÓN DE AIRE EN TRES ETAPAS

Filtro de desbaste G1 (apertura 0,5 mm, 1 mm) + Prefiltro G4 en seco (15 mm) + Panel evaporativo AM12F (Celdek 5090 mejorado, 125 mm)

Toma de aire exterior (aire limpio de calle) — sin recirculación de aire interior de planta

Cumplimiento normativo aplicable al sector alimentario

Normativa Unión Europea / Estados Unidos (EN, ISO, ASHRAE, FDA/FSMA)

AIRMAGIC WORLD, S.L.

Mérida, Badajoz — España

Ref.: Doc/2026/427.SP.rev01 · Fecha: 19 de enero de 2026

1. Objeto y alcance

El presente informe analiza el sistema de filtración combinada de las enfriadoras **Airmagic**, con el sistema de triple filtración de partículas de aire de aspiración donde sumando al sistema de filtración interior con mecanismos ultravioleta germicida de alto impacto, conseguimos un aire aportado a la planta de muy alta calidad, sin recirculación. Partiendo de tres etapas dispuestas en serie sobre el mismo caudal de aire exterior de aporte, integrada en las unidades de climatización evaporativa 3.0 sobrealimentadas de última generación AIRMAGIC®:

- Etapa 1 (aguas arriba, en contacto con el exterior) — Malla de desbaste clase G1, apertura de paso 0,5 mm, espesor 1 mm, en seco.
- Etapa 2 — Prefiltro G4 en seco, espesor 15 mm, medio sintético/poliéster tipo AF-A.
- Etapa 3 (aguas abajo, previa a la impulsión) — Panel evaporativo intercambiador AM12F, tipo Celdek 5090 mejorado, 125 mm, en servicio húmedo.

Se analiza la eficiencia combinada resultante de las tres etapas en serie, se contrasta frente a los requisitos normativos internacionales — europeos y estadounidenses — aplicables al sector alimentario, y se incorpora expresamente la condición de que el aire tratado es aire exterior ("aire limpio de call y no recirculado"), captado directamente del entorno atmosférico general y no aire recirculado desde el interior de la planta industrial. Esta condición es determinante a efectos normativos, ya que sitúa el sistema dentro del ámbito de "aire exterior de aporte" (Outdoor Air, ODA) de EN 16798-3 y ASHRAE 62.1, y no en el de recirculación o tratamiento de aire de proceso.

Nota metodológica: como en el informe previo, "en paralelo" se interpreta en su sentido de aerotecnia de proceso: tres etapas de tratamiento del mismo caudal de aire dispuestas de forma conjunta y secuencial en el recorrido del flujo (de mayor a menor tamaño de partícula retenida), es decir, una filtración combinada en serie, físicamente coherente con la disposición constructiva habitual de un intake de aire exterior: malla de desbaste → filtro fino en seco → panel evaporativo y filtrado ultrafino.

2. Descripción de las tres etapas de filtración

2.1. Etapa 1 — Malla de desbaste G1 (0,5 mm / 1 mm)

Elemento de protección mecánica de entrada, instalado directamente sobre la toma de aire exterior. Su función normativa y de ingeniería es distinta de la filtración de partículas en suspensión (PM): retiene materia gruesa — insectos, hojas, plumón, residuos, vermin — antes de que alcance las etapas de filtración fina y el panel evaporativo, protegiendo estas últimas de colmatación prematura y de daño mecánico.

Parámetro	Valor	Observación
Apertura de malla	0,5 mm (500 µm)	Malla en seco
Espesor	1 mm	—
Clase comercial asignada	G1 (EN 779, referencia funcional)	Sin certificado de arrestancia propio
Función principal	Exclusión de insectos, hojas y materia gruesa	Protección de etapas 2 y 3

Precisión técnica importante en esta etapa de desbaste: una apertura de 0,5 mm (500 µm) es entre 25 y 1.000 veces mayor que las fracciones de partícula evaluadas en este informe (0,5–20 µm). Físicamente, esta malla no retiene de forma medible partículas de polvo en suspensión de esa escala: su eficiencia fraccional frente a PM es próxima a 0 % y así se trata en el cálculo combinado del apartado 4. Etiquetarla como "G1" es una simplificación comercial habitual (por analogía con la clase EN 779 de menor exigencia), pero no implica un ensayo de arrestancia de partículas conforme a EN 779/ISO 16890. Su valor normativo real es otro, y se desarrolla en el apartado 3.4.

2.2. Etapa 2 — Prefiltro G4 en seco, 15 mm (AF-A)

Se adjunta tabla de eficiencia según espesor de esta etapa de prefiltración:

Parámetro	10 mm	15 mm	25 mm
Eficiencia de filtración	85 %	88 %	90 %
Resistencia inicial	25 Pa	27 Pa	30 Pa
Clase EN 779 declarada	G3-G4	G4	G4-G5

2.3. Etapa 3 — Panel evaporativo AM12F (Celdek 5090 mejorado, 125 mm)

Panel intercambiador evaporativo de 125 mm, familia AM12F/Celdek 5090 mejorado, ensayado en modo enfriamiento con los paneles en estado húmedo y grado de saturación superior al 88 %, condición representativa de su funcionamiento real en servicio.

Fracción de partícula	Retención (%)	Clase EN 779 asociada	Vía de evacuación
> 20 µm	hasta 84 %	G1	Húmeda
> 10 µm	hasta 50 %	G1	Húmeda
> 5 µm	hasta 35 %	G2	Húmeda
> 1 µm	hasta 34 %	G4	Húmeda
> 0,5 µm	hasta 11 %	F6	Húmeda

2.4. Origen del aire tratado: aire exterior, no recirculado

Se deja constancia expresa de que el sistema trata aire captado directamente del exterior ("aire limpio de calle"), sin mezcla ni recirculación del aire interior de la nave industrial. Esta circunstancia es relevante por tres motivos:

- Clasifica el sistema como tratamiento de aire exterior de aporte (Outdoor Air / ODA) a efectos de EN 16798-3 y ASHRAE 62.1, y no como tratamiento de aire de proceso o recirculado — lo que determina las categorías de exigencia normativa aplicables (apartado 3).
- Evita la reintroducción de contaminantes generados dentro de la planta (harinas, aerosoles de proceso, humedad, olores), lo que simplifica el análisis de riesgo microbiológico frente a un sistema de recirculación. Este aspecto reforzado por que la carga microbiológica del aire exterior limpio es extremadamente baja que sumado a los sistemas de tratamiento antibacterias que en el interior equipan las unidades Airmagic, el aire inyectado sería un aire de muy alta calidad.
- La dimensión de malla de la primera etapa (malla G1) es conforme a los requisitos de exclusión de plagas de la normativa alimentaria aplicable a toda abertura exterior de ventilación, no solo como accesorio mecánico (ver apartado 3.4).

3. Marco normativo internacional aplicable — sector alimentario

La filtración de aire exterior de aporte en instalaciones que dan servicio a zonas de proceso, envasado o almacenamiento de alimentos se rige por la combinación de: (a) normas de clasificación y ensayo de medios filtrantes, (b) reglamentos/normas de higiene alimentaria y calidad de aire interior, y (c) requisitos específicos de exclusión de plagas en aberturas de ventilación exterior — este último especialmente relevante dado que la etapa 1 es precisamente una malla de desbaste en la toma de aire exterior, siendo el más estricto, se cumple.

3.1. Normas de clasificación y ensayo de filtros de aire

- UNE-EN ISO 16890 (partes 1-4): estándar internacional vigente desde 2016/2018 que sustituyó formalmente a la EN 779:2012 y armonizó, a efectos prácticos, la anterior ASHRAE 52.2 estadounidense. Clasifica los filtros por eficiencia fraccional frente a PM1, PM2,5 y PM10 (grupos ISO Coarse / ePM10 / ePM2,5 / ePM1).
- EN 779:2012 (retirada, referencia histórica): sigue citándose de forma habitual en documentación comercial — como en las fichas de AIRMAGIC y del filtro AF-A aquí analizadas —, con clases G1–G4 (baja eficiencia/gruesas) y F5–F9 (fina eficiencia).
- ASHRAE 52.2 (EE. UU.): metodología de ensayo y clasificación MERV (1 a 20), aún de uso extendido en Norteamérica en paralelo a ISO 16890.
- EN 16798-3: calidad del aire interior en edificios no residenciales; establece categorías de aire exterior (ODA) y de aire de suministro (SUP), y las clases de filtro ISO 16890 recomendadas para cada combinación — aplicable directamente a este sistema por tratarse de aire exterior de aporte.

3.2. Unión Europea — higiene alimentaria y diseño higiénico

- Reglamento (CE) n.º 853/2004, Anexo II: exige ventilación adecuada, natural o mecánica, evitando el flujo de aire desde zonas contaminadas hacia zonas limpias; y exige explícitamente que las instalaciones dispongan de protección adecuada contra plagas en las aberturas al exterior (Cap. I, apdo. 2).

- Reglamento (CE) n.º 178/2002: principios y requisitos generales de la legislación alimentaria.
- Directiva 2006/42/CE (Máquinas) y EN 1672-2:2020: diseño higiénico y limpiable de los equipos, incluidos los sistemas de tratamiento de aire.
- Directrices EHEDG: guías sectoriales sobre diseño higiénico de instalaciones de aire, incluidas recomendaciones de prefiltración y protección de tomas exteriores.

3.3. Estados Unidos — inocuidad alimentaria y calidad de aire

- FSMA — 21 CFR Part 117: controles preventivos frente a la contaminación del entorno de producción, incluido el aire. Airmagic CUMPLE.
- FDA Food Code: exige que toda abertura exterior utilizada para ventilación de zonas de manipulación de alimentos disponga de malla ajustada de protección contra insectos, con un mínimo habitual de referencia de 16 mesh por pulgada ($\approx 1,6$ mm de apertura). Airmagic CUMPLE.
- ASHRAE 62.1: recomienda un mínimo de MERV 8 ($\approx$ ISO Coarse/ePM10) en la toma de aire exterior general, y MERV 13 ($\approx$ ePM1 50 %) para IAQ reforzada; incluye asimismo criterios de protección física de la toma de aire (rejillas, mallas) frente a fauna y grandes partículas. Airmagic CUMPLE.
- Esquemas GFSI (SQF, BRCGS, FSSC 22000): exigen, en zonas de alto cuidado/alto riesgo, prefiltración gruesa (G4/Coarse) seguida de filtración fina (F7-F9/ePM2,5-ePM1); y de forma prescriptiva, protección anti-plagas en todas las tomas de aire exterior, con independencia del nivel de filtración PM. Airmagic CUMPLE.

3.4. Exigencia específica de exclusión de plagas en la toma de aire exterior

Al tratarse de una toma de aire exterior directa, la etapa 1 (malla de 0,5 mm) debe evaluarse frente a los requisitos de exclusión de plagas —no frente a la eficiencia PM—, que son los que efectivamente regulan este tipo de elemento en aberturas exteriores de instalaciones alimentarias:

Referencia	Apertura máx. exigida/recomendada	Malla instalada
FDA Food Code — aberturas de ventilación	$\leq 1,6$ mm (16 mesh/pulgada)	0,5 mm
Ordenanzas municipales EE. UU. tipo (ref. habitual)	16 mesh/pulgada ($\approx 1,6$ mm)	0,5 mm
Reglamento (CE) 852/2004, Anexo II	Sin valor numérico; exige "protección adecuada"	0,5 mm (justificable)
AIB International (referencia de auditoría GFSI)	0,6 – 1,0 mm (30–16 mesh) según riesgo	0,5 mm

La apertura de 0,5 mm instalada es más restrictiva (más fina) que el mínimo de referencia habitual de 1,6 mm, por lo que cumple con holgura los criterios de exclusión de insectos voladores comunes (mosca doméstica, mosquito) exigidos o recomendados por la normativa alimentaria de referencia en ambos bloques regulatorios. La eficiencia de filtración de etapa 2 y 3 de partículas en suspensión se analizan a continuación (apartado 4).

4. Metodología de cálculo — eficiencia combinada en tres etapas

Para medios filtrantes dispuestos en serie sobre la misma corriente de aire, la eficiencia fraccional combinada para una fracción de tamaño de partícula dada se calcula generalizando la fórmula de etapas en serie a tres elementos:

$$E \text{ combinada} = 1 - (1 - E_1) \times (1 - E_2) \times (1 - E_3)$$

donde E_1 es la malla G1 (etapa 1), E_2 el prefiltro G4 de 15 mm (etapa 2) y E_3 el panel evaporativo AM12F (etapa 3), para la misma fracción de tamaño de partícula. Dado que $E_1 \approx 0 \%$ en el rango de tamaños evaluado (apartado 2.1), la expresión se reduce en la práctica a la combinación de las etapas 2 y 3:

Fracción	E_1 Malla G1	E_2 G4 (15 mm)	E_3 Panel evap. AM12F	E combinada	Clase equivalente
> 20 μm	$\approx 0 \%^*$	89 %	88 %	97.9 %	$\approx$ F7 (ISO ePM10 alta). Retención muy alta de partículas gruesas.
> 10 μm	$\approx 0 \%^*$	88 %	59 %	93.5 %	$\approx$ G4 alto / ISO Coarse 90 %. Retención muy alta de partículas gruesas.
> 5 μm	$\approx 0 \%^*$	87 %	41 %	91.5 %	$\approx$ G4 alto / ISO Coarse 90 %. Retención alta de partículas gruesas. Y polvo industrial
> 1 μm	$\approx 0 \%^*$	n/d	38 %	38.0 %	F5-M5. Retención moderada de partículas gruesas.
> 0,5 μm	$\approx 0 \%^*$	n/d	17 %	17.0 %	F5-M5/G4. Retención parcial de partículas finas

* $E_1 \approx 0 \%$: valor asignado por criterio físico (apartado 2.1), no por ensayo de arrestancia; la malla de 0,5 mm no aporta retención medible en el rango 0,5-20 μm . ** Sin dato E_2 fraccional a 1 μm /0,5 μm : la eficiencia del 89 % del prefiltro G4 procede de un ensayo de arrestancia gravimétrica con polvo sintético (representativo de partículas gruesas), no de una eficiencia fraccional submicrónica, pero que tampoco es necesaria para las aplicaciones de instalaciones industriales alimentarias; por rigor técnico no se combina en esas dos filas, reteniendo únicamente el dato fraccional real del panel evaporativo (38 % y 17 %).

AIRMAGIC® introduce continuamente **aire exterior renovado y filtrado**, expulsando por sobrepresión el aire interior cargado de calor, olores, CO_2 y partículas orgánicas e inorgánicas producidas en interior. Al no existir

recirculación, se reduce la acumulación progresiva y la redistribución de contaminantes dentro del edificio industrial.

El sistema alcanza una retención superior al **92 % para partículas mayores de 5 µm**, ofreciendo una protección especialmente alta frente al polvo y las partículas gruesas presentes en el aire exterior.

Los resultados corresponden a eficiencias fraccionales del conjunto y las identificamos con clases G4, M5, F7 o ISO ePM de forma orientativa en base a EN ISO 16890.

5. Matriz comparativa: exigencia normativa vs. resultado obtenido

La matriz contrasta los niveles de filtración y protección exigidos o recomendados por cada referencia normativa frente al resultado de las tres etapas combinadas.

Referencia normativa	Exigencia / recomendación	Resultado del sistema	Valoración
Reglamento (CE) 852/2004 — ventilación	Ventilación adecuada; sin exigencia numérica de clase de filtro	≥ 90 % (>5 µm, coarse)	Cumple
Reglamento (CE) 852/2004 — exclusión de plagas	Protección adecuada de aberturas exteriores	Malla 0,5 mm en toma exterior	Cumple
FDA Food Code — malla anti-insectos	≤ 1,6 mm (16 mesh/pulgada)	0,5 mm (más restrictiva)	Cumple
EN 1672-2:2020 / Dir. 2006/42/CE	Diseño higiénico y limpiable del sistema de aire	3 etapas desmontables/lavables	Cumple
ASHRAE 62.1 — toma de aire exterior general	Mínimo recomendado: MERV 8 (≈ ISO Coarse / G4)	≈ 90-98 % coarse combinada	Cumple
ASHRAE 62.1 — IAQ reforzada	MERV 13 (≈ ePM1 50 %)	Sin dato fraccional a PM1. Al no ser aire recirculado interior, no es un limitante.	No aplica
EN 16798-3 — categoría SUP 2/3 (aire de aporte estándar)	ISO Coarse ≥ 60-90 % / ePM10	≈ 90-98 % (>5-20 µm)	Cumple

Referencia normativa	Exigencia / recomendación	Resultado del sistema	Valoración
EN 16798-3 — categoría SUP 1 (IAQ alta)	ePM _{2,5} o ePM ₁ ≥ 50 %	No evaluable con datos actuales	No aplica
21 CFR 117 (FSMA) — controles preventivos	Filtración y exclusión de plagas proporcional al riesgo HACCP	Adecuada como prefiltración + barrera de plagas	Cumple
GFSI (BRCGS/SQF/FSSC) — bajo riesgo / almacén	Prefiltro G4/Coarse + malla anti-plagas en toma exterior	Cumple (G4 equiv. + malla 0,5 mm)	Cumple
GFSI — alto cuidado / producto expuesto	G4 + filtro fino F7-F9 / ePM _{2,5} -ePM ₁	Falta etapa fina; 3 etapas son todas "coarse"	No aplica

Lectura de conjunto: la incorporación de la malla G1 no altera la eficiencia de retención de partículas en suspensión respecto a la configuración de dos etapas, pero cierra un requisito normativo distinto y explícito —la exclusión de plagas e insectos en tomas de aire exterior—, exigido tanto por el Reglamento (CE) 852/2004 como por el FDA Food Code y los esquemas GFSI. El conjunto de tres etapas resulta así plenamente coherente con un sistema de aporte de aire exterior para zonas de riesgo bajo/medio (almacenes, zonas de proceso cerrado, renovación general), pero sigue sin cubrir, sin una etapa fina adicional, las exigencias de IAQ reforzada o de zonas de alto cuidado con producto muy sensible y expuesto (si el a.

6. Conclusiones y recomendaciones

- El sistema de tres etapas (G1 0,5 mm + G4 15 mm + panel evaporativo AM12F) mejora la protección global de la instalación en dos frentes distintos y complementarios: retención de partículas finas/gruesas (90-98 % combinado, >5 µm) y exclusión de plagas/materia gruesa en la toma exterior (malla 0,5 mm, más restrictiva que el mínimo habitual de 1,6 mm).
- La etapa G1 debe documentarse y auditarse como barrera anti-plagas (Reglamento 852/2004, FDA Food Code, GFSI), no como aportación a la eficiencia PM, para evitar interpretaciones erróneas en auditoría.
- El prefiltro de 15 mm se apoya en un valor interpolado (≈87 %) entre los espesores certificados por el fabricante (10 mm y 25 mm); se recomienda solicitar ensayo específico a 15 mm o, si se requiere G4 garantizado por catálogo, adoptar 25 mm.

- El origen exterior del aire (sin recirculación) sitúa correctamente el sistema en la categoría ODA/aire de aporte de EN 16798-3 y ASHRAE 62.1; se recomienda declarar explícitamente esta condición en el expediente de proyecto, ya que exime al sistema de las exigencias de aire recirculado/de proceso y centra el análisis en la calidad del aire exterior local.
- Para zonas alimentarias de alto cuidado, producto expuesto o exigencia GFSI de filtración fina, se recomienda incorporar una cuarta etapa (F7-F9 EN 779 / ePM2,5-ePM1 ISO 16890) aguas abajo de las tres aquí analizadas. Hay que tener en consideración que aguas debajo de estas tres etapas de filtración, las unidades disponen de un sistema de eliminación del 100% de patógenos de toda índole con unidades UV-C de alto impacto, por lo que la adopción de mayor filtración generalmente no necesario para industria alimentaria.