

Interreg



EUROPEAN UNION

Sudoe

KET4F-Gas

***Manual
de Buenas
Prácticas
para la
Industria y
los Gestores
de Residuos***



Contenido



Capítulo 1 -----	Descripción de la situación actual de los F-gases Página 4 -----
Capítulo 2 -----	¿Cómo afecta la normativa vigente de F-gases a los gestores de residuos? Una visión global de la política al mercado Página 12 -----
Capítulo 3 -----	¿Necesita resolver la gestión de residuos de gases fluorados? ¡Tenemos la solución! Página 22 -----
Capítulo 4 -----	Un caso de éxito - El sistema KET4F-Gas Página 36 -----
Capítulo 5 -----	¿Cómo beneficia KET4F-Gas a los gestores de residuos? Página 40 -----
Capítulo 6 -----	Preguntas frecuentes Página 44 -----
Capítulo 7 -----	Principales ideas a tener en cuenta Página 48 -----

Descripción de la situación actual de los F-gases

KET4F-Gas es un Proyecto europeo que tiene como objetivo principal reducir el impacto ambiental de los gases fluorados (F-gases) de efecto invernadero en las regiones del sudoeste europeo (área SUDOE), utilizando Tecnologías Facilitadoras Esenciales (TFEs) que permitan a las empresas y a los gestores de residuos el cumplimiento de la normativa de la UE sobre F-gases. El objetivo principal de este proyecto es contribuir a aplicar la alternativa más eficiente para la separación y recuperación de los F-gases utilizados en los equipos de refrigeración y aire acondicionado. La tecnología KET4F-Gas está basada en los sistemas de tratamiento más eficientes y diseñada de acuerdo con los principios de la química verde.



www.KET4F-Gas.eu

Este capítulo comprende:

El problema de las emisiones incontroladas de F-gases.

Las ventajas del uso de los F-gases, si se controlan correctamente.

La relación actual e histórica entre el cambio climático y las emisiones de F-gases.

Los esfuerzos de la UE para abordar la disponibilidad, las emisiones y el reciclaje selectivo en el mercado de F-gases.

Consecuencias de las emisiones de F-gases y reducción progresiva en las zonas del SUDOE.

Objetivos del KET4F-Gas y soluciones a la problemática de los F-gases.

Impacto ambiental de los F-gases y Situación Actual

La problemática de las emisiones incontroladas de F-gases en pocas palabras:

Los F-gases representan alrededor del 2% del total de las emisiones de los gases del efecto invernadero (GEI) en la UE.

Los F-gases son potentes GEI, con un potencial de calentamiento global (PCG) hasta 23000 veces mayor que el del CO₂.

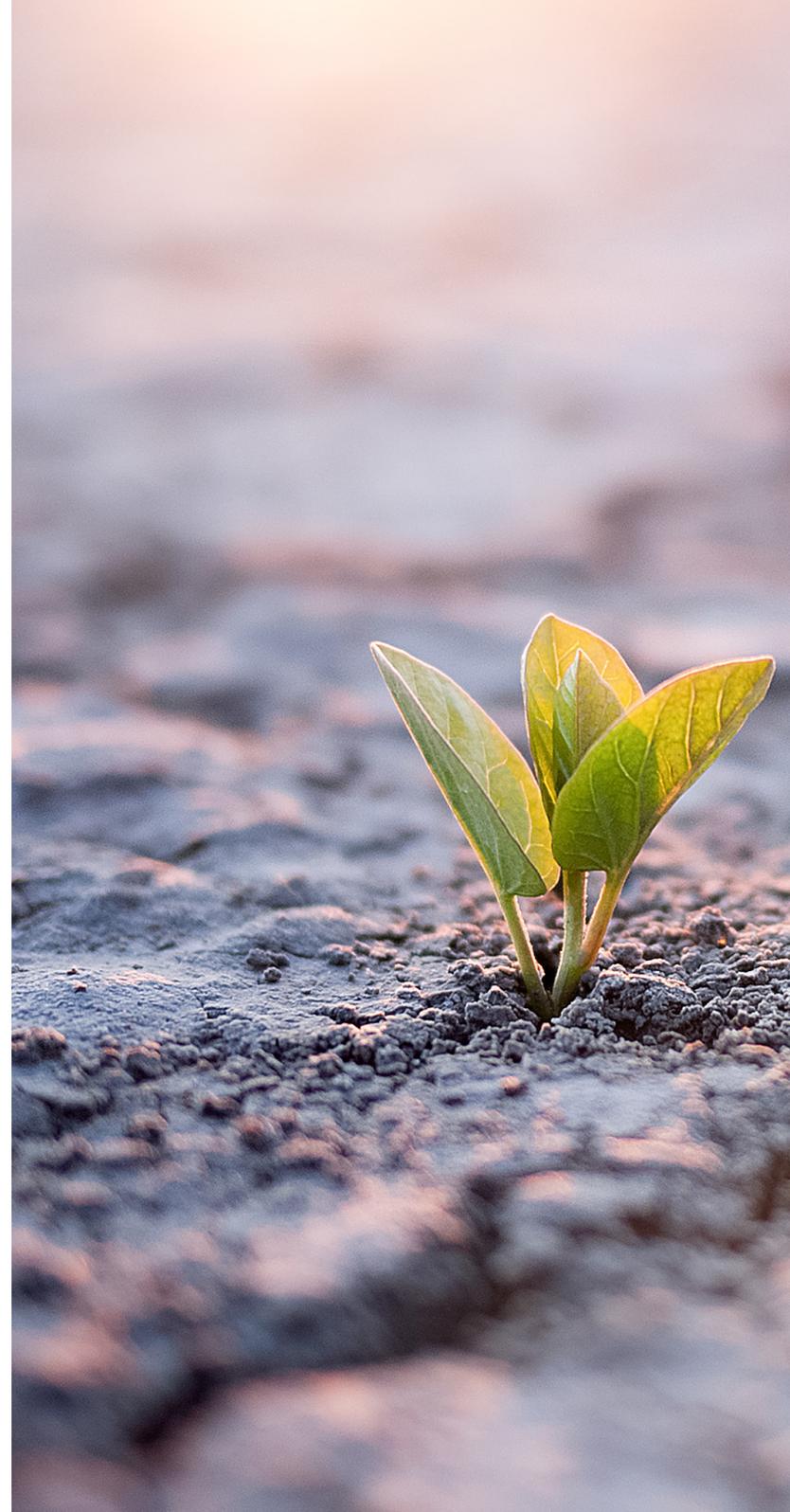
En 2016, las emisiones de F-gases en los 28 países de la UE alcanzaron la alarmante cantidad de 110 millones de toneladas de equivalentes de CO₂.

Las emisiones de F-gases se han incrementado en un 60% desde 1990.

Se prevé que las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) aumenten casi un 140% entre 2005 y 2020.

Incluso si algunos componentes tienen un ciclo de vida corto, pueden permanecer en la atmósfera durante miles de años.

El uso incontrolado de HFC supone que estos gases puedan representar un total del 12% de las emisiones de GEI para 2050, ya que se espera que la demanda mundial de energía para equipos de refrigeración se triplique en 2050 debido al calentamiento global.



Si se controla el uso de F-gases correctamente, pueden obtenerse beneficios:

Los F-gases no son tóxicos desde el punto de vista químico y se utilizan en gran medida, ya que no son reactivos y no son inflamables.

Los F-gases son muy útiles ya que son especialmente adecuados para el reciclaje y la recuperación debido a su alta estabilidad.

En Europa sólo el 1% de los F-gases se recoge al final de su ciclo de vida (unas 1200 toneladas en 2015), aunque existan unidades de reciclaje. Esto significa que existen una amplia gama de posibilidades para mejorar la recuperación y reutilización de F-gases, integrándolos en el mercado de la economía circular de Europa.

Los F-gases son compuestos artificiales que pueden reciclar de forma segura y reutilizarse para mejorar la eficiencia energética de los sistemas y la rentabilidad de su ciclo de vida en general. Si se hace correctamente, el impacto ambiental de los F-gases puede reducirse al mínimo según los principios de la economía circular de la UE.

Los F-gases recuperados no están sujetos a impuestos suplementarios, mientras que las nuevas alternativas, debido a su condición de productos nuevos, están protegidas por patentes industriales, lo que representa un coste adicional para su utilización.

El reciclaje selectivo de los F-gases es fundamental para reducir la dependencia de la industria de los refrigerantes de mayor PCG, reducir los precios generales y aliviar la presión sobre toda la cadena del mercado.



El cambio climático es ya una realidad que afecta a todo el planeta. La temperatura global aumenta cada año, principalmente debido al aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera. Aunque el dióxido de carbono (CO_2) es responsable de al menos dos tercios de las emisiones mundiales de GEI, los F-gases, como las familias de los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), así como el hexafluoruro de azufre (SF_6), también contribuyen en gran medida al calentamiento global. Si bien la mayoría de los GEI son derivados de varios procesos, como la combustión de combustibles fósiles, los F-gases son una familia de gases artificiales que se utilizan con frecuencia para varias aplicaciones industriales (por ejemplo, sistemas de aire acondicionado, refrigeración industrial, extintores de incendios, disolventes). Debido a su utilidad y aplicación industrial, se espera que la producción mundial de estos compuestos aumente en un futuro previsible. Las emisiones de F-gases se liberan voluntariamente o a través de fugas en los sistemas y estas emisiones han aumentado en un 60% desde 1990. Se prevé que las emisiones de HFC aumenten casi un 140% entre 2005 y 2020. El aumento de las emisiones de F-gases está contribuyendo en gran medida al calentamiento global que afecta no sólo a los ecosistemas sino también a la vida humana debido al aumento de las inundaciones, las olas de calor y el aumento del nivel del mar.

Desde el desarrollo de los refrigerantes en el siglo XIX, se han llevado a cabo continuas investigaciones con el fin de desarrollar componentes más eficientes, menos peligrosos y más respetuosos con el medio ambiente. En 1987, el Protocolo de Montreal estableció la eliminación gradual de los refrigerantes de segunda

generación, como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que causan el deterioro de la capa de ozono. Por lo tanto, la utilización de F-gases de efecto invernadero artificiales, en especial los hidrofluorocarbonos (HFC), ha aumentado notablemente en las aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado desde 1990. Estos refrigerantes de tercera generación son energéticamente eficientes, no son tóxicos y presentan bajos niveles de inflamabilidad sin causar daños a la capa de ozono. Sin embargo, son potentes GEI, con un PCG 23000 veces mayor que el del CO_2 y tienen una extensa vida atmosférica de hasta 50000 años. Esto significa que pequeñas concentraciones atmosféricas de estos F-gases provocan grandes efectos en la temperatura mundial y, por consiguiente, en el cambio climático. Mientras que las emisiones de todos los demás GEI en la UE han disminuido, las emisiones de F-gases han aumentado. De hecho, estudios anteriores revelaron que en el mercado europeo los refrigerantes más utilizados son el R-134a (1,1,1,2-tetrafluoroetano) como gas puro, y mezclas que contienen R-32 (difluorometano), R-125 (pentafluoroetano) y R-134a, como los refrigerantes R-404A, R-407F y R-410A.

La transición de la Unión Europea a los refrigerantes de cuarta generación, con bajo PCG (potencial de calentamiento global) está en curso. Se han realizado grandes esfuerzos en la investigación de refrigerantes naturales (con problemas de toxicidad y/o inflamabilidad), hidrofluoroolefinas (HFO, con problemas de eficiencia energética), HFC con bajo PCG, y sobre nuevas mezclas de HFC-HFO (con baja toxicidad e inflamabilidad nula). Algunas mezclas de HFC-HFO ya están reemplazando a los HFC en la refrigeración comercial e industrial. Algunos

ejemplos son el R-448A y el R-449A, (mezclas de los HFC R-32, R-125 y R-134a con los HFO 1234yf y 1234ze), y el R-450A y R-513A (mezclas del HFC R-134a con los HFO R-1234ze y R-1234yf, respectivamente). También hay que tener en cuenta que estas nuevas alternativas, debido a su condición de productos nuevos, están protegidas por patentes industriales, lo que representa un coste adicional para su uso, mientras que los F-gases recuperados no están sujetos a impuestos adicionales.

La ausencia real de tecnologías desarrolladas para reciclar los F-gases afecta considerablemente al sector de la refrigeración porque la mayoría de los F-gases se incineran, lo que aumenta las emisiones atmosféricas de esos gases. Los derivados de la degradación de los F-gases en la atmósfera, el fluoruro de hidrógeno (HF) y el ácido trifluoroacético (TFA), se transmiten a la superficie de la tierra disueltos en el agua, y en caso de acumulación elevada pueden presentar potentes efectos ecotoxicológicos. Dicho esto, existe una necesidad fundamental no sólo de reducir la liberación de F-gases a la atmósfera, sino

también de separar y reciclar los HFC puros al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, para reutilizarlos y reciclarlos en la posterior producción de refrigerantes de cuarta generación, aplicando una economía circular. La investigación de tecnologías basadas en materiales ambientalmente inocuos que capturen, separen y reciclen de manera eficiente los F-gases es fundamental para desarrollar procesos sostenibles que reduzcan el impacto ambiental de los refrigerantes basados en F-gases. El impacto ambiental derivado de la liberación de F-gases está impulsando el desarrollo de estas nuevas tecnologías para recuperarlos y reciclarlos. La adaptación al cambio climático es una política climática clave en la UE y se fomenta el desarrollo de tecnologías verdes, como los estudios realizados por KET4F-Gas.

La zona del SUDOUE (Francia, España y Portugal) está sufriendo especialmente las consecuencias del calentamiento global, siendo el principal responsable dentro del actual contexto de sequía persistente, olas de calor y el aumento del número

de incendios difícilmente controlables agravados por los fuertes vientos. A la vista de las tendencias mundiales, los datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente muestran que las emisiones y la eliminación de F-gases en Francia y España han aumentado sustancialmente desde 1990 (Francia +43,6% y España +51,5%). Sin embargo, los últimos datos correspondientes a 2018, muestran que la zona del SUDOUE ha reducido ligeramente sus emisiones (se trata de datos oficiales que no incluyen las emisiones procedentes del mercado ilegal ya que no están declaradas): Portugal -4,6%, Francia -4,0% y España -1,8%. Esta reducción se debe a los esfuerzos de estos gobiernos nacionales que han puesto en marcha un conjunto de medidas fiscales, legislativas, voluntarias e informativas a raíz de los acuerdos mundiales y, más concretamente, de las normativas europeas que se describen en el capítulo 2.

A pesar de estos primeros pasos preliminares, es necesario establecer una nueva forma de pensar para abordar de forma rentable la adaptación a la



reducción progresiva de los F-gases en la zona del SUDOE, detener el avance del comercio ilegal y la implementación de prácticas correctas en el tratamiento de residuos y el reciclaje de F-gases. Para estas regiones del sur de Europa, hay un gran margen de mejora, ya que los niveles de reciclaje son extremadamente bajos. Esta es una gran oportunidad para que los gestores de residuos y las empresas del área SUDOE optimicen sus sistemas, cumplan con la normativa de F-gases para evitar sanciones, afronten el aumento de los precios de los refrigerantes causado por el comercio ilegal y, en general, se adapten y contribuyan al mercado del futuro conforme a los principios de la economía circular. Las tecnologías como el sistema KET4F-Gas dan una ventaja a las empresas, ya que existe el ánimo de desarrollar tecnologías eficientes y sostenibles para capturar selectivamente los F-gases y reciclarlos en nuevos refrigerantes ambientalmente sostenibles para evitar la combustión o el tratamiento incorrecto de estos residuos que, en última instancia, aumentarían las emisiones y los impuestos.

En resumen, diferentes legislaciones mundiales y europeas limitan el uso global de los F-gases de efecto invernadero, controlan su producción, liberación y gestión e incentivan el desarrollo de una nueva generación de refrigerantes con menor potencial de calentamiento global. Por lo tanto, existe la necesidad de

desarrollar tecnologías eficientes y sostenibles para capturar selectivamente los F-gases y reciclarlos en nuevos refrigerantes ambientalmente sostenibles. Este proyecto tiene por objeto la aplicación efectiva de tecnologías para separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado. El F-gas recuperado se utilizará en nuevas mezclas de gases con menor PCG, aplicando economía circular y reduciendo las necesidades de nuevos F-gases. Entonces, el KET4F-Gas contribuirá en gran medida a reducir las emisiones de F-gases mediante la valoración de los residuos. La separación de los refrigerantes de tercera generación presentada en este proyecto consiste en un proceso de separación de los F-gases puros que no perjudica al medio ambiente, como alternativa a la destilación, que es un proceso que requiere el uso de cantidades considerables de energía. El proyecto KET4F-Gas supone un paso adelante, una aplicación efectiva en todo el sector industrial de refrigeración y climatización, de los procesos de separación, purificación y captura de una de las familias de GEI que más contribuyen al calentamiento global. La captura y separación de los F-gases de los refrigerantes comerciales es un área todavía poco explorada.



Principales ideas a tener en cuenta:

Las legislaciones mundiales y europeas limitan el uso de los F-gases de efecto invernadero, controlan su producción, liberación y gestión e incentivan el desarrollo de una nueva generación de refrigerantes con menor PCG.

Los F-gases son compuestos artificiales que pueden reciclarse de forma segura y reutilizarse, mejorando la eficiencia energética de los sistemas y su ciclo de vida. Si se hace correctamente, el impacto ambiental de los F-gases puede reducirse al mínimo según los principios de la economía circular de la UE.

Las zonas SUDOE están especialmente afectadas por los efectos del calentamiento global y tienen grandes probabilidades de mejorar, ya que los porcentajes de reciclaje de F-gases son extremadamente bajos.

Existe la necesidad de desarrollar tecnologías eficientes y sostenibles para capturar selectivamente los F-gases y reciclarlos en nuevos refrigerantes sostenibles para el medio ambiente.

Esta es una gran oportunidad para que los gestores de residuos y las empresas del área SUDOE optimicen sus sistemas y cumplan con la normativa sobre F-gases para evitar sanciones, y, en general, se adapten y contribuyan al mercado del futuro basándose en los principios de la economía circular.

KET4F-Gas propone dar un paso adelante hacia una implementación efectiva en todo el sector industrial de refrigeración y aire acondicionado, de procesos de separación, purificación y captura de una de las familias de GEI que más contribuyen al calentamiento global.

Este proyecto ha desarrollado tecnologías para separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado. El F-gas recuperado se utilizará en nuevas mezclas de gases con menor PCG.

¿Cómo afecta la normativa vigente de F-gases a los gestores de residuos? Una visión global de la política al mercado

La UE se ha convertido en los últimos años en una referencia en la lucha contra el cambio climático y en la mitigación del impacto de los HFC en la atmósfera. Para la Comisión Europea es una prioridad que se desarrollen tecnologías e iniciativas de investigación, como KET4F-Gas, que ayuden a separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, para reutilizar y reciclar en la posterior producción de refrigerantes de cuarta generación siguiendo los principios de la economía circular. El vertido de refrigerantes a la atmósfera está estrictamente prohibido y sujeto a sanciones. Al final de la vida útil de los equipos o cuando se modernizan las instalaciones existentes, el refrigerante se debe recuperar para su reutilización o destrucción.



Este capítulo comprende:

Una visión general de los dos reglamentos de política ambiental a nivel internacional en relación con los HFC (Protocolos de Montreal, Kyoto y la Enmienda de Kigali).

Descripción de la normativa de la Unión Europea sobre F-gases, la directiva sobre gases fluorados de 2014 y las políticas de reducción gradual de HFC.

La directiva sobre gases fluorados de 2014 tiene repercusiones en la industria de los F-gases y en los gestores de residuos: refrigerantes de cuarta generación, nuevas alternativas, reciclaje selectivo.

Transposición de la directiva sobre gases fluorados de 2014 para las legislaciones nacionales de los países del SUDOE: características, sanciones, impuestos.

¿Por qué es importante que los gestores de residuos y los técnicos reciclen, reutilicen y recuperen los F-gases?





En el plano internacional, existen dos reglamentos de política ambiental relativos a la gestión de los HFC. Por una parte, el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal (1987) determinaron la eliminación progresiva de las sustancias que agotan el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC), con el objetivo de *"proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos que se derivan de las modificaciones de la capa de ozono"*. Por otra parte, el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París tienen como objetivo estabilizar *"las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático"*. Según los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Protocolo de Kyoto y el Reglamento 525/2013 de la Unión Europea para la vigilancia de las emisiones de gases de efecto invernadero, cada país se comprometió a elaborar un

inventario de emisiones de GEI, informando de todos los detalles relativos al tipo de sustancias emitidas y a la actividad económica relacionada con las emisiones. Los informes publicados en 2018 contenían datos de los 28 países de la Unión Europea correspondientes a las series cronológicas de 1990 a 2016. Con la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal, que entró en vigor el 1 de enero de 2019, amparada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se estableció la primera normativa internacional para disminuir la cantidad de emisiones de F-gases. Este acuerdo incluye: i) disposiciones para prohibir y/o restringir a los países que han ratificado el protocolo o sus enmiendas el comercio de sustancias controladas con los Estados que aún no han ratificado el protocolo; ii) objetivos y plazos concretos para sustituir los HFC por refrigerantes alternativos más inocuos para el medio ambiente; iii) y un acuerdo por parte de los



países ricos para ayudar a financiar la transición de los países pobres a productos alternativos más seguros. La Unión Europea ha sido una fuerza motriz y un líder mundial en la firma de estos acuerdos internacionales.

La Unión Europea ha dado un paso adelante y ha impuesto reglamentos más estrictos a los acuerdos internacionales para controlar la fabricación y utilización de los F-gases. El primer Reglamento sobre F-gases fue el denominado *Reglamento (CE) No 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero*, creado en el marco de la agenda de la Hoja de ruta de bajas emisiones de carbono de la UE que tenía como objetivo reducir las emisiones derivadas de los gases fluorados. La directiva que está actualmente en vigor es el *Reglamento (UE) No 517/2014 del Parlamento Europeo y Del Consejo de 16 De Abril De 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) No 842/2006*. Este nuevo reglamento incluía requisitos adicionales y sustituía en su totalidad al reglamento establecido en 2006. Esta nueva directiva sobre F-gases modifica sustancialmente la forma en que la industria gestiona los HFC e introduce nuevos mecanismos para garantizar una reducción efectiva de las emisiones. Los gases más afectados por esta regulación de la UE son los HFC, PFC y SF₆: F-gases de efecto invernadero. Hay que tener en cuenta que las disposiciones de reducción progresiva sólo afectan a los HFC. Los HFC no saturados son una excepción, ya que no están incluidos en la reducción, pero están sujetos a las obligaciones de presentación de informes.

La reducción progresiva de los HFC reducirá gradualmente la presencia de esos gases en el mercado europeo mediante la asignación de cuotas por parte de la

Comisión Europea, de conformidad con el objetivo de disminuir el consumo de HFC en un 79% para 2030. Se trata de un esfuerzo extraordinario que impulsará a la industria y a los usuarios hacia la transición de refrigerantes con un menor PCG y aportará soluciones conforme a los principios de la economía circular como el reciclaje.

Esta directiva regula el uso de los F-gases en los equipos nuevos, su mantenimiento y la recuperación y el tratamiento correcto de estos gases al final de la vida de los sistemas. Dicho esto, la normativa sobre F-gases no se contempla en tres escenarios: (i) cuando no se dispone de gases alternativos, (ii) si las mejoras en la eficiencia energética durante la operación generan emisiones inferiores a las de un sistema equivalente que no contenga HFC y (iii) si el uso de alternativas técnicamente viables y seguras ocasionan costes desproporcionados.

En cuanto a las alternativas a los F-gases, la UE está haciendo una transición hacia los refrigerantes de cuarta generación, con PCG bajos, centrándose especialmente en los HFC con PCG más bajo, las hidrofluoroolefinas (HFO) y en las mezclas de HFC tradicionales con HFO. Sin embargo, para la UE es prioritario no sólo la búsqueda de alternativas a los F-gases, sino también el desarrollo de tecnologías, como el KET4F-Gas, que ayuden a separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado y de los propios refrigerantes, para reutilizarlos y reciclarlos en la posterior producción de refrigerantes de cuarta generación siguiendo los principios de la economía circular.

Los gestores y los técnicos responsables de la cadena de suministro en general deben evitar la emisión de F-gases por todos los medios necesarios, incluida su



recuperación o destrucción durante el funcionamiento del sistema y al final de la vida útil del equipo. La reducción progresiva de los HFC ha generado un mayor interés en el uso de gases reciclados y recuperados. De hecho, la liberación de F-gases a la atmósfera está estrictamente prohibida y está sujeta a sanciones. Al final de la vida del equipo o cuando se modernizan las instalaciones existentes, los F-gases deben recuperarse para su reutilización o destrucción. El nivel de las

sanciones por infracción está determinado por cada Estado Miembro de la UE, sin embargo, la Comisión Europea se encarga de que las sanciones sean efectivas, proporcionadas y disuasorias. Para 2017, todos los Estados miembros de la UE tenían que introducir en la legislación nacional el Reglamento sobre Gases Fluorados de 2014.

Está previsto que:

En 2020, la Comisión Europea publicará un informe en el que se evaluará si existen alternativas rentables, técnicamente viables, eficientes desde el punto de vista energético y fiables, así como un informe sobre la disponibilidad de refrigerantes en el mercado de la UE

La Comisión Europea también llevará a cabo, para finales de 2022, un examen exhaustivo para evaluar la eficacia de la legislación a la vista de los nuevos acontecimientos y compromisos internacionales

Las directivas de la UE, como el reglamento sobre Gases Fluorados de 2014, son un acto jurídico que [los miembros de la UE deben incorporar a la legislación nacional](#) antes de un plazo determinado y deben ser notificadas a la Comisión Europea. Este tipo de acto jurídico establece objetivos que los Estados Miembros deben alcanzar, al tiempo que les otorga la facultad discrecional de decidir cómo alcanzarlos.

► **Portugal** hizo la transposición de la Directiva sobre Gases Fluorados de 2014 el 30 de noviembre de 2017 en su *Diário da República*, Orden Ejecutiva nº 145/2017. La Agência Portuguesa do Ambiente es la autoridad competente para estudiar la aplicación de las medidas de contención para la correcta recuperación y valorización de F-gases en los equipos al final de la vida útil, con el fin de minimizar los impactos asociados a su gestión. El artículo 19 de este decreto sobre la recuperación de los F-gases de efecto invernadero establece que los gestores deben a) utilizar un técnico certificado para recuperar el F-gas antes de cualquier descontaminación,

el tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y de las fracciones no contaminadas, la recuperación y la eliminación de las fracciones de los equipos al final de su vida útil; b) garantizar la correcta gestión de los equipos al final de su vida útil como RAEE de conformidad con las disposiciones del régimen jurídico aplicable a la gestión de los residuos de RAEE y del F-gas recuperado. En el artículo 23, se considera como un delito grave contra el medio ambiente, penalizado en los términos de la Ley nº 50/2006 de 29 de agosto, la práctica del siguiente acto: el incumplimiento de las obligaciones relativas a la recuperación, las intervenciones en los contenedores, equipos y sistemas que contengan F-gases de efecto invernadero, infringiendo lo dispuesto en los artículos 19 a 21. Las sanciones por incumplimiento pueden oscilar entre 2000 y 48000 euros para una sola persona y entre 15000 y 48000 euros para una entidad fiscal. En caso de infracción grave, las cantidades de las multas pueden llegar a 37500 euros para una sola persona y hasta 2500000 para una entidad fiscal.

► **En España**, la transposición del acto jurídico de la UE tuvo lugar el 17 de febrero de 2017 mediante un Real Decreto Ley 115/2017. Este decreto establece que la recuperación de los F-gases de los equipos de refrigeración, aire acondicionado y su correcta gestión son obligatorios. Sin embargo, la intervención en los equipos que requieren la manipulación de estos gases está limitada a las empresas de mantenimiento. Se encargan de adoptar las medidas adecuadas para la recuperación de los gases a través de una persona acreditada, para garantizar su reciclado, regeneración y destrucción cuando sea necesario, y para evitar su emisión a la atmósfera. La recuperación, regeneración y destrucción de los F-gases se llevará a cabo durante la reparación y el mantenimiento. Asimismo, una vez que el aparato se haya desechado al final de su vida útil, se deberá recuperar el gas antes de desmontarlo o retirarlo para su eliminación definitiva. Las sanciones derivadas de la gestión inadecuada de los F-gases de los equipos de aire acondicionado o de las bombas de calor son elevadas. En primer lugar, cabe señalar que la Ley 22/2011 sobre residuos y suelos contaminados establece el marco legislativo general sobre residuos, determinando varios tipos de infracción, como el vertido o la venta de residuos. Las multas por estas infracciones pueden ir desde sanciones económicas, que oscilan entre 901 y 1750000 euros, pasando por la inhabilitación o revocación de la autorización para ejercer profesionalmente de forma temporal entre 1 y 10 años, hasta el cierre temporal o definitivo.

El gobierno español también ha puesto en marcha medidas fiscales como un sistema de impuestos sobre el uso de gases de efecto invernadero creado en virtud del artículo 5 de la Ley 16/2013. Sin embargo, parte de la cantidad puede ser reembolsada si se certifica la correcta gestión de los residuos del equipo. También existe un acuerdo voluntario para el uso correcto del SF₆ realizado por el Ministerio de Agricultura, AFBEL, REE y otras partes interesadas para reducir las emisiones de SF₆, así como la correcta gestión de los desechos de los sistemas que contienen SF₆.

► **En Francia**, la normativa nacional sobre F-gases está regulada fundamentalmente por los artículos R. 543-75 a R. 543-123 del Código del Medio Ambiente y por los decretos del 29 de febrero de 2016 y el Plan Climático francés presentado en julio de 2017. Cabe mencionar el Observatorio de Gases Fluorados que tiene la misión de controlar las cantidades de los diferentes tipos de F-gases introducidos en el mercado, utilizados, reciclados o destruidos y de supervisar a los técnicos responsables de los sectores afectados, en particular en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado. A nivel no estatal, la legislación francesa impone obligaciones a los distribuidores de refrigerantes que realizan, a título profesional, cualquier actividad que requiera la manipulación de refrigerantes. Los proveedores de refrigerantes y equipos preinstalados con refrigerantes deben recuperarlos sin costo adicional,



procesarlos o hacerlos procesar en instalaciones autorizadas en el territorio nacional o en el extranjero para permitir su reutilización de acuerdo con los requisitos de sus especificaciones originales, o hacerlos destruir en caso de imposibilidad de cumplimiento o de reutilización prohibida. En los artículos R543-122 y 123 del código del medio ambiente se contemplan las sanciones a las que se enfrentarán las empresas en caso de infracción: la multa es de

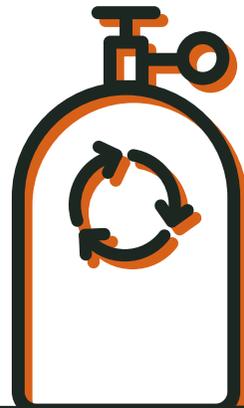
3000 euros como máximo (entidades jurídicas), el doble en caso de reincidencia. Esta sanción se aplicará, entre otros, a los propietarios de equipos que no hayan sido revisados para detectar fugas o cuyas fugas no se hayan controlado. También se sancionará a los propietarios que realicen desgasificaciones a la atmósfera, salvo cuando sea necesario para garantizar la seguridad de las personas.



Reciclar, reutilizar y recuperar: ¿Por qué es importante para los gestores y técnicos responsables de los residuos?

Existe la necesidad no sólo de reducir las emisiones de F-gases a la atmósfera, sino también de separar, reciclar y recuperar los HFC puros al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado. Debido al nuevo sistema de cuotas establecido por la Comisión Europea, es indispensable, para mantener disponibles cantidades suficientes de refrigerante virgen, que se haga un esfuerzo significativo en el reciclaje de las existencias actuales de F-gases, siempre que sea posible. Cuanto mayor sea el gas refrigerante en uso que se haya comercializado anteriormente, menos refrigerante virgen se necesitará y, en consecuencia, menor será la presión sobre la cadena de suministro para mantener las existencias y los suministros. Este es un factor clave ya que se hace evidente la reducción de los HFC, lo que provoca un aumento de los precios de los nuevos refrigerantes vírgenes. Cuando el reciclaje no es posible o práctico, entonces se debe considerar la separación de los componentes puros de las mezclas de gases y su recuperación para la producción de nuevos refrigerantes.

En 2018 se produjo la primera reducción significativa de las cuotas, que alcanzó un valor del 37%. Considerando que la siguiente reducción se producirá en 2021, la capacidad de la industria para reducir, reciclar e innovar se considera fundamental. De hecho, según la normativa sobre F-gases, sólo los refrigerantes que se acaban de "comercializar" se incluyen en las cuotas, lo que significa que el uso de productos reciclados reducirá la dependencia de la industria de refrigerantes con mayor PCG. Hasta ahora, los refrigerantes reciclados han representado una pequeña parte del total utilizado cada año, principalmente porque los nuevos refrigerantes estaban a la venta a un bajo precio. Mejorar la recuperación y la reutilización de los productos recuperados debería ser un objetivo clave para que la industria ayude a garantizar un suministro seguro de refrigerantes. La investigación de tecnologías basadas en materiales ambientalmente benignos que capturen, separen y reciclen eficientemente los F-gases es vital para facilitar la transición por parte de los técnicos responsables al nuevo mercado de la Unión Europea.



Principales ideas a tener en cuenta:

La directiva sobre F-gases de la UE de 2014 replantea profundamente la forma en que la industria gestiona los HFC e introduce nuevos mecanismos para garantizar una reducción eficiente de las emisiones. Los gases más afectados por esta Normativa de la UE son los HFC, PFC y SF₆: gases fluorados de efecto invernadero.

El Reglamento de Gases Fluorados de 2014 implica la reducción efectiva de los HFC. Esto reduce gradualmente la disponibilidad de estos gases en el mercado europeo mediante la asignación de cuotas por parte de la Comisión Europea, siguiendo el objetivo de disminuir el consumo de HFC en un 79% para 2030.

Los gestores y los técnicos responsables de la cadena de suministro en general deben evitar la emisión de F-gases por todos los medios necesarios, incluida su recuperación, reciclado o destrucción durante el funcionamiento del sistema y al final de la vida útil del equipo y están sujetos a sanciones por incumplimiento de la transposición nacional del reglamento sobre F-gases de 2014.

Considerando que la próxima reducción de las cuotas de F-gases se producirá en 2021, la capacidad de la industria para reducir, reciclar e innovar se presenta como una cuestión primordial. De hecho, según las normativas sobre F-gases, sólo los refrigerantes que se acaban de "comercializar" se incluyen en las cuotas, lo que significa que el uso de productos reciclados reducirá la dependencia de la industria.

KET4F-Gas puede separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil del equipo de refrigeración y aire acondicionado para reutilizarlos y reciclarlos en la posterior producción de refrigerantes de cuarta generación siguiendo los principios de la economía circular.



¿Necesita resolver la gestión de residuos de gases fluorados? ¡Tenemos la solución!

En el marco del proyecto KET4F-Gas, se desarrolló una herramienta en línea para clasificar los desechos según el método europeo y para identificar el impacto de los F-gases en el calentamiento global, y las mejores soluciones de tratamiento basadas en las Tecnologías Facilitadoras Esenciales (TFEs) existentes. En la sección de clasificación de residuos, el usuario puede identificar un residuo específico por su origen, obteniendo el correspondiente código europeo de residuos de 3 letras.

Este capítulo comprende:

La clasificación normalizada de F-gases de efecto invernadero (IPCC): emisiones de categoría 2F.

La necesidad de un enfoque multi-TFE: Estrategia multinivel KET4F-Gas que analiza la combinación de diferentes TFEs.

Descripción general de la Herramienta de Software de KET4F-Gas: concepto, uso y beneficios para los sectores de la industria y los gestores de residuos.

WH160415-14

Los F-gases se utilizan principalmente en aplicaciones como la refrigeración y el aire acondicionado, la extinción de incendios, los aerosoles y en espumas aislantes. Las emisiones atmosféricas de F-gases se producen durante el ciclo de vida de los equipos, pero también durante su proceso de fabricación y como consecuencia de los residuos no tratados.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha establecido una clasificación normalizada de los GEI, agrupada en los sectores y las aplicaciones particulares en que se utilizan. Por su relación directa con los objetivos del KET4F-Gas, la categoría denominada 2F es la más relevante, ya que incluye los sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, como los HFC y los PFC. La categoría 2F incluye sustancias para refrigeración y aire acondicionado (subcategoría 2F1), agentes espumantes (2F2), extintores de incendios (2F3) y aerosoles (2F4).

Sólo para dar una idea de la magnitud, los 28 países de la UE emitieron en 2016 la alarmante cantidad de 110 millones de toneladas de CO₂-eq de gases fluorados. Es evidente que esto representa un problema ambiental muy grave que exige medidas urgentes a nivel mundial. Entre las subcategorías citadas, la refrigeración y el aire acondicionado acumularon en 2016 un 84,18% del total de las emisiones de F-gases, lo que confirma la importancia de esta subcategoría 2F como objetivo principal de las políticas de control de las emisiones de F-gases.

Teniendo en cuenta la evolución a lo largo del tiempo de las emisiones de la categoría 2F, sus niveles en el área SUDOE han aumentado continuamente desde 1995 hasta 2013, cuando se produjo una alteración de la tendencia, debido a las nuevas políticas impuestas sobre el uso y la emisión de estas sustancias. No obstante, el peso relativo de los F-gases, en comparación con la cantidad total de GEI, ha aumentado en la zona SUDOE. Así, considerando la evolución desde





1990 hasta 2013, la contribución de los F-gases al total de GEI ha aumentado del 1,5% al 3,5% en España, del 2% al 5% en Francia y del 0% al 5% en Portugal. Estos niveles están por encima de la media del 3% de los 28 países de la UE, lo que pone de manifiesto un peor escenario en estos tres países.

En resumen, la cantidad de emisiones atmosféricas de F-gases en la zona del SUDOE representa hoy una importante amenaza medioambiental debido a su potencial acumulado de calentamiento global. Los niveles actuales de emisiones de F-gases deben reducirse por completo. A fin de cumplir los acuerdos internacionales que han establecido rigurosos plazos para eliminar gradualmente el uso de F-gases, se necesitan acciones urgentes. Esto exige intensos esfuerzos de investigación y desarrollo para la recuperación y el reciclaje de los F-gases y la disminución de sus emisiones a la atmósfera.

Enfoque Multi-TFE

El escenario descrito exige soluciones científicas y técnicas innovadoras, considerando en todo caso enfoques constructivos y sinérgicos. En este contexto, el proyecto KET4F-Gas propone una estrategia multinivel, analizando la combinación de diferentes TFEs. El desarrollo de métodos de separación fiables para los distintos gases puros es un reto científico excepcional, y en este caso el número de candidatos a tratar es grande. Las tecnologías de separación y recuperación existentes no son adecuadas para la mayoría de los F-gases, lo que ha ocasionado que la incineración resulte ser el destino final de demasiadas de estas sustancias una vez finalizado su ciclo de vida.

Este hecho exige el diseño preciso y la aplicación de técnicas de separación híbridas fiables para cada uno de los F-gases. Dentro del proyecto, los TFEs se utilizaron y combinaron para desarrollar cada uno de los procesos de separación.

Se demostrará que la fertilización cruzada debido a la combinación de los diferentes TFEs individuales mejorará el rendimiento general del proceso, buscando soluciones eficaces y económicas adaptadas a cada compuesto concreto.

Herramienta de software KET4F-Gas

En el marco del proyecto KET4F-Gas, se desarrolló una herramienta en línea que permite clasificar los residuos según el método europeo, e identificar el impacto de los F-gases en el calentamiento global y las mejores soluciones de tratamiento, basándose en los TFEs existentes.

En la sección de clasificación de residuos, el usuario puede clasificar un residuo específico por su origen, obteniendo el correspondiente código europeo de

residuos de 3 letras. Este código es esencial para la gestión de los residuos.

En la sección de las tecnologías de tratamiento, el usuario selecciona un F-gas puro (por su número R o por su nombre químico) o una mezcla de F-gases (por su número R). A continuación, se dirige al usuario a una página que contiene información sobre la composición de la mezcla comercial de F-gases y el potencial de calentamiento global (PCG) y el nivel de impacto respectivo de cada refrigerante. El nivel de impacto se diseñó de manera similar a una escala de eficiencia energética, para que fuera más sencillo para los usuarios. De acuerdo con el PCG de cada refrigerante, se clasifica de A (menor PCG) a G (mayor PCG).

Esta herramienta en línea también permite identificar las mezclas de F-gases en las que está presente cada uno de estos gases, e identificar las tecnologías

que hay disponibles para la separación de cada mezcla en sus componentes puros. Las TFEs propuestas se dividen en tres grandes categorías: materiales avanzados (incluidos disolventes alternativos, matrices sólidas porosas y MOF), sistemas de producción avanzados (incluida la tecnología de membranas) y Nanotecnología (incluidas las suspensiones de nanopartículas). Después de seleccionar cada tecnología, se le pide al usuario que proporcione su correo electrónico, nombre y su empresa. Esta información cumple con las leyes de protección de datos y se utiliza únicamente para evaluar la utilización de la herramienta en línea. Finalmente, se presenta la ficha técnica de cada tecnología. Estas fichas incluyen una descripción de la tecnología, sus ventajas y las mezclas de gases a las que se aplica esta tecnología. Por último, se presenta una lista de referencias, que incluye una pequeña descripción de los resultados.



El concepto

La reducción del impacto ambiental de los F-gases mediante el desarrollo y la aplicación de Tecnologías Facilitadoras Esenciales (TFEs) es el principal objetivo del proyecto KET4F-Gas.

Hoy en día, Internet es una herramienta accesible para todos los usuarios y una fuente de información sobre diversos temas.

Por esta razón, se ha desarrollado un software de apoyo a este tema que permite al usuario:

- Clasificar los residuos;
- Identificar las tecnologías de tratamiento de las mezclas de F-gases y determinar su impacto en el calentamiento global.

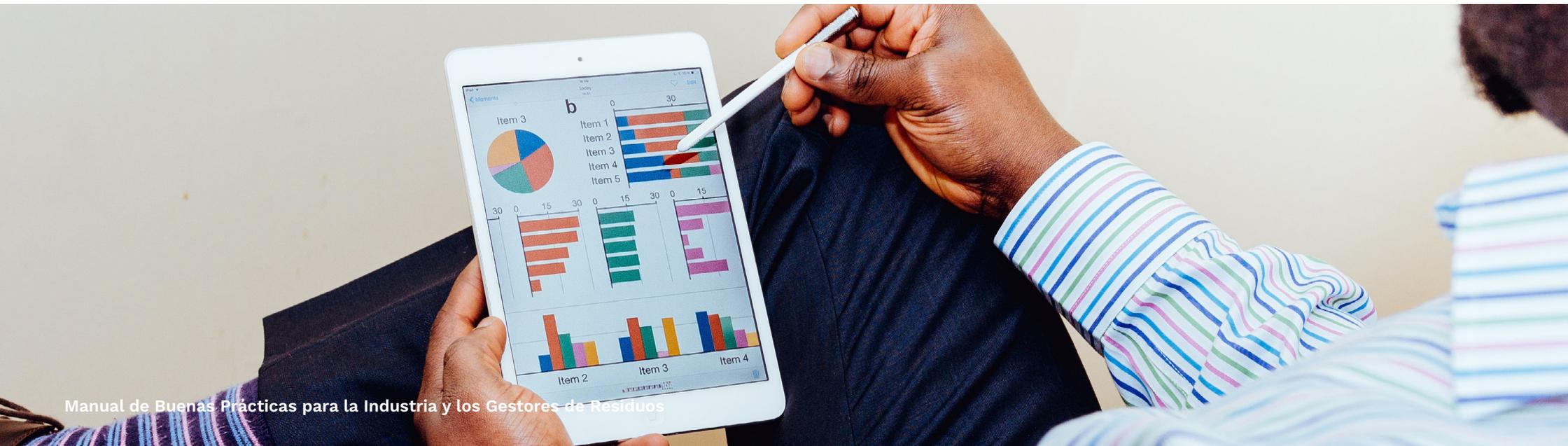
Además, era importante que el software estuviese en al menos cuatro idiomas diferentes, para que todos pudieran utilizarlo.

Características

En la parte superior de la plataforma hay tres enlaces principales para acceder a diferentes páginas:

KET4F-Gas

Esta es la página principal de la plataforma donde se puede leer una breve presentación sobre la misma y donde se puede acceder al sitio web oficial.





01

Herramienta para la selección de Tecnologías Facilitadoras Esenciales

Esta herramienta informática permite clasificar residuos siguiendo el método europeo (LER – Lista Europea de Residuos) y conocer mejor el impacto de los gases fluorados, así como las mejores soluciones disponibles para su tratamiento mediante Tecnologías Facilitadoras Esenciales (TFE).

La herramienta ha sido desarrollada en el marco del proyecto europeo KET4F-Gas, cofinanciado por el programa europeo Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).



Clasificación
de residuos



Selección
de tecnologías
de tratamiento

Clasificación de residuos

La clasificación de los residuos se construyó de acuerdo con la Lista Europea de Residuos y es compatible con todos los tipos de residuos, no sólo con los que contienen F-gases.

La lista consta de 20 capítulos, numerados del 01 al 20, en los que se agrupan los residuos que se refieren a un sector específico de la actividad que genera este residuo: industrial, urbano, agrícola y hospitalario, o simplemente relacionados con los procesos de producción.

Clasificación de residuos

00 Seleccione una fuente de residuos

Seleccione una fuente de residuos

- 01 - Residuos resultantes de la exploración, minería, extracción y tratamiento físico y químico de minerales
- 02 - Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos
- 03 - Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón
- 04 - Residuos de las industrias del cuero, de la piel y textil
- 05 - Residuos del refinado de petróleo, purificación del gas natural y tratamiento pirolítico del carbón
- 06 - Residuos de procesos químicos inorgánicos
- 07 - Residuos de procesos químicos orgánicos
- 08 - Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (ffdu) de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), adhesivos, sellantes y tintas de impresión
- 09 - Residuos de la industria fotográfica
- 10 - Residuos de procesos térmicos
- 11 - Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no férrea
- 12 - Residuos del moldeo y del tratamiento físico y mecánico de superficie de metales y plásticos

Tecnologías

La página de tecnologías se creó para que el usuario pudiera obtener información sobre un F-gas determinado o una mezcla comercial de F-gases.

Lo primero que hay que hacer es identificar el F-gas del que se necesita más información. El cuadro de selección tiene diferentes gases con sus nombres químicos o comerciales, por ejemplo:

Selección de tecnologías de tratamiento

Gas Fluorado

Selecciona

Selecciona

- 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoropentano
- 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano
- 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano
- 1,1,1,2,3,3-hexafluoropropano
- 1,1,1,2-tetrafluoroetano
- 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano
- 1,1,1,3,3-pentafluorobutano
- 1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene
- 1,1,1,3,3-pentafluoropropano
- 1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene
- 1,1,1-trifluoroetano
- 1,1,2,2,3-pentafluoropropano
- 1,1,2,2-tetrafluoroetano
- 1,1,2-trifluoroetano
- 1,1-difluoroetano
- 1,2-Bis(difluoromethoxy)-1,1,2,2-tetrafluoroethane
- 1,2-Diclorotetrafluoroetano
- 1,2-difluoroetano
- 1,3,3,3-Tetrafluoropropeno

En caso de duda contactar anab@fct.unl.pt; jmmda@fct.unl.pt.

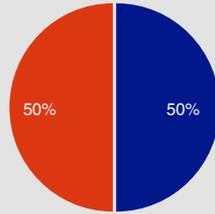
Una vez elegido el gas, por ejemplo, si es R-32 en el caso de un F-gas puro o R-410A en el caso de una mezcla de F-gases, el usuario obtiene la siguiente información:

Composición química o composición de la mezcla;

Ejemplo: F-gas puro (R-32)

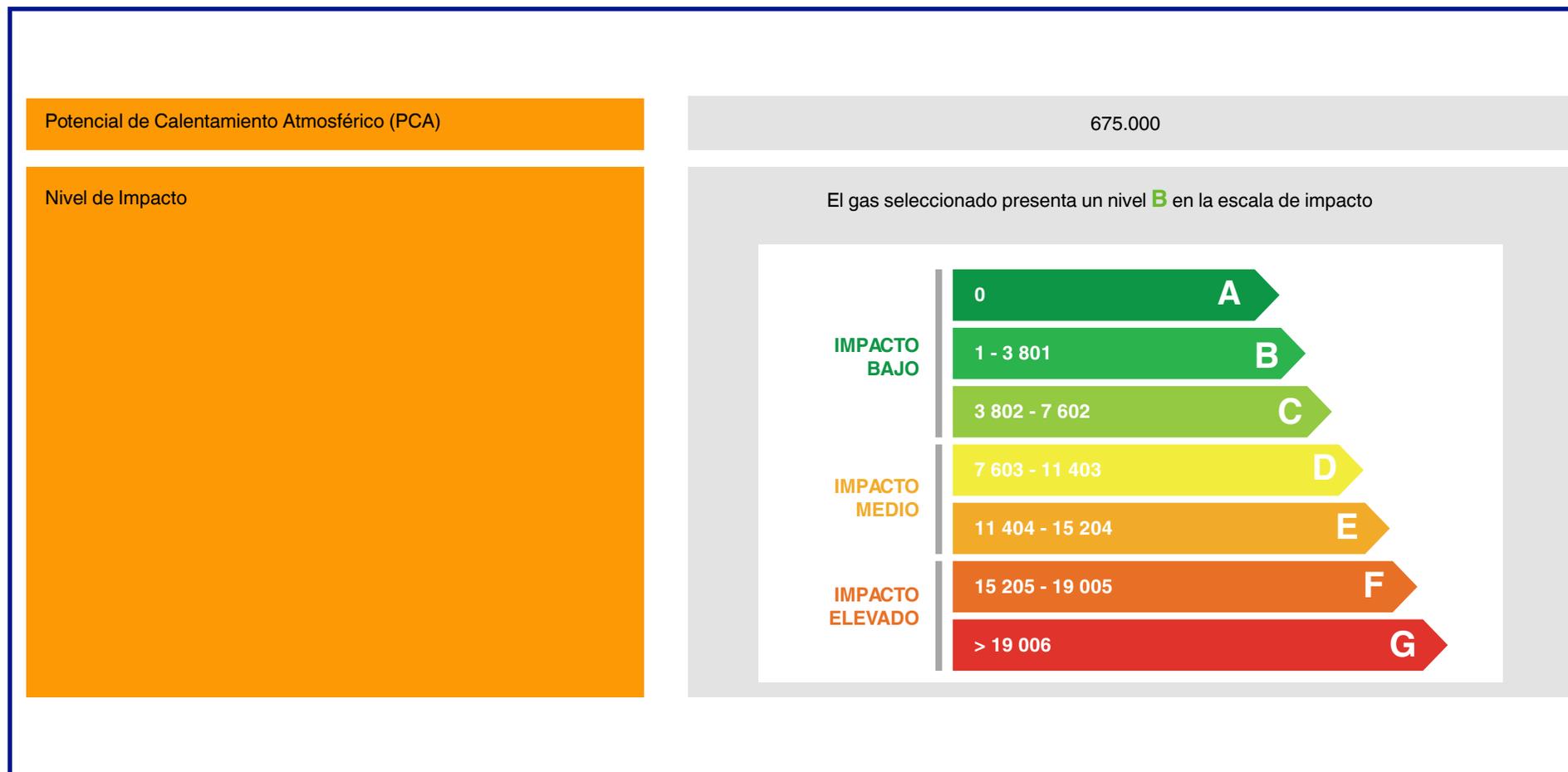
Gas Fluorado	R-32
Composición Química / Mezcla de Gases	Difluorometano

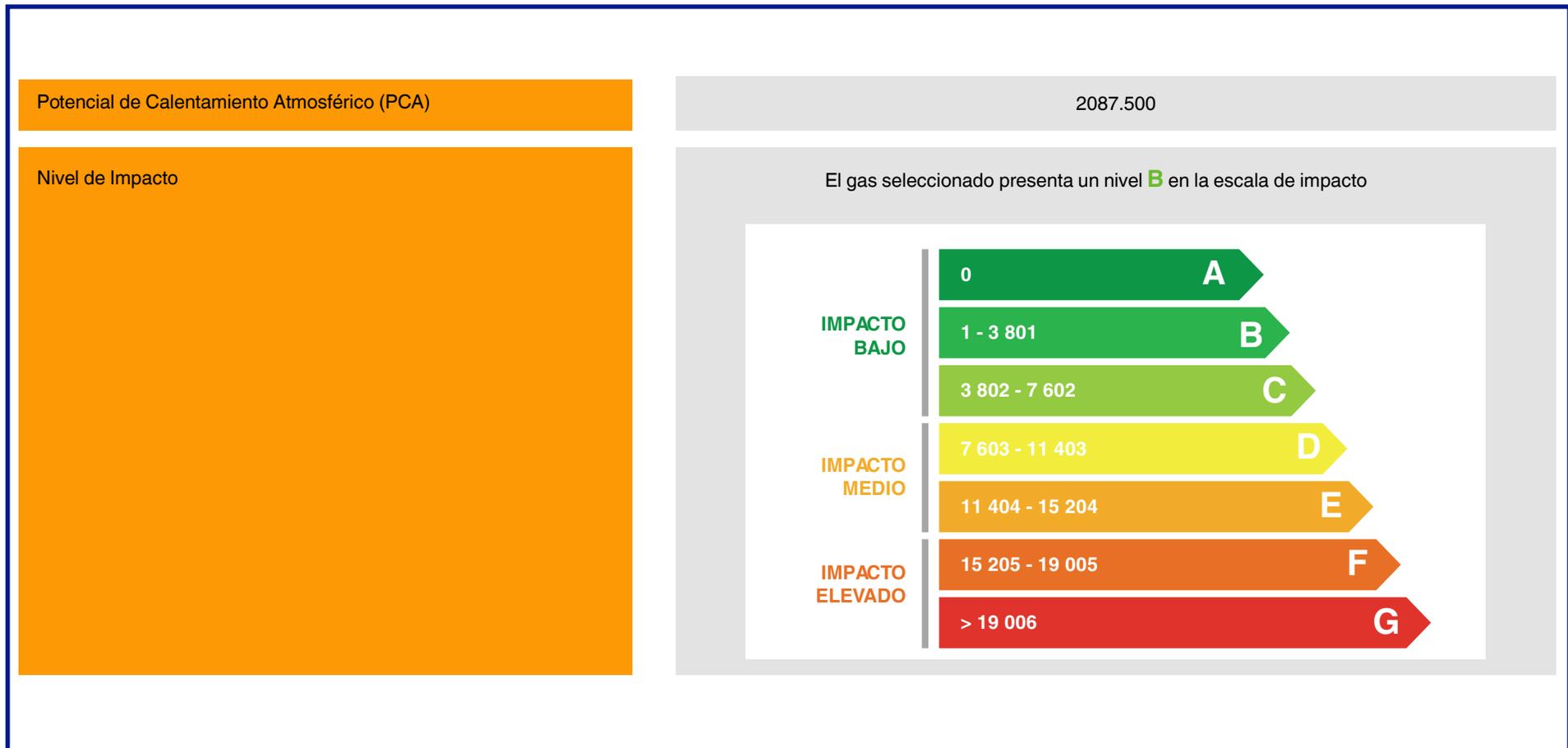
Ejemplo: Mezcla de F-gases (R-410A)

Gas Fluorado	R-410A
Composición Química / Mezcla de Gases	R-125 (50%); R-32 (50%); 

Potencial de Calentamiento Global (PCG) y la escala de impacto (de la A a la G);

Ejemplo: F-gas puro (R-32)





Ejemplo: F-gas puro (R-32)

<p>Tecnologías de tratamiento</p>	<p>No Aplica</p>
<p>Este gas puede ser encontrado en estas mezclas de gases.</p>	<p>R-407A; R-407B; R-407C; R-407D; R-407E; R-407F; R-410A; R-410B; R-425A; R-427; R-438A; R-43A; R-442A; R-444B; R-448A; R-449A; R-452A; R-453A; R-455A; R-458A; R-504;</p>

Ejemplo: Mezcla de F-gases (R-410A)

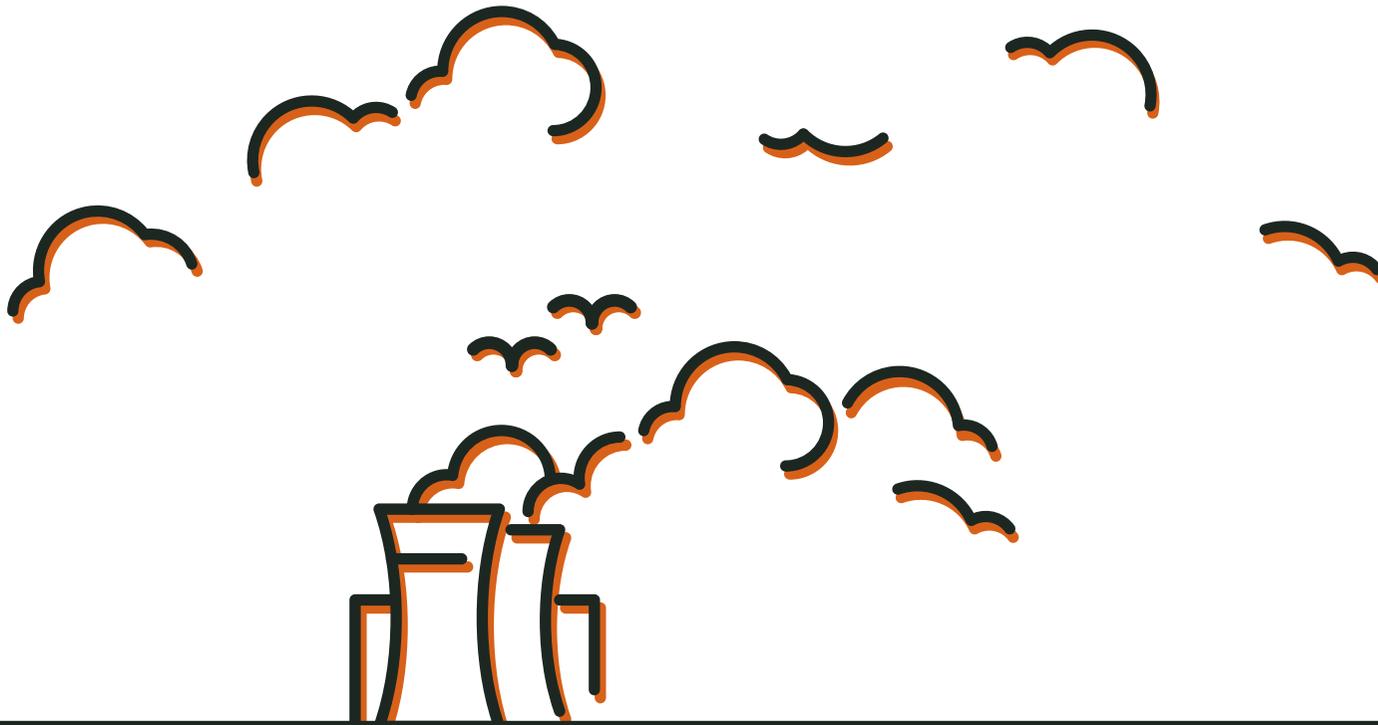
<p>Tecnologías de tratamiento</p>	<p>Materiales Avanzados Advanced Materials - Alternative Solvents; Advanced Materials - Solid Porous Matrices; Advanced Materials - MOFs;</p> <p>Tecnologías y Sistemas Avanzados de Fabricación Advanced Manufacturing Technologies - Membranes;</p> <p>Nanotecnología Nanotechnology - Nanoparticles Suspension;</p>
-----------------------------------	--

¿Cómo pueden beneficiarse los usuarios?

La plataforma KET4F-Gas ya está accesible en su sitio web oficial ([“Resultados”](#)).

La plataforma del KET4F-Gas es sencilla, accesible a todos, gratuita y una gran herramienta para obtener información sobre un refrigerante específico. Las ventajas de la plataforma comprenden:

- **Aprendizaje** - La plataforma contiene una gran cantidad de información valiosa sobre los F-gases.
- **Ayuda en la toma de decisiones** - Hay diferentes gases y diferentes tecnologías de tratamiento. Los usuarios pueden elegir entre dos gases que tengan un impacto menor o mayor, y pueden saber de antemano qué tecnologías pueden utilizarse para la recuperación de los componentes de las mezclas de gases elegidas.
- **Ahorro de tiempo** - Los usuarios pueden encontrar toda la información necesaria en la plataforma digital.
- **Confianza** - La plataforma se actualiza constantemente. Hay contactos que permiten responder a las preguntas de los usuarios.



Principales ideas a tener en cuenta:

Los niveles de las emisiones de la categoría 2F en la zona del SUDOE han aumentado continuamente desde 1995 hasta 2013, con valores superiores a la media del 3% de los 28 países de la UE. Esto evidencia un peor escenario en estos tres países.

Las tecnologías de separación y recuperación existentes no son adecuadas para la mayoría de los F-gases. Por lo tanto, la incineración resulta ser el destino final de demasiadas de estas sustancias después del final de su ciclo de vida.

El proyecto KET4F-Gas propone una estrategia multinivel, analizando la combinación de diferentes TFEs para diseñar y aplicar técnicas de separación híbridas fiables para cada uno de los F-gases, mejorar el rendimiento global del proceso y buscar soluciones eficaces y económicas adaptadas a cada sustancia concreta.

En el marco del proyecto KET4F-Gas, se desarrolló una herramienta en línea para clasificar los residuos según el método europeo, y para identificar el impacto de los F-gases en el calentamiento global y las mejores soluciones de tratamiento, basándose en las TFEs existentes.

La plataforma del gas KEF-Gas es sencilla, accesible a todos, gratuita y una gran herramienta para obtener información sobre un refrigerante específico. Las ventajas de la plataforma comprenden: mucha información valiosa sobre los F-gases, orientación para la toma de decisiones informativas, toda la información necesaria disponible en un solo lugar que es fiable y se actualiza regularmente.

Un caso de éxito - El sistema KET4F-Gas

Los prototipos del KET4F-Gas consisten en una columna de adsorción provista de carbón activado y en un sistema de membranas que contiene dos membranas poliméricas planas apiladas y funcionalizadas con líquidos iónicos. Estas tecnologías son fáciles de aplicar en una instalación de gestión de residuos debido al poco espacio que requieren y a su modularidad y escalabilidad. Además, estos sistemas requieren poco mantenimiento y tienen una vida útil de larga duración.

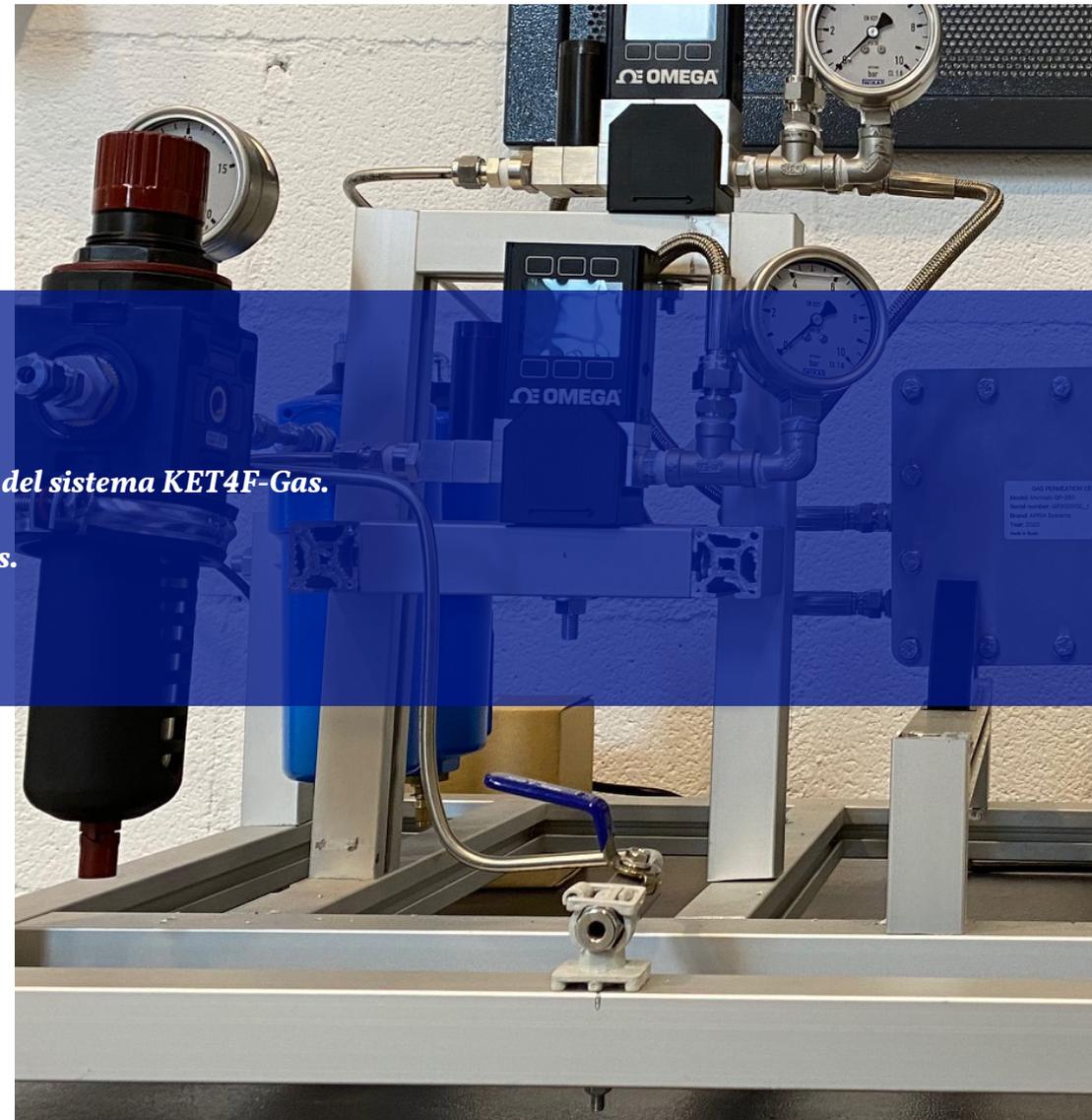
Este capítulo comprende:

Una descripción de las características y de la aplicación del sistema KET4F-Gas.

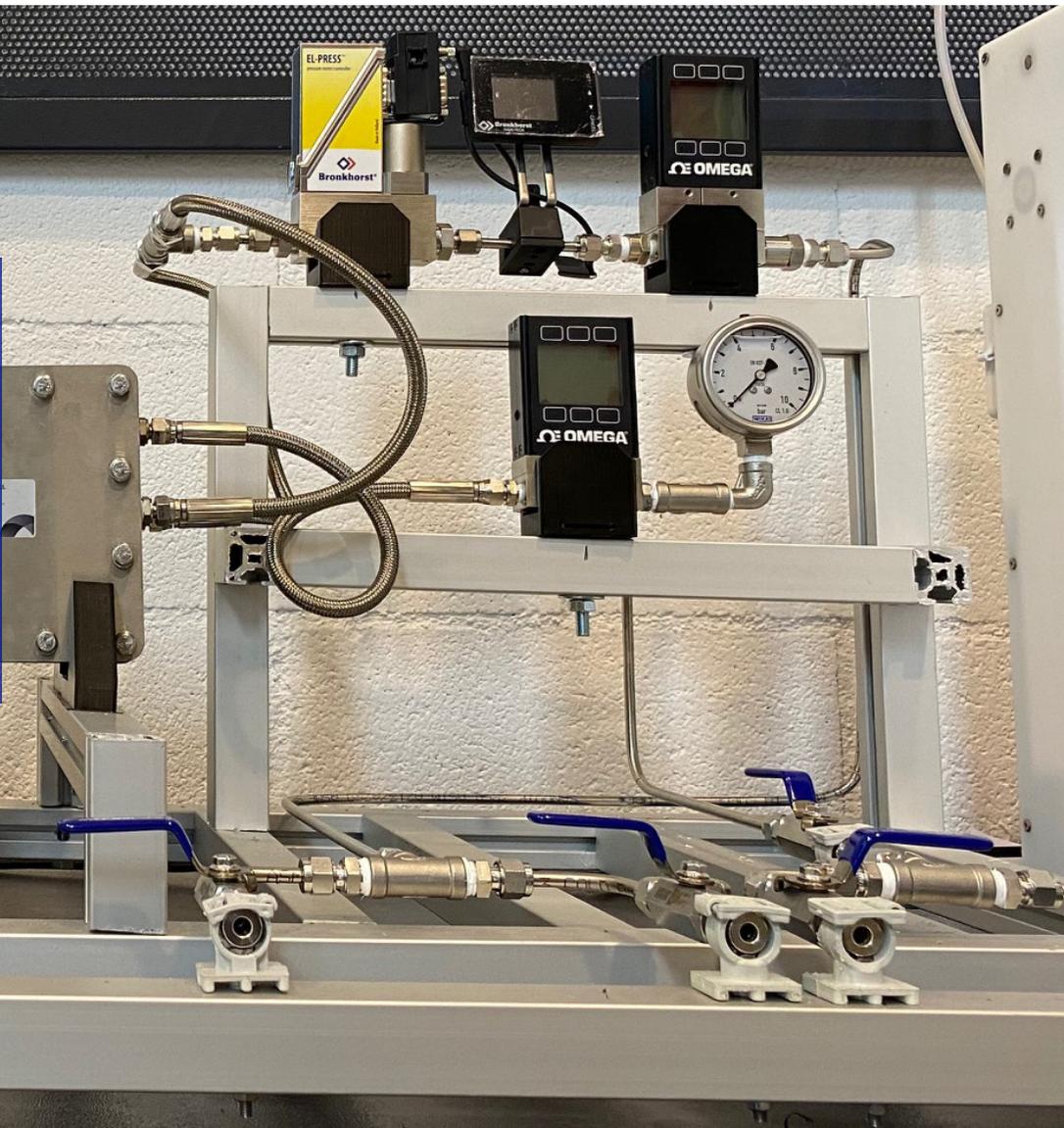
Información técnica sobre los prototipos del KET4F-Gas.

Ventajas de la implementación del sistema.

La eliminación de las mezclas de HFC recogidas de equipos que han llegado al final de su vida útil plantea problemas ambientales y su incineración se considera actualmente la mejor práctica. Sin embargo, la incineración genera CO₂ y subproductos nocivos como el fluoruro de hidrógeno (HF) y el ácido trifluoroacético (TFA). Si se liberan al medio ambiente, estos compuestos se disuelven en el agua y se dirigen a la superficie terrestre por medio de la precipitación. Además, los TFA acidifican el



agua, lo que puede provocar una importante ecotoxicidad al acumularse en los ecosistemas. Esta práctica supone un desperdicio de recursos, ya que los componentes de las mezclas de HFC son productos muy valiosos que pueden seguir utilizándose para producir nuevas mezclas de refrigerantes inocuos para el medio ambiente con un PCG mucho más bajo, que están autorizados a utilizarse en virtud de la legislación vigente como sustitutos de las antiguas mezclas de HFC con un PCG alto.



El desarrollo de técnicas que recuperen y reciclen eficientemente los HFC presentes en las mezclas de gases es esencial para reducir significativamente las emisiones de HFC, y para promover la economía circular, a través de la valorización de los residuos. Según los datos recogidos en el marco del proyecto KET4F-Gas, los costes de incineración de refrigerantes son elevados (entre 2000 y 3000 euros/tonelada de gas más los costes de transporte). Por lo tanto, al recuperar y reutilizar los HFC, se reducen los costes asociados a la eliminación de residuos y a los impuestos sobre los nuevos HFC.

Por ejemplo, el R-410A, uno de los refrigerantes más utilizados en los aires acondicionados domésticos e industriales, es un sistema azeotrópico de F-gases puros R-32 y R-125, con una composición azeotrópica de 91 mol% en R-32. Por lo tanto, la separación de los HFC individuales del sistema mediante procesos convencionales con altos consumos de energía (por ejemplo, la destilación convencional) es imposible.

En el marco del proyecto KET4F-Gas, se han construido dos prototipos para la recuperación eficiente de los HFC de valor añadido (como el R-32) de las mezclas de refrigerantes de alto PCG (R-410A) presentes en los equipos al final de su vida útil, con el fin de reutilizarlos en nuevas mezclas de refrigerantes respetuosas con el medio ambiente y de bajo PCG. Estos dos prototipos se basan en dos procesos de separación avanzados diferentes-adsorción en materiales porosos y tecnología de membranas- que proporcionan altos rendimientos y tienen bajos consumos de energía.

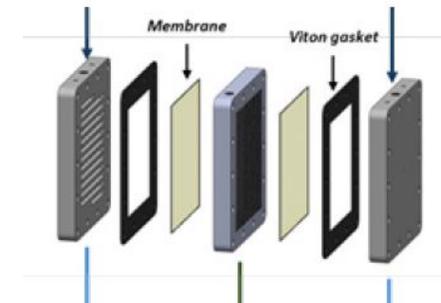
En los procesos de adsorción, uno de los componentes de la mezcla se adsorbe preferentemente en un material poroso, mientras que el resto sale de la columna de adsorción. Luego, la columna de adsorción se regenera para recuperar el compuesto que fue adsorbido selectivamente. En el proceso de separación de gas por membrana, un compuesto de la mezcla se permea preferentemente a través de películas delgadas altamente selectivas debido a las diferencias en el tamaño de las moléculas de gas y a las interacciones gas-membrana.



Proceso de adsorción, utilizando matrices sólidas y porosas para la separación selectiva de gases.



Proceso de membranas, utilizando membranas funcionalizadas con líquidos iónicos para la separación selectiva de gases.



Los prototipos de KET4F-Gas consisten en una columna de adsorción provista de carbón activado y en un sistema de membranas que contiene dos membranas poliméricas planas apiladas funcionalizadas con líquidos iónicos.

Estas tecnologías son fáciles de aplicar en una instalación de gestión de residuos de-bido al poco espacio que requieren y a su modularidad y escalabilidad. Además, estos sistemas requieren poco mantenimiento y tienen una larga vida útil. Los sistemas son muy selectivos para la separación del R-410A, proporcionando una alta capacidad de adsorción y una gran permeabilidad respecto del R-32, lo que da lugar a un alto rendimiento de separación y una gran pureza del R-32 (>99%) cuando ambos prototipos se utilizan en serie.

Principales ideas a tener en cuenta:

En el marco del proyecto KET4F-Gas, se han construido dos prototipos para la recuperación eficiente de HFC de valor añadido (como el R-32) a partir de mezclas de refrigerantes de alto PCG (R-410A) presentes en equipos al final de su vida útil, con el fin de reutilizarlos en nuevas mezclas de refrigerantes respetuosas con el medio ambiente y de bajo PCG.

Los prototipos de KET4F-Gas consisten en una columna de adsorción compuesta por carbón activado y en un sistema de membranas que contiene dos membranas poliméricas planas apiladas y funcionalizadas con líquidos iónicos.

Estas tecnologías son fáciles de aplicar en una instalación de gestión de residuos debido al poco espacio que requieren y a su modularidad y escalabilidad. Estos sistemas requieren poco mantenimiento y tienen una larga vida útil.

Los sistemas son muy selectivos para la separación de R-410A, proporcionando una alta capacidad de adsorción y una gran permeabilidad respecto del R-32, lo que da como resultado un alto rendimiento de separación y una gran pureza del R-32 (>99%) cuando ambos prototipos se utilizan en serie.

¿Cómo beneficia KET4F-Gas a los gestores de residuos?

Los prototipos presentados de KET4F-Gas proporcionarán muchas ventajas a los gestores de residuos, ya que representan una alternativa realista al actual proceso de recuperación, transporte e incineración. La posibilidad de recuperar el R-32 con una pureza mínima al 98% en peso permitirá reutilizarlo tantas veces como se necesite, con una pérdida mínima. Además, los dos prototipos presentados en esta publicación tienen un coste de implementación relativamente bajo y representan un enorme beneficio desde el punto de vista ambiental.

Este capítulo comprende:

Ventajas para los gestores de residuos que ofrece la aplicación del sistema KET4F-Gas.

Beneficios generales del sistema a corto, medio y largo plazo.

Resumen de los costes ambientales y económicos de la implementación de las tecnologías.

Beneficios del sistema

Los nuevos sistemas de recuperación de KET4F-Gas para el refrigerante R-410A tienen muchas ventajas, ya que permiten una completa reutilización del refrigerante R-32 a bajo coste. Los principales beneficios se enumeran a continuación.



Alto índice de pureza:

Ambos prototipos presentan una alta pureza, al menos al 98% en peso para el R-32.



Bajo coste medioambiental:

Los nuevos prototipos son tecnologías limpias cuyo análisis de ciclo de vida revela un ahorro de más del 60% en términos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con un caso de referencia en el que el R-410A no se recupera.



Bajo coste de los materiales:

Tanto las membranas como los adsorbentes tienen precios bajos en el mercado.

Otros beneficios

El beneficio más importante de la utilización de estas tecnologías es la posibilidad de recuperar y reutilizar el R-32, gas con un menor Potencial de Calentamiento Global (PCG), teniendo en cuenta la actual normativa europea que prohibirá la fabricación de nuevos HFC con alto PCG en equipos de refrigeración.

Estas tecnologías representan una alternativa a corto plazo durante la transición hacia refrigerantes más avanzados con un menor PCG.

Suponiendo un horizonte temporal de 10 años, los beneficios en términos de impacto ambiental pueden resumirse en los siguientes números:



Se puede tratar una cantidad aproximada de 3200 kg de R-410A para su separación.



El principal coste ambiental es en términos de emisiones de CO₂, que son bajas, en un rango de 6 a 8 kg de CO₂ emitidos por cada kg de R-32 recuperado.



Teniendo en cuenta que el PCG del R-410A es de 2088, el ahorro ambiental en términos de emisiones de CO₂ hace que esta tecnología sea un 60-70% más verde que cualquier alternativa actual y más del 95% mejor en términos de agotamiento de la capa de ozono.

Costes de Implementación

Los costes de aplicación dependerán del flujo de refrigerante que deba tratarse por día. Sin embargo, en términos generales, el diseño de las unidades de operación no requiere un equipo costoso, ya que todos los materiales necesarios

tienen un coste bajo. Los costes de capital están en función de las dimensiones de la unidad para tratar más o menos gas. **Los costes de operación están en el rango de 32 euros por Kg de R-32 recuperado.**

Principales ideas a tener en cuenta:

Los prototipos de KET4F-Gas representan una alternativa realista a los actuales procesos de recuperación, transporte e incineración.

El beneficio más importante de la utilización de estas tecnologías es la posibilidad de recuperar y reutilizar el gas R-32, teniendo en cuenta la actual normativa europea que prohibirá la fabricación de nuevos HFC con un alto PCG en los equipos de refrigeración. La posibilidad de recuperar el R-32 con una pureza al 98% en peso permitirá reutilizarlo tantas veces como se necesite, con una pérdida mínima.

Los costes de implementación dependerán del flujo de refrigerante que sea necesario tratar por día. Sin embargo, en términos generales, el diseño de las unidades de operación no requiere un equipo costoso, ya que todos los materiales necesarios tienen un coste bajo.



Preguntas frecuentes

• ¿Cuáles son los marcos reglamentarios mundiales y europeos sobre los HFC?

Los requisitos impuestos por los reglamentos internacionales son claros:

La Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal sobre HFC (2016): 197 países industrializados se comprometieron a reducir en un 45% el uso de HFC para 2024 y en un 85% para 2050. Teniendo esto en cuenta, los países en desarrollo comenzarán a limitar y reducir su consumo de HFC a partir de 2024.

El reglamento 517/2014 de la UE sobre los gases fluorados y la eliminación gradual de los HFC (2014): planificó la eliminación gradual de la comercialización entre 1995 y 2015 de los F-gases CFC y HCFC y la categoría de gases con un PCG superior a 2500, en particular los HFC. Los requisitos de reducción para 2024 del Reglamento Europeo son más estrictos que los de la Enmienda de Kigali: 69% en vez del 45%. Para 2025 se ha establecido un calendario para disminuir gradualmente la comercialización de esas sustancias a fin de reducir las emisiones en un 21% en comparación con el período 2009/2012.

El sistema europeo de cuotas para la comercialización de HFC en el mercado europeo: a partir de 2017, todos los equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor con HFC están cubiertos por un mecanismo de cuotas. Esta asignación de cuotas se revisa cada tres años.

• ¿Cómo se controla la aplicación de la normativa europea sobre F-gases?

Todos los gestores europeos deben informar anualmente de todos los movimientos en cuestión por tipo de fluido (almacenado, comprado, reciclado, regenerado o destruido). La Comisión Europea publicará en diciembre de 2020 un informe sobre la disponibilidad de HFC en el mercado. En 2022 se publicará un informe mundial que incluirá una previsión de la demanda de HFC hasta 2030 y más adelante.

- ***¿Existen sanciones por el incumplimiento del reglamento de la UE sobre la necesidad de reciclar los F-gases?***

Sí. En la transposición a la Legislación Nacional del Reglamento 517/2014 de la Unión Europea sobre los F-gases, el incumplimiento de las obligaciones relativas a los sistemas de recuperación y tratamiento correcto de los F-gases de efecto invernadero está sujeto a sanciones. La cuantía de cada sanción depende de cada Estado Miembro.

En **Portugal**, las sanciones por incumplimiento pueden ir de 2000 a 48000 euros para una sola persona y de 15000 a 48000 euros para una entidad fiscal. En caso de infracción grave, las cuantías de las sanciones pueden llegar a 37500 euros para una sola persona y hasta 2500000 para una entidad fiscal.

En **España** las sanciones por estas infracciones pueden variar, desde sanciones económicas que oscilan entre 901 y 1750000 euros, pasando por la inhabilitación o revocación de la autorización para ejercer profesionalmente de forma temporal entre 1 y 10 años, hasta el cierre temporal o definitivo.

En **Francia** las empresas se enfrentan en caso de infracción: a una sanción de 3000 euros como máximo (personas jurídicas), el doble en caso de reincidencia.

- ***¿Por qué es importante para los gestores y técnicos responsables de los residuos el tratamiento correcto de los F-gases?***

Aparte de las sanciones mencionadas anteriormente, debido al nuevo sistema de cuotas establecido por la Comisión Europea, es esencial, a fin de mantener cantidades suficientes de refrigerante virgen disponible, que se realice un esfuerzo significativo en el reciclaje de las existencias siempre que sea posible. Cuanto mayor sea el gas refrigerante en uso que se haya comercializado anteriormente, menos refrigerante virgen se necesitará y, en consecuencia, menor será la presión sobre la cadena de suministro para mantener las existencias y los suministros a medida que la fase de reducción se haga realidad, evitando al mismo tiempo el aumento de los precios de los refrigerantes. Mejorar la recuperación y reutilización de los productos recuperados debería ser un objetivo fundamental de la industria para garantizar el suministro de refrigerantes.

- ***¿Por qué el software KET₄F-Gas puede ser una solución para los gestores y técnicos responsables de residuos?***

Esta herramienta está al alcance de los usuarios en cuatro idiomas diferentes (portugués, inglés, español y francés) y es gratuita. Permite al usuario clasificar los residuos, identificar las tecnologías de tratamiento de mezclas de F-gases y determinar su impacto en el calentamiento global.

- ***¿En qué consisten los prototipos del sistema KET4F-Gas?***

Los prototipos del sistema KET4F-Gas consisten en una columna de adsorción compuesta por carbón activado y un sistema de membranas que contiene dos membranas poliméricas planas apiladas y funcionalizadas con líquidos iónicos.

- ***¿Pueden colocarse los prototipos del sistema KET4F-Gas en mis instalaciones?***

Sí, estas tecnologías son fáciles de colocar en una instalación de gestión de residuos debido al poco espacio que requieren y a su modularidad y escalabilidad. Además, estos sistemas requieren poco mantenimiento y tienen una larga vida útil.



Principales ideas a tener en cuenta

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías eficientes y sostenibles para capturar de forma selectiva los F-gases y reciclarlos en nuevos refrigerantes compatibles con el medio ambiente, se ha hecho cada vez más urgente. En cumplimiento con los compromisos internacionales y el reglamento sobre F-gases de la Unión Europea de 2014, transferido a las legislaciones nacionales en 2017, los gestores y los técnicos responsables de la cadena de suministro en general deben evitar la emisión de F-gases por todos los medios necesarios, incluida su recuperación, reciclado o destrucción durante el funcionamiento del sistema y al final de la vida útil del equipo. La emisión de F-gases a la atmósfera está explícitamente prohibida y sujeta a las sanciones que determine cada Estado Miembro bajo la dirección de la Comisión Europea.

La reducción de los HFC ha reflejado un mayor interés en el uso de gases reciclados y recuperados. Debido al nuevo sistema de cuotas establecido por la Comisión Europea, es esencial, para mantener el suministro de cantidades suficientes de refrigerante virgen, que se haga un mayor esfuerzo para reciclar las existencias actuales, siempre que sea posible. Cuanto más se utilice el gas refrigerante que se haya comercializado anteriormente, menos refrigerante virgen se necesitará y, en consecuencia, menor será la presión sobre la cadena de suministro para mantener las existencias y los suministros a medida que la fase de reducción se hace realidad, evitando al mismo tiempo el aumento en los precios de los refrigerantes.

En 2018 se produjo la primera reducción significativa de las cuotas, que alcanzó un valor del 37%. Considerando que la siguiente reducción tendrá lugar en 2021, la capacidad de la industria para reducir, reciclar e innovar se considera

fundamental. De hecho, según las regulaciones de los F-gases, sólo los refrigerantes recién "introducidos en el mercado" están incluidos en las cuotas, lo que significa que el uso de productos reciclados reducirá la dependencia de la industria de refrigerantes. Hasta ahora, los refrigerantes reciclados han representado una pequeña parte del total utilizado cada año, principalmente porque los nuevos refrigerantes están disponibles a un alto coste y suelen estar sujetos a patentes. Mejorar la recuperación y la reutilización de los productos recuperados debería ser un objetivo clave para que la industria garantizara un suministro seguro de refrigerantes. La investigación de tecnologías basadas en materiales ambientalmente benignos que capturen, separen y reciclen eficientemente los F-gases es esencial para facilitar a los técnicos responsables la transición al nuevo mercado de la Unión Europea.

KET4F-Gas tiene como objetivo la implementación efectiva de tecnologías para separar y reciclar eficientemente los HFC al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado. La separación de los componentes de los refrigerantes de tercera generación presentada en este proyecto supone un proceso de separación respetuoso con el medio ambiente de los F-gases puros, como alternativa a la destilación, que es un proceso que requiere el uso de cantidades considerables de energía. El proyecto KET4F-Gas tiene como objetivo dar un paso adelante en la aplicación efectiva, en el sector industrial de la refrigeración y el aire acondicionado, de los procesos de separación, purificación y captura de una de las familias de GEI que más contribuyen al calentamiento del planeta. La captura y separación de los F-gases de los refrigerantes comerciales es un área todavía poco desarrollada.

El software KET4F-Gas: En el marco del proyecto KET4F-Gas, se desarrolló una herramienta en línea que permite clasificar los residuos según el método europeo e identificar tanto el impacto de los F-gases en el calentamiento global como las mejores soluciones de tratamiento basadas en las TFEs disponibles. En la sección de clasificación de residuos, el usuario puede clasificar un residuo específico por su origen, obteniendo el correspondiente código europeo de residuos de 3 letras. El software KET4F-Gas está disponible en al menos cuatro idiomas diferentes (portugués, inglés, español y francés). El software de KET4F-Gas es sencillo, accesible a todos los usuarios y gratuito. Los beneficios de la plataforma comprenden:

- **Aprendizaje** - La plataforma tiene abundante e interesante información sobre los F-gases.
- **Ayuda en la toma de decisiones** - Hay diferentes gases y diferentes tecnologías de tratamiento. Los usuarios pueden elegir entre dos gases, que tienen mayor o menor impacto y pueden saber de antemano qué tecnologías se pueden aplicar para separar los componentes de las mezclas.
- **Ahorro de tiempo** - Los usuarios pueden encontrar toda la información necesaria en la plataforma digital.
- **Confianza** - La plataforma se actualiza constantemente. Existen contactos habilitados para responder a las preguntas de los usuarios.

El sistema KET4F-Gas se basa en dos prototipos construidos para la recuperación eficiente de HFC de valor añadido (como es el R-32) a partir de mezclas de refrigerantes de alto PCG (R-410A) que se encuentran en equipos al final de su vida útil, con el fin de reutilizarlos en nuevas mezclas de refrigerantes respetuosos con el medio ambiente y de bajo PCG. Estos dos prototipos se basan en dos procesos de separación avanzados -adsorción y tecnología de membranas- que proporcionan altos rendimientos y tienen bajos consumos de energía. Los nuevos sistemas de recuperación de KET4F-Gas para el refrigerante R-410A tienen muchas ventajas, ya que permiten una completa reutilización del F-gas R-32 a bajo coste.

Los principales beneficios se enumeran a continuación.

- **Altos índices de recuperación y pureza:** ambos prototipos presentan altas tasas de recuperación y permiten alcanzar purezas de al menos 98% en peso para el gas R-32.
- **Bajo coste medioambiental:** los nuevos prototipos son tecnologías limpias cuyo análisis del ciclo de vida revela un ahorro de emisiones cuando se comparan con un caso de referencia en el que el R-410A no se recupera.
- **Bajo coste de los materiales:** en ambos casos, las membranas y los adsorbentes tienen precios bajos en el mercado.





La ventaja más importante al utilizar estas tecnologías es la posibilidad de recuperar y reutilizar el gas R-32, teniendo en cuenta la actual normativa europea que prohibirá la fabricación de nuevos HFC con un alto PCG en equipos de refrigeración. Estas tecnologías representan una alternativa a corto plazo durante la transición a los nuevos refrigerantes de menor PCG.

Considerando un horizonte temporal de 10 años, los beneficios en términos de impacto ambiental pueden resumirse en los siguientes datos:

- **Se puede tratar una cantidad aproximada de 3200 kg de R-410A para su separación.**
- **El principal coste ambiental** es en términos de emisiones de CO₂, que son bajas, en un rango de **6 y 8 kg de CO₂ emitido por kg de R-32 recuperado.**
- Considerando que el PCG del R-410A es 2088, el ahorro ambiental de evitar la producción **hace que esta tecnología sea un 60-70% más verde que cualquier alternativa actual.**

Los costes de implementación del sistema KET4F-Gas dependerán del flujo de refrigerante que se deba tratar por día. Sin embargo, en términos generales, el diseño de las unidades de operación no requiere de un equipo costoso, ya que todos los materiales necesarios tienen un bajo coste. **Los costes de inversión están en función de las dimensiones de la unidad para tratar más o menos gas. Los costes de producción son del orden de 32€ por kg de R-32 recuperado.**

¿ Tiene alguna pregunta ? ¡ Póngase en contacto con nosotros !

KET4F-Gas es un proyecto europeo cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Coordinado por la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad NOVA de Lisboa (FCT NOVA), el consorcio cuenta con la participación de otros 13 socios y 6 asociados de Portugal, España, Francia y Emiratos Árabes Unidos.

Página web: <http://www.ket4f-gas.eu>

E-mail: anab@fct.unl.pt; jmmda@fct.unl.pt.

Teléfono: (+351) 212948318

Este Manual de Buenas Prácticas para la Industria y los Gestores de Residuos ha sido desarrollado bajo la coordinación de La Fundación Empresa-Universidad Gallega (FEUGA) y la FCT NOVA.

FCT NOVA, FEUGA, Institut Quimic de Sarrià (IQS), Universidad de Cantabria (UC), Xunta de Galicia, APRIA, EnviEstudios, Universidad de Vigo (UVigo), Universidad Clermont Auvergne (FRE) y FUNDECYT-PCTEX han participado en la elaboración y edición de este manual.

2ª edición. Septiembre 2021

PARCERIA



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



FUNDACIÓN EMPRESA - UNIVERSIDAD GALLEGA



PERSONA CIENCIA EMPRESA

UNIVERSITAT RAMON LLULL



UNIVERSITÉ
DE PAU ET DES
PAYS DE L'ADOUR



UNIVERSIDAD
DE CANTABRIA



APRIA
systems



جامعة خليفة
Khalifa University



mare



FUNDECYT PCTEX



INTERLUN. S.L.



XUNTA
DE GALICIA



FCC ambito



EnviEstudos, S.A.



GESTÃO E RECLPERAÇÃO DE RESÍDUOS, LDA

Universidade de Vigo



European
Recycling
Platform



UNIVERSITÉ
Clermont
Auvergne



Agence De Développement
Economique Du Sud Bordeaux



PORTAL PORTUGUÊS
DA GESTÃO DE RESÍDUOS



associação sistema terrestre sustentável

PARCEIROS ASSOCIADOS

Interreg 
Sudoe
KET4F-Gas