



***SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE
GASES REFRIGERANTES DE
UNIDADES DE AIRE
ACONDICIONADO***

Autor: Ramón Jacob Álvarez Hernández

Tutor: Luis E. Rodríguez Gómez

Grado en Ingeniería

Química Industrial

Curso 2015/16

Agradecimientos

Quisiera expresar un profundo agradecimiento a Ewaste Canarias SL y con la Universidad de La Laguna (ULL) por la realización de este proyecto en convenio y haberme dado la posibilidad de adquirir una experiencia inigualable e inolvidable tanto en el sector industrial como en la gestión de residuos. En particular agradecer al profesor Luis E. Rodríguez tutor académico de este proyecto y al ingeniero José Antonio Cabrera Marichal, tutor externo del mismo, porque en todo momento han ayudado a que este trabajo saliera adelante. También recordar a todos los miembros de la gran familia de Ewaste Canarias SL (donde empecé a estudiar profundamente la contaminación ambiental provocada por los refrigerantes), porque sin la colaboración de todos ellos en este proyecto no hubiera podido finalizarse.

Por último, ya que sin ellos nada sería posible, mis padres, mi hermana, y Belén por estar continuamente apoyándome y dándome todos los recursos para poder estudiar y labrarme un futuro, por la paciencia y comprensión que continuamente han mantenido hacía mí, sobre todo estos últimos años. Sin olvidarme del resto de familia que han sido una tremenda ayuda moral, siempre capaces de convertir malos momentos en ocasiones especiales que nunca olvidaré.

A todos ellos, ¡muchísimas gracias!

ÍNDICE

0. Resumen.....	6
Abstract.....	6
1. Objetivo del trabajo.....	7
2. Antecedentes.....	7
2.1. Introducción.....	7
▪ Perspectiva histórica.	8
▪ Clasificación de los gases refrigerantes.....	12
▪ Uso en aire acondicionado.....	19
▪ Emisión de gases refrigerantes e impacto ambiental.....	22
2.2. Reglamentación y Legislación.....	25
▪ Marco regulatorio europeo.....	25
▪ Marco regulatorio nacional.....	29
▪ Normativa de mayor interés.....	31
2.3. Tratamiento de los gases refrigerantes.....	34
▪ Plantas de tratamiento de RAEE.	34
▪ Alternativas tecnológicas:	35
– Incineración.	36
– Filtro de Carbón Activo (FCA).....	37
– Oxidación Térmica Regenerativa (RTO).....	38
– Conversión a sales.	40
– Tratamiento combinado de CFC y HC.....	41
3. Descripción del proceso de tratamiento de gases de EWASTE CANARIAS SL.....	44
3.1. Extracción de refrigerante.....	44
3.2. Oxidación Térmica Regenerativa.....	44
3.3. Neutralización (sistema Solvair®).....	47
3.4. Filtración.....	48

4. Diseño de sistema de ventilación por extracción localizada.....	49
Generalidades de un sistema de ventilación.....	50
Velocidad de captura y velocidad en conductos.....	50
Características de los contaminantes a eliminar.....	51
4.1. Diseño de cabina para la extracción de contaminantes.....	52
4.2. Diseño y selección de tuberías y accesorios.....	55
i. Presión nominal.....	55
ii. Diámetro nominal.....	56
iii. Selección de tubos normalizados.....	56
iv. Longitud y longitud equivalente.....	57
v. Pérdida de Carga lineal.....	58
vi. Calculo de la densidad y viscosidad dinámica.....	59
vii. Conclusiones.....	61
Listado de tuberías, accesorios y electroválvula.....	62
4.3. Diseño del sistema de separación de aceite y control de la humedad.....	63
Placas deflectoras para la recogida de aceite.....	64
Filtro de aire.....	65
Listado de equipos.....	65
4.4. Diseño del sistema de extracción de aire.....	66
Cálculos.....	67
Selección de equipo.....	70
4.5. Instrumentación y control.....	71
Instrumentos de medida.....	71
Actuadores de frecuencia variable (AFV).....	72
Listado de componentes.....	73
Iluminación y puerta.....	74
5. Glosario de Acrónimos.....	75
6. Bibliografía.....	76

ANEXO I: Presupuesto.....	79
ANEXO II: Planos.....	81
❖ Plano A1: Plano general Ewaste Canarias SL	
❖ Plano A2: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento	
❖ Plano A3: Alzado del sistema cabina-campana	
❖ Plano A4: Planta (Corte a 1.5 metros de altura) del sistema cabina-campana	
❖ Plano A5: Perfil izquierdo del sistema cabina-campana	
❖ Plano A6: Perfil derecho del sistema cabina-campana	
ANEXO III. Balance de materia.....	82
Oxidación térmica.....	84
Neutralización.....	86
Conclusiones.....	88
ANEXO IV. Valorización de las sales obtenidas en el proceso.....	90
Tipos de Valorización.....	90
Legislación sobre Residuos.....	91
Producción de Sales.....	94
▪ Na_2CO_3	94
❖ Manufactura de vidrio.....	94
❖ Tratamiento de aguas.....	95
❖ Producción de jabón y detergente.....	95
▪ NaCl.....	95
❖ Producción de Cl para desenrudecer aguas.....	95
❖ Producción de Cl para desinfectar aguas.....	96
❖ Producción de material higroscópico.....	96
▪ NaF.....	96
❖ Agente Anticaries.....	97
❖ Producción de material dieléctrico.....	97
❖ Reducción de la viscosidad del vidrio.....	98
❖ Enriquecimiento de Uranio.....	98
❖ Reactivo químico en la fabricación de ion F^-	98

Gestión de sales como Residuo.....	98
Deposición en vertederos.....	99
Vertido de sales como Efluente.....	102
Conclusiones.....	102

0. RESUMEN

En este trabajo se ha diseñado un sistema de extracción de gases refrigerantes del tipo (CFC, HCFC y HFC) de equipos y/o unidades de acondicionamiento de aire, tanto fijos como móviles. El sistema contará con una cabina de acumulación-aislamiento, campana para la captación y eliminación de los contaminantes y su línea de conducción hasta la planta de tratamiento de este tipo de gases. También se incluyen los sistemas auxiliares, así como los correspondientes balances, cálculos y demás características y criterios de diseño, de la mencionada instalación, instalada en la empresa Ewaste Canarias SL, ubicada en el Complejo Ambiental de Arico, en la isla de Tenerife, España.

ABSTRACT

In this work, an exhaust ventilation system has been designed for different types of refrigerant equipments (CFC, HCFC and HFC), both fixed and mobile. This system will be built with an insulation room to capture and remove all types of contaminants, a capture hood and pipes to transport contaminants to the treatment plant gas. Auxiliary systems, calculations and other design features have been also included, as well as the know-how of Ewaste Canarias SL, which is located in the Environmental Complex of Arico, on the island of Tenerife, Spain.

1. OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo del trabajo es doble, tanto diseñar el sistema de cabina, campana, ventilador y las conducciones, para la extracción de los gases refrigerantes de los diferentes sistemas de aire acondicionado y realizar un estudio de la valorización de las sales obtenidas en el tratamiento para atender a las posibilidades que puedan presentarse e cara a su utilización.

2. ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCION

En la actualidad el consumo de gases refrigerantes a nivel particular como industrial es elevada, por lo que se hace necesario conocer la situación actual en la que se encuentra el sector con el fin de poder hacer frente a los nuevos cambios a los que obliga la normativa europea, en cuanto al control de la producción y a la reducción paulatina de las emisiones a pesar de que se hace muy difícil la divulgación de la información interna de las diferentes empresas.

El daño medioambiental originado por los CFC (clorofluorocarbonos) en la capa de ozono desde el comienzo de su uso llevó a la aparición de nuevas sustancias refrigerantes, no obstante, se han modificado los problemas ambientales que presentan los nuevos refrigerantes HFC (hidrofluorocarbonos) y HCFC (hidroclorofluorocarbonos). La elevación de la temperatura del planeta se ha convertido en problema medioambiental que se deriva del uso o mal uso de refrigerantes por esto por lo que surge la necesidad de adaptación a los cambios propuestos por la normativa. Provocando una constante búsqueda de nuevas sustancias capaces de sustituir a las prohibidas o sancionadas. Los refrigerantes basados en los CFC han sido sustituidos por los HCFC y estos a su vez por los HFC, que han de ser sustituidos ahora por HFC con potenciales de calentamiento atmosféricos bajos.

Los fluidos que se utilizan en los circuitos de refrigeración de los equipos de aire acondicionado o de frío industrial/comercial son los llamados fluidos refrigerantes. Estos tipos de sustancias actúan como medio de transmisión de calor, absorbiendo el calor del evaporador a baja temperatura y cediéndolo al condensador a alta temperatura.

Desde el punto de vista de la compresión mecánica, se puede definir el refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe al evaporarse, a baja temperatura y presión, hasta donde lo desprende al condensarse a temperatura y presión alta.

En función del rango de presiones y temperaturas a las que ocurre el cambio de estado cualquier sustancia que pase de líquido a vapor o viceversa, puede funcionar como refrigerante, tendrá una aplicación útil comercialmente en base al rango de presión-temperatura que presente.

Los gases fluorados son los compuestos que se suelen utilizar en los ciclos de refrigeración de los equipos, concretamente los clorofluorocarburos (CFC), los hidrofluorocarburos (HFC) y los hidroclorofluorocarburos (HCFC).

▪ PERSPECTIVA HISTÓRICA

De todos estos sistemas de frío desarrollados a lo largo de la historia, el que se ha consolidado en la mayoría de las aplicaciones, y cuyo uso es el más extendido es el *ciclo de compresión mecánica de vapor*. Si bien su fundamento básico es el mismo desde el inicio, la producción de frío mediante la compresión mecánica de vapor ha ido perfeccionando su tecnología para aumentar el rendimiento energético de las instalaciones frigoríficas equipadas con este sistema. Uno de los elementos que ha evolucionado con estas instalaciones es el refrigerante con el que funcionan.

Esquemáticamente, el ciclo básico de compresión mecánica puede representarse de la siguiente manera:

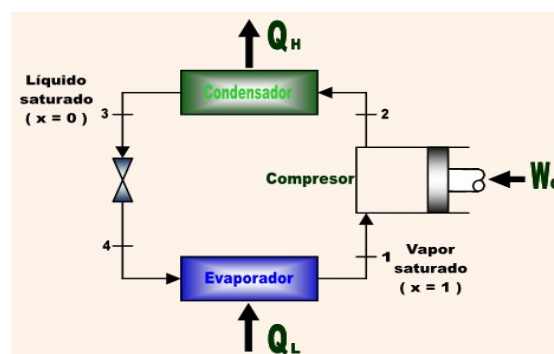


Gráfico – 1. Sistema de compresión mecánica básico en los dispositivos de A/C

Primero el fluido refrigerante es aspirado por el compresor en estado de vapor saturado, posteriormente, sufre una compresión adiabática reversible, es decir isentrópica, hasta llegar a la presión del condensador.

Al comprimir se consigue elevar la temperatura del fluido, con lo que se aprovecha la temperatura ambiente para enfriar el fluido refrigerante, a presión constante, dicha transformación isobara tiene lugar en el condensador. La temperatura va disminuyendo hasta que empieza el cambio de estado, mientras dura este cambio la presión y la temperatura permanecen constantes.

Cuando se ha alcanzado el estado de líquido saturado a continuación, se hace pasar por una válvula de expansión o mediante un tubo capilar, como ocurre en el caso de los frigoríficos, hasta la presión del evaporador, se trata de una transformación isentálpica. Esta expansión provoca una disminución de la temperatura del refrigerante, donde nos encontramos con vapor húmedo con gran proporción de líquido. A continuación, se calienta el refrigerante, a presión constante, aprovechando el calor del medio que se quiere refrigerar, hasta el cambio de estado, que tiene lugar en el evaporador y constituye el efecto útil de refrigeración del ciclo.

Ciclo de compresión mecánica en sistema de A/C

Los compuestos clorofluorocarbonados cumplían perfectamente las exigencias de temperatura y presión que se requería para los procesos de refrigeración. Los sectores que utilizan este tipo de gases son el sector de la refrigeración y el sector del aire acondicionado. En menor medida, se utilizan en la fabricación de aerosoles de uso médico y sistemas de protección contra incendios.

El primer refrigerante que se empleó para este tipo de sistema fue el éter sulfúrico, descartado posteriormente por su alta toxicidad e inflamabilidad. Así, Charles Tellier patentó en 1863 el éter metílico, y tres años más tarde, en 1866, P.J. van der Weyde patentó un fluido frigorífico al que llamó “chemogene”, que era una mezcla de petróleo, nafta y éter. Estos refrigerantes no tuvieron una gran implantación industrial, siendo el amoníaco (NH_3), el dióxido de azufre (SO_2) y el dióxido de carbono (CO_2) los fluidos refrigerantes más aplicados hasta la aparición de los CFC, HCFC y HFC.

El 1872 D. Boyle patentó el primer compresor de amoníaco, y en más tarde después (1876) C. Von Linde fue quien realmente impulsó la utilización del amoníaco como refrigerante con las mejoras tecnológicas realizadas sobre sus compresores,

basadas en estudios científicos propios que fundamentaron la teoría del amoníaco como refrigerante. Thadeus S.C. Lowe en 1866 y Raoul Pictet en 1874, patentaron los primeros compresores de CO₂ y SO₂ respectivamente.

Llegados los inicios del siglo XX, la producción de frío estaba ampliamente extendida en aplicaciones industriales, destacando la fabricación de hielo, las industrias cerveceras, lácteas y cárnicas, el transporte de alimentos y los almacenes frigoríficos. Sin embargo, no se había extendido a mercados como la refrigeración doméstica o los grandes edificios públicos y privados.

La introducción de los motores eléctricos, los sistemas herméticos que reducían significativamente las fugas, el control automático y los compresores centrífugos disminución de los índices de toxicidad e inflamabilidad de los refrigerantes empleados hasta la fecha, salvo el caso del dióxido de carbono, el problema del cual radicaba en las elevadas presiones de trabajo, han ocasionado la introducción de la producción de frío en los mercados actuales.

En 1928 Thomas Midgley fue encargado de la búsqueda de un fluido, destinado a neveras domésticas condensadas por aire, capaz de subsanar los problemas asociados a la toxicidad e inflamabilidad de los fluidos refrigerantes utilizados hasta entonces, desarrollando en 1930 el R-12. Así empezó el desarrollo de los CFC (clorofluorocarburos). En relación con los demás fluidos refrigerantes utilizados en la época, los CFC se consideraban como sustancias inofensivas y extremadamente estables y cuyo desarrollo podía considerarse como un éxito. Más tarde llegarían los fluidos HCFC (hidroclorofluorocarburos) y HFC (hidroflurorocarburos).

En 1974, Rowland y Molina presentan una hipótesis según la cual los clorofluorocarburos (CFC) una vez evacuados a la atmósfera y bajo la acción de los rayos ultravioletas del sol pueden disociarse, desprendiendo así iones de cloro que son capaces de destruir moléculas de ozono (O₃), reduciendo la eficacia de la capa de ozono como filtro de las radiaciones UV de onda corta, con las consecuencias biológicas que ello comporta.

Durante varios años, a partir de finales de la década de 1970, los investigadores que trabajan en la Antártida detectaron una pérdida periódica de ozono en las capas superiores de la atmósfera. Finalmente, estas evidencias llevaron a que, en 1987, varios países firmaran el Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agotan la capa de ozono con el fin de intentar reducir, escalonadamente, la producción de CFC y otras

sustancias químicas que destruyen el ozono. Este Protocolo fue ratificado por un gran número de países y entró en vigor el 1 de enero de 1989, siendo revisado y endurecido con posteriores enmiendas (Londres 1990, Copenhague 1992, Viena 1995, Montreal 1997, Beijín 1999). Como consecuencia de los acuerdos alcanzados, la producción de CFC en los países desarrollados cesó casi por completo en 1996. En los países en vías de desarrollo los CFC se iban a ir retirando progresivamente hasta eliminarse por completo en 2010.

Las enmiendas de 1992 (Copenhague) y 1995 (Viena) han incidido en los HCFC, de los cuales había necesidad de aumentar su empleo para acelerar el cese de los CFC, aprovechándose de su menor efecto potencial de agotamiento de la capa de ozono. Así, su utilización también debe ser reducida progresivamente, al tratarse de una familia de fluidos de transición. La Unión Europea, mediante el Reglamento número 2037/2000 del Parlamento Europeo y del consejo sobre sustancias que agotan la capa de ozono, establece la prohibición del uso de los HCFC para el año 2015. En su apartado c del artículo 5 “Control de la utilización de hidrofluorocarburos” se detallan los hitos para la progresiva reducción de los HCFC.

<i>REFRIGERANTE</i>	<i>FECHA</i>	<i>APLICACION</i>
CFC	<i>01/10/2000</i>	Prohibición venta y uso tanto nuevo como de carga
HCFC	<i>01/01/2001</i>	Prohibición uso en instalaciones o equipos, menos en A/C de tipo bomba de calor o de +100kW
HCFC	<i>01/07/2002</i>	Solo permitido en bombas de calor
HCFC	<i>01/01/2004</i>	Prohibición en bombas de calor
HCFC	<i>01/01/2010</i>	Prohibición uso para mantenimiento y operación salvo que sea producto reciclado o regenerado
HCFC	<i>01/01/2015</i>	Prohibición en todos sus usos

Tabla – 1. Resumen del calendario del Reglamento Europeo del 2000 a 2015.

Ciertos países han adoptado medidas todavía más restrictivas: Suecia prohibió el uso de HCFC en nuevos equipos a partir de enero de 1998, Alemania y Dinamarca a partir del año 2000, Suecia y Austria a partir del año 2002.

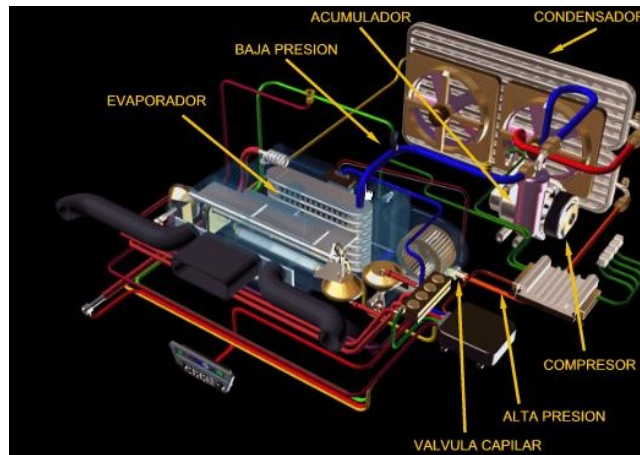


Gráfico – 2. Sistema de compresión mecánica estándar en los dispositivos de A/C

▪ CLASIFICACION DE LOS GASES REFRIGERANTES.

Dentro de los refrigerantes podemos distinguir entre aquellos fluidos refrigerantes formados por un único componente con un único tipo de molécula, que sería un refrigerante puro (para una presión determinada, la temperatura permanece constante durante un cambio de fase), y aquellos formados por más de un componente y/o tipo de molécula, siendo una mezcla de refrigerantes.

Las mezclas poseen más de un componente y/o tipo de molécula. Sus componentes se seleccionan para crear un producto final con unas características específicas, tales como capacidad frigorífica, eficiencia, temperatura de descarga, presión de vapor, etc. que variarán dependiendo del porcentaje de sus componentes.

Las mezclas se pueden clasificar en mezclas azeotrópicas y mezclas zeotrópicas:

- Las mezclas azeotrópicas: son aquellas en las que todos sus componentes tienen puntos de ebullición similares y, por tanto, para una presión y temperatura dada muestran la misma composición tanto en fase líquida como en fase vapor.
- Las mezclas zeotrópicas: Aquellas que presentan un deslizamiento de temperatura, es decir una diferencia en la temperatura de ebullición de los componentes que la forman.

De acuerdo con lo que establece el Artículo 4 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, los refrigerantes se denominarán o expresarán por su fórmula o por su denominación química, o si procede, por su denominación simbólica numérica, no siendo suficiente, en ningún caso, su nombre comercial.

A efectos de lo dispuesto anteriormente, se establece la siguiente nomenclatura simbólica numérica.

- La denominación simbólica numérica de un refrigerante se establecerá a partir de su fórmula química, consistiendo en una expresión numérica en la que:
- La primera cifra de la derecha, en los compuestos que carezcan de bromo, indicará el número de átomos de flúor de la molécula.
- A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de hidrógeno de su molécula más uno.
- A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de carbono de su molécula menos uno. Si resulta cero no se indicará.
- El resto de los enlaces se completarán con átomos de cloro.
- Si la molécula contiene átomos de bromo, se procede según lo indicado anteriormente añadiendo luego a la derecha una B mayúscula, seguida del número de dichos átomos.
- Los derivados cíclicos se expresarán según la regla general, encabezándolos con una C mayúscula a la izquierda del número del refrigerante.
- En los compuestos isómeros, el más simétrico (en pesos atómicos) se indica sin letra alguna a continuación de los números al aumentar la simetría, se colocarán las letras: a, b, c, etc.
- Los compuestos no saturados seguirán las reglas anteriores, anteponiendo el número 1 como cuarta cifra, contada desde la derecha.
- Los azeótropos o mezclas determinadas de refrigerantes se expresarán mediante las denominaciones de sus componentes, intercalando, entre paréntesis, el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. Los azeótropos también pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario.
- Los componentes de identificación de los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se obtienen añadiendo a 700 los pesos moleculares de los compuestos. Así el amoníaco (NH_3) se denomina R-717.
- Cuando dos o más refrigerantes inorgánicos tienen los mismos pesos moleculares se utilizan las letras A, B, C, etc. para distinguirlos entre ellos.

PUROS	<i>NATURALES</i>	AMONIACO (NH ₃), PROPANO (C ₃ H ₈), ISOBUTANO (C ₄ H ₁₀) y DIOXIDO DE CARBONO (CO ₂)
	<i>CFC</i>	R-11, R-12 y R-13
	<i>HCFC</i>	R-22 y R-123
	<i>HFC</i>	R-134a, R-143a y R-125
MEZCLAS	<i>ZEOTRÓPICAS</i>	R-407, R-290, R-800a y [PROPANO(C ₃ H ₈)/ISOBUTANO(C ₄ H ₁₀)]
	<i>AZEOTRÓPICAS</i>	R-502, R-140a, R-404a y R-507

Tabla – 2. Clasificación general de los refrigerantes según su naturaleza.

A efectos de lo dispuesto en el artículo 4 del Reglamento de Seguridad en Instalaciones Frigoríficas, los refrigerantes se clasifican en tres grupos:

- Grupo de alta seguridad (L1): Refrigerantes no inflamables y de acción tóxica ligera o nula.
- Grupo de media seguridad (L2): Refrigerantes de acción tóxica, corrosiva o inflamable o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior a 3,5%.
- Grupo de baja seguridad (L3): Refrigerantes inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen inferior al 3,5%.

Otra clasificación de seguridad de los gases refrigerantes, ampliamente utilizada, es aquella a la que se refiere el estándar americano ANSI/ASHRAE 34-2001 (revisión de ANSI/ASHRAE estándar 34-1997). Esta clasificación hace posible la designación de todos los refrigerantes de forma internacionalmente reconocida.

Este estándar clasifica los refrigerantes en dos grupos, A y B, de acuerdo con su toxicidad:

- Clase A: los refrigerantes del grupo A no son manifiestamente tóxicos en concentraciones inferiores a 400 ppm en volumen.
- Clase B: los refrigerantes del grupo B muestran evidencias de toxicidad en concentraciones inferiores a 400 ppm en volumen.

Y en tres grupos, 1,2 y 3, de acuerdo con su inflamabilidad:

- Grupo 1: No propagan la llama en el aire (1 atm y 18 °C).
- Grupo 2: Límite inferior de inflamabilidad $> 0,10 \text{ kg/m}^3$ (1 atm y 21 °C) y calor de combustión $< 19.000 \text{ kJ/kg}$.
- Grupo 3: Límite inferior de inflamabilidad $< 0,10 \text{ kg/m}^3$ (1 atm y 21 °C) y calor de combustión $> 19.000 \text{ kJ/kg}$.

Así, los refrigerantes se clasifican en seis grupos de seguridad en función de la toxicidad y la inflamabilidad (A1, A2, A3, B1, B2 y B3):

	<i>Baja Toxicidad</i>	<i>Alta toxicidad</i>
<i>Alta inflamabilidad</i>	<i>A3</i>	<i>B3</i>
<i>Baja inflamabilidad</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>
<i>No propagación de la llama</i>	<i>A1</i>	<i>B1</i>

Tabla-3. Clasificación de seguridad de algunos refrigerantes según ANSI/ASHRAE Standard 34-2001.

<i>SERIE</i>	<i>COMPUESTO</i>
<i>000</i>	<i>Basados en el metano CH₄</i>
<i>100</i>	<i>Basados en el etano CH₃CH₃</i>
<i>200</i>	<i>Basados en el propano CH₃CH₂CH₃</i>
<i>300</i>	<i>Molécula orgánica con estructura cíclica</i>
<i>400</i>	<i>Fluidos ZEOTROPICOS</i>
<i>500</i>	<i>Fluidos AZEOTROPICOS</i>
<i>600</i>	<i>Molécula orgánica no incluidas en las demás series</i>
<i>700</i>	<i>INORGANICOS</i>
<i>1000</i>	<i>Molécula orgánica INSATURADOS</i>

Tabla - 4. Clasificación de los refrigerantes según su numeración

<i>REFERENCIA</i>	<i>NOMBRE COMPLETO</i>	<i>MOLECULA</i>	<i>CODIGO SEGURIDAD</i>
FLUIDOS NATURALES			
R717	<i>Amoniaco</i>	NH ₃	B2
R718	<i>Agua</i>	H ₂ O	A1
R744	<i>Anhídrido carbónico</i>	CO ₂	A1
R170	<i>Etano</i>	CH ₃ CH ₃	A3
R290	<i>Propano</i>	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3
R600a	<i>Isobutano</i>	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	A3
CFC			
R11	<i>Tricloro fluorometano</i>	CCl ₃ F	A1
R12	<i>Dicloro difluorometano</i>	CClF ₂	A1
R502	-	<i>R22/R115</i> (48,8%/51,2%)	A1
HCFC			
R22	<i>Cloro difluorometano</i>	CHClF ₂	A1
R123	<i>2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano</i>	CHCl ₂ CF ₃	B1
R142b	<i>1-Cloro-1,1-difluoroetano</i>	H ₃ CClF ₂	A2
R143a	<i>1,1,1-trifluoroetano</i>	CH ₃ CF ₃	A2
HFC			
R23	<i>Trifluorometano</i>	CHF ₃	A1
R125	<i>Pentafluoroetano</i>	CHF ₂ CF ₃	A1
R134a	<i>1,1,1,2-tetrafluoroetano</i>	CH ₂ FCF ₃	A1
R507A	-	<i>R125-R143a</i> (50%/50%)	A1
R404A	-	<i>R125-R143a</i> <i>-R134a</i> (44%/52%/4%)	A1
R407C	-	<i>R32-R125-R134a</i> (23%/25%/52%)	A1
R410A	-	<i>R32/R125</i> (50%/50%)	A1

Tabla – 5. Listado de los principales refrigerantes.

Las mezclas zeotrópicas pueden, bajo ciertas condiciones, separarse en sus constituyentes primarios. Esta separación indeseable puede provocar cambios en la inflamabilidad o toxicidad. Por tanto, las mezclas zeotrópicas se clasifican usando el grupo de seguridad correspondiente al peor de los casos cuando se separan sus componentes. Por ejemplo, el R-407C se clasifica como A1.

Los compuestos conocidos generalmente como hidrocarburos halogenados, resultan de sustituir en las moléculas de los hidrocarburos los átomos de hidrógeno por

átomos de flúor y cloro. Resulta cómoda la subdivisión siguiente que ha pasado a formar parte del lenguaje frigorífico:

- CFC: compuestos en los que el cloro y el flúor ha sustituido a todos los átomos de hidrógeno (derivados totalmente halogenados).
- HCFC: compuestos en los que queda algún átomo de hidrógeno en la molécula.
- HFC: Compuestos en los que los átomos de cloro han sido sustituidos por flúor, no apareciendo el cloro en la molécula.

Han sido fundamentalmente tres, las propiedades que se han tenido en cuenta a la hora de seleccionar un CFC para un determinado uso en refrigeración:

- *La temperatura de ebullición normal.*
- *La inflamabilidad.*
- *La toxicidad.*

Si se estudia la temperatura de ebullición normal de estas sustancias, se observa claramente una tendencia a que dicha temperatura aumenta conforme aumenta la proporción de cloro en la molécula. Ésta es una tendencia general entre las sustancias con el mismo tipo de enlaces químicos; la volatilidad disminuye al aumentar la masa molecular. Si se analiza la inflamabilidad, se comprueba que ésta se acentúa al aumentar la masa molecular. De forma bastante exacta, se puede afirmar que son inflamables los compuestos con dos o más átomos de hidrógeno en su composición. En cuanto a la toxicidad, otra de las características importantes que se ha de considerar. Se cumple con la bastante aproximación que son o más o menos tóxicos todos los compuestos que no integran al menos dos átomos de flúor en sus moléculas.

Refrigerante R-12.

Probablemente, este refrigerante ha sido el más utilizado en aplicaciones domésticas hasta 1989. Es un fluido de media presión, líquido. Incoloro con ligero olor a éter. Es un refrigerante de alta seguridad, no tóxico, no inflamable, ni explosivo. Sin embargo, en contacto con una llama abierta o con un elemento de calefacción eléctrica, el R-12 se descompone en productos altamente tóxicos.

Al ser un refrigerante que condensa a una presión moderada y con una temperatura de ebullición de $-29,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la presión atmosférica, resulta un refrigerante muy apropiado para aplicaciones de alta, media y baja temperatura. Puede ser utilizado

con todo tipo de compresores: herméticos y abiertos; de pistón, rotativos, de tornillo y centrífugos.

Refrigerante R22.

Es un fluido de alta presión, (punto de ebullición: $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), líquido, incoloro con ligero olor a éter. Es un refrigerante de alta seguridad, no tóxico, no inflamable, descomponiéndose en productos tóxicos en contacto con la llama.

Su principal ventaja frente al R-12 es su mayor producción frigorífica por unidad de volumen, utilizándose en instalaciones agroindustriales y de aire acondicionado, debido a que el volumen de refrigerante es menor, reduciéndose el tamaño de las instalaciones y la sección de las conducciones. Se utiliza en compresores de pistón, de tornillo y centrífugos.

Refrigerante R502.

El R-502 es una mezcla azeotrópica del R-22 (48,8%) y R-115 (51,2%). Es un refrigerante de alta presión, (punto de ebullición $-45,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), líquido, inodoro y de baja miscibilidad con el aceite. Es un refrigerante de alta seguridad, no tóxico y no inflamable.

Posee una producción frigorífica por unidad de volumen excelente, con menor temperatura de descarga del compresor que el R-22. Sin embargo, tanto el desplazamiento del compresor como la capacidad del refrigerante son algo menores para el R-502, así como las presiones de operación, aunque éstas últimas permanecen en un rango moderado.

El R-502 ha sido ampliamente usado en instalaciones de almacenamiento congelado donde era una alternativa al amoníaco. Se emplea en aplicaciones de aire acondicionado y, sobre todo, en bombas de calor. Se utiliza con compresores de pistón.

▪ **USO EN AIRE ACONDICIONADO:**

Las aplicaciones, equipos y productos comprendidos en el sector del aire acondicionado y la calefacción de uso residencial y comercial pueden clasificarse tres grupos:

- ❖ Acondicionadores de aire fijos (*tanto los equipos de enfriamiento del aire como las bombas de calor que lo calientan directamente*).
- ❖ Enfriadores.
- ❖ Equipos de calefacción mediante bombeo de agua caliente.

Los acondicionadores de aire fijos corresponden generalmente a seis categorías claramente diferenciadas:

- Los instalados en ventanas y a través de la pared.
- Los de uso residencial y comercial con componentes separados (“Split”) y sin tubos.
- Los módulos únicos sin tubos.
- Los que usan agua sin tubos.
- Los de uso residencial con tubos, ya sea con componentes separados (“Split”) o de módulo único.
- Los de uso comercial con tubos, ya sea con componentes separados (“Split”) o de módulo único. Los enfriadores de agua acoplados a sistemas de manejo y distribución de aire se utilizan habitualmente para climatizar grandes locales comerciales. Los sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente se fabrican utilizando distintas fuentes de calor: el aire, el agua de lagos y ríos, y el suelo.

Los refrigerantes que se usaban anteriormente son:

- R-22 en acondicionadores de aire unitarios.
- R-22 y R-502 en sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente.
- R-11, R-12, R-22 y R-500 en enfriadores de agua centrífugos.
- R-22 y R-12 (en menor medida) en enfriadores de agua por desplazamiento positivo.

❖ Acondicionadores de aire fijos:

La amplia mayoría de los acondicionadores de aire fijos (y las bombas de calor que calientan directamente el aire) usan la tecnología de ciclos de compresión de vapor con el refrigerante R-22. Casi todos los acondicionadores de aire frío fabricados con anterioridad al año 2000 funcionan utilizando este fluido como refrigerante. En algunos países este refrigerante ha comenzado a eliminarse gradualmente antes de los plazos establecidos por el Protocolo de Montreal. Los refrigerantes que se están utilizando para reemplazar al R-22 son los mismos en todas las categorías de equipos fijos de aire acondicionado: el R-134a, mezclas de HFC e hidrocarburos. También se está considerando la posibilidad de usar el CO₂ en esta aplicación. Actualmente se usan mezclas de HFC en la gran mayoría de los sistemas que no utilizan SAO, mientras que en un pequeño porcentaje de sistemas de carga reducida se usan hidrocarburos.

❖ Enfriadores de agua:

Los enfriadores con compresores de tornillo, espiral y pistón generalmente usan R-22. Algunos de los enfriadores de pistón más pequeños (de menos de 100 kW) se ofrecían con el refrigerante R-12. En Estados Unidos, Asia y Europa se fabrican enfriadores centrífugos. Con anterioridad a 1993, estos enfriadores se fabricaban con R-11, R-12, R-500 y R-22 como refrigerantes. Los HFC y las mezclas de HFC (en particular el R-407C y el R-410A) están comenzando a reemplazar al R-22 en las ventas de las nuevas unidades enfriadoras por desplazamiento positivo. Se han diseñado enfriadores de tornillo por enfriamiento de agua de mayor potencia (algunos de más de 350 kW) que usan R-134a en lugar de R-22. En Europa se usa amoníaco en algunos enfriadores y todos los años se fabrican unos pocos enfriadores de pequeñas dimensiones que usan hidrocarburos como refrigerantes. El R-123 y el R-134a han reemplazado al R-11 y al R-12 en los enfriadores centrífugos fabricados a partir de 1993.

❖ Sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente:

Anteriormente, los refrigerantes de uso más común en las bombas por compresión de vapor eran el R-502 y el R-22. En los países desarrollados, el R-22 continúa siendo el refrigerante de uso más común, pero actualmente se están incorporando otras opciones en sustitución de los HFC. En los países en desarrollo también se sigue usando el R-12, aunque en forma limitada. Dos opciones posibles para sustituir a los HFC en los pequeños sistemas de calefacción residencial y comercial son los hidrocarburos y el CO₂.

DEPÓSITOS DE REFRIGERANTES EN EL SECTOR DEL A/C

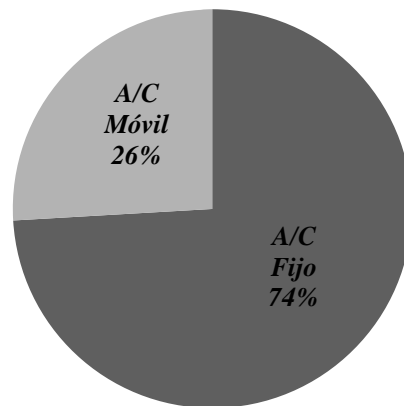


Gráfico-3. Porcentajes de gases refrigerantes en depósitos contenidos en sistemas de aire acondicionado por sectores.

Fuente: La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) por invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Montreal.

Los depósitos de refrigerantes contenidos en aparatos de aire acondicionado supera claramente el uso para la climatización fija, sobre el uso de la climatización móvil, esto se debe a que la cantidad de refrigerantes que contiene una instalación fija es mayor que la cantidad de refrigerantes que contiene un equipo de aire acondicionado móvil.

- EMISIONES DE GASES REFRIGERANTES Y SUS EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE.

Los gases refrigerantes que agotan la capa de ozono (a partir de ahora; SAO) han sido sustituidos por otras sustancias muy similares que actualmente se utilizan en una amplia gama tanto de productos y como de procesos industriales. Muchas de estas sustancias, (o subproductos liberados durante su fabricación y/o utilización), son gases de efecto invernadero (GEI) cuyas emisiones también contribuirán a la destrucción del medio ambiente.

Las emisiones directas de SAO y/o GEI pueden producirse durante la fabricación de estas sustancias, durante su uso como productos y/o en los propios procesos industriales, y si al término de la vida útil de esos productos no son debidamente gestionados, acabaran emitiéndose al medioambiente.

Los perfiles actuales de las emisiones de SAO y sus sustitutos que están relacionados con los diferentes tipos de equipos de aire acondicionado que se encuentran tanto a nivel comercial como a nivel industrial y cuyo resultado ha sido una contribución relativamente alta tanto a nivel actual como en los próximos 20 años, de los CFC y los HCFC almacenados en equipos.

A menos que se recuperen o destruyan. El tiempo de renovación de los depósitos varía considerablemente de una aplicación a otra: desde meses (como en el caso de los equipos domésticos) a varios años (en las aplicaciones de refrigeración). A menos que se adopten nuevas medidas de gestión, la acumulación de estas sustancias en aplicaciones (relativamente) nuevas de los HFC determinarán en gran medida las emisiones futuras.

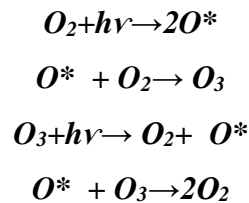
Según el documento La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial realizado por Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) por invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo.

A nivel mundial la refrigeración comercial es el subsector de la refrigeración que produce la mayor cantidad de emisiones de refrigerantes, calculadas en términos de CO₂ equivalente, aproximadamente representa el 40% de las emisiones totales de refrigerantes (*de los sectores de la refrigeración y los sistemas fijos y móviles de aire acondicionado*). Los niveles de emisión son generalmente muy altos, especialmente en

el caso de los acondicionamientos de espacios que poseen equipos de grandes dimensiones.

Años después del auge de los gases refrigerantes basados en compuestos clorofluorocarbonados (CFC) se fue descubriendo que estos compuestos eran perjudiciales para la capa de ozono debido a la presencia de cloro en su estructura molecular, esto conlleva que el cloro actúa como catalizador en la destrucción de las moléculas de ozono.

Los niveles de ozono en la atmósfera se regulan mediante una serie de reacciones químicas llamadas reacciones de Chapman mediante las cual se establece un equilibrio entre la formación y la destrucción del ozono en las capas más altas de la atmósfera. Las reacciones que tienen lugar son:



En las capas altas de la atmósfera (por encima de los 80 km), los fotones de alta energía (representado como $h\nu$), disocian a las moléculas de oxígeno molecular (O_2), por lo que sólo es posible encontrar oxígeno monoatómico (O), como queda expresado en la primera reacción. A alturas menores, comprendidas entre 15 y 40 km (ozonósfera), se observan, además, las otras tres reacciones.

Las concentraciones más comunes de ozono en la atmósfera oscilan entre los 0,03 y los 0,08 ppm, alcanzando este valor máximo a los 25 km de altitud. La unidad utilizada para la medida de los niveles de ozono en la atmósfera no son las partes por millón (ppm) se suelen utilizar las Unidades Dobson (DU) que se definen como la cantidad equivalente a $2,7 \times 10^{20}$ moléculas de ozono por cada metro cuadrado. El valor típico en la superficie terrestre es de 300 DU.

La disminución global de ozono ocurre cuando el equilibrio entre el balance natural de la producción y la destrucción de ozono estratosférico se desplaza a favor de la destrucción. Las observaciones de la destrucción del ozono antártico "agujero en la capa de ozono" y registros atmosféricos que indican disminuciones estacionales en niveles globales de ozono dan muestra del progresivo deterioro de la capa de ozono a

nivel global. Aunque los fenómenos naturales asociados a factores meteorológicos pueden causar disminuciones temporales de ozono, actualmente se conoce que el cloro y el bromo emitidos a la atmósfera formando moléculas estables como los CFC, los halones, el tetracloruro de carbono o el bromuro de metilo son la causa principal de esta disminución drástica. Se estima que las *emisiones de CFC dan razón al 80% de reducción del ozono* total en la estratosfera.

Tras la firma, por parte de los países, del Protocolo de Montreal los fabricantes comenzaron la búsqueda de nuevos refrigerantes para sustituir a los antiguos CFC, produciendo nuevos refrigerantes menos o nada agresivos con la capa de ozono. Entre estos nuevos refrigerantes están los HCFC (hidroclorofluorocarburos) y los HFC (hidrofluorocarburos).

Los HCFC son derivados de los CFC menos estables y capaces de degradarse antes (tienen una vida de 2 a 25 años mientras que la de los CFC es de 100 años y a menor altura que los CFC).

Los HFC, *son compuestos sin cloro*, por lo que no destruyen la capa de ozono, pero contribuyen al efecto invernadero de forma muy considerable atendiendo al concepto de potencial de calentamiento atmosférico.

Según la Ley 16/2013 el potencial de calentamiento atmosférico es el potencial de calentamiento climático de un gas fluorado de efecto invernadero en relación con el del dióxido de carbono sobre un periodo de 100 años.

El efecto invernadero es el fenómeno que se produce cuando ciertos gases atrapan la radiación solar (tramo radiación infrarroja), que se convierte en calor al contactar con la tierra y no permite que sea remitida hacia el espacio. A los gases que producen este efecto se les llama gases de efecto invernadero. Si estos gases se encuentran en gran cantidad en la estratosfera se producirá un aumento de la temperatura media del planeta.

2.2. REGLAMENTACION Y LEGISLACION

▪ MARCO REGULATORIO EUROPEO

La normativa comunitaria que se le aplica a este tipo de gases y a los aparatos o sistemas que los contienen es la que se detallan a continuación.

- Decisión *94/3/CE* de la Comisión, de 20 de diciembre de 1993, por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva *75/442/CEE* del Consejo relativa a los residuos.
- Decisión *2000/532/CE* de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión *94/3/CE* por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva *75/442/CEE* del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión *94/904/CE* del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva *91/689/CEE* del Consejo relativa a los residuos peligrosos.
- Reglamento *(CE) n° 2150/2002* de 25 de noviembre de 2002 relativo a las estadísticas sobre residuos.
- Directiva *2002/95/CE*, de 27 de enero de 2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva *2002/96/CE*, de 27 de enero de 2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Directiva *2006/40/CE*, de 17 de mayo de 2006 del Parlamento Europeo y del consejo relativa a las emisiones procedentes de sistemas de aire acondicionado en vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva *70/156/CEE* del Consejo.
- Reglamento *(CE) n° 1494/2007* de 17 de diciembre de 2007 por el que se establecen, de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo, la forma de etiquetado y los requisitos adicionales de etiquetado de los productos y aparatos que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento *(CE) n° 1497/2007* de 18 de diciembre de 2007 por el que se establecen, de conformidad con el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento

Europeo y del Consejo, requisitos de control de fugas estándar para los sistemas fijos de protección contra incendios que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.

- Reglamento *(CE) n° 1516/2007* de la comisión de 19 de diciembre de 2007 por el que se establecen, de conformidad con el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo, requisitos de control de fugas estándar para los equipos fijos de refrigeración, aires acondicionado y bombas de calor que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento *(CE) n° 303/2008* de la Comisión de 2 de abril de 2008, por el que se establecen, de conformidad con el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento los requisitos mínimos y las condiciones de reconocimiento mutuo de la certificación de empresas y personal en lo que se refiere a los equipos fijos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento *(CE) n° 304/2008* de la comisión de 2 de abril de 2008 por el que se establecen, de conformidad con el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo, los requisitos mínimos y las condiciones del reconocimiento mutuo de la certificación de las empresas y el personal en lo relativo a los sistemas fijos de protección contra incendios y los extintores que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Reglamento *(CE) n° 305/2008* de 2 de abril de 2008 por el que se establecen, de conformidad con el Reglamento *(CE) n° 842/2006* del Parlamento Europeo y del Consejo, los requisitos mínimos y las condiciones del reconocimiento mutuo de la certificación del personal que recupere determinados gases fluorados de efecto invernadero de los equipos de conmutación de alta tensión.
- Reglamento *(CE) 307/2008*, derivado del anterior y por el que se establecen los requisitos mínimos y las condiciones de reconocimiento mutuo de los certificados de formación del personal en lo que respecta a los sistemas de aire acondicionado de ciertos vehículos de motor que contengan determinados gases fluorados de efecto invernadero.
- Directiva *2008/98/CE*, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

- Reglamento (CE) n° 1005/2009, de 16 de septiembre de 2009, del Parlamento y del Consejo, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- Reglamento 744/2010 (CE) de 18 de agosto de 2010 de 18 de agosto de 2010 que modifica, por lo que respecta a los usos críticos de los halones, el Reglamento (CE) n° 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- Reglamento 182/2011 (CE) de 16 de febrero de 2011 por el que se establecen las normas y los principios generales relativos a las modalidades de control por parte de los Estados miembros del ejercicio de las competencias de ejecución por la Comisión.

La normativa europea se basa en varios reglamentos referentes a la prohibición de utilizar hidrofluorocarburos con altos potenciales de calentamiento atmosférico (PCA). Esta normativa aborda el problema medioambiental que generan estos gases desde dos puntos de vista, mediante la Directiva MAC, *Directiva europea 2006/40 CE* (que prohíbe el uso de gases fluorados de efecto invernadero con potenciales de calentamiento atmosférico superiores a 150 a partir de 2011, en los sistemas móviles de aire acondicionado utilizados en los vehículos de motor en todos los automóviles nuevos y camionetas producidos a partir de 2017), y mediante la Regulación de los Gases fluorados de efecto invernadero (F-Gases) que regula las demás aplicaciones que tienen los gases fluorados.

El Reglamento número 842/2006 de gases fluorados sigue las siguientes vías de actuación:

- La mejora de la prevención de fugas de los aparatos que contengan gases fluorados:
- La contención de los gases.
- La recuperación adecuada de los equipos.
- La formación y certificación del personal y de las empresas que manejan estos gases.
- Etiquetado de los aparatos que contengan gases fluorados.
- Informe sobre las importaciones, las exportaciones y la producción de los gases fluorados.
- Evitar los gases fluorados en algunas aplicaciones donde las alternativas ambientalmente superiores sean rentables. Las medidas incluyen:

- Restricciones a la comercialización.
- Uso de determinados productos.
- Aparatos que contengan gases fluorados.

Tanto la Directiva de MAC como el Reglamento sobre gases fluorados se adoptaron en 2006.

Conforme a los Reglamentos número *CE 1005/2009* y *CE 842/2006* se han establecido unos plazos para la desaparición de los clorofluorocarburos y los hidroclofluorocarburos. Un breve esquema de estos plazos es el que se muestra a continuación:

AÑO	ACONTECIMIENTO RELEVANTE
1987-1989	Acuerdo y firma del Protocolo de Montreal.
1989-1995	Reducción de la producción de CFC.
1995	Prohibición de la fabricación de CFC.
1995-2000	Reemplazo de CFC por HCFC o HFC.
2000-2005	Reemplazo de HCFC por HFC. Reducción de la producción de HCFC.
2005-2010	Reemplazo de HCFC por HFC. Reducción de la producción de HCFC.
2010	Prohibición de la fabricación de HCFC.
2010-2015	Reemplazo de los HFC con alto PCA por HFC con bajos PCA.
2015	Prohibición del uso de HCFC.

Tabla – 6. Plazos establecidos por la normativa para la regulación de las sustancias perjudiciales para la capa de ozono.

Estas prohibiciones no sólo afectan a los compuestos puros sino también los preparados en los que intervengan, lo que significa que en 2015 todos los refrigerantes que se empleen en la fabricación de equipos nuevos, han de ser HFC, y poco a poco habrá que ir sustituyendo en los equipos existentes, cuando requieran recarga, los refrigerantes antiguos por refrigerantes que no agoten la capa de ozono ni favorezcan el calentamiento global.

▪ MARCO REGULATORIO NACIONAL

La normativa en España que se aplica es la siguiente:

- Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988.
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.
- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, de aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.
- Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley de libre acceso a actividades de servicios y su ejercicio.
- Real Decreto 795/2010, de 16 de junio, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan.
- Real Decreto 100/2011 de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Ley 22/2011, de 29 de julio de 2011 de residuos y suelos contaminados.
- Ley 16/2013, de 29 de octubre, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras
- Real Decreto 1042/2013, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero, y por el que se modifican el Reglamento del Procedimiento para el ejercicio de la potestad sancionadora, aprobado por el Real Decreto 1398/1993, de 4 de agosto, el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades, aprobado por el Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio.

- Resolución de 30 de septiembre de 2013, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se amplía la relación de refrigerantes autorizados por el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas.
 - Resolución de 28 de enero de 2014, del Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales de la Agencia Estatal de Administración Tributaria, por la que se aprueba el modelo de tarjeta de inscripción en el registro territorial del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero.
 - Resolución de 11 de marzo de 2014, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se amplía y modifica la relación de refrigerantes autorizados por el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas.
- Normativa de mayor interés:
 - ❖ *Ley 16/2013*
 - ❖ *Real Decreto 1042/2013*

El objeto fundamental de este catálogo de normativas, leyes, reales decretos y demás; es evitar, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto. Siendo aplicable a las instalaciones de titularidad pública o privada en las que se desarrolle algún tipo de actividad industrial, con excepción de las instalaciones o partes de las mismas utilizadas para la investigación, desarrollo y experimentación de nuevos productos y procesos.

❖ *Ley 16/2013:*

La importancia de esta ley se debe a que establece una serie de determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras. Esta ley aprueba la entrada en vigor del impuesto sobre los gases fluorados de efecto invernadero. Considera gases fluorados de efecto invernadero a los hidrofluorocarburos (HFC), a los perfluorocarburos (PFC) y al hexafluoruro de azufre (SF₆).

El Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero (IGFEI) es un tributo de naturaleza indirecta que recae sobre el consumo de aquellos productos comprendidos en su ámbito objetivo y grava, en fase única, el consumo de estos productos atendiendo al potencial de calentamiento atmosférico.

❖ Real Decreto 1042/2013; (Aprobación del Reglamento sobre el Impuesto a los Gases Fluorados de Efecto Invernadero).

Este Real Decreto establece las disposiciones necesarias para regular la *Ley 16/2013*, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras.

En su Artículo 1. *Conceptos y definiciones* establece una serie de definiciones:

- Consumidor final: La persona o entidad que adquiera los gases fluorados de efecto invernadero con el impuesto repercutido para su incorporación en productos o para uso final en sus instalaciones, equipos o aparatos, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados, así como la certificación de los profesionales que los utilizan.
- Dstrucción: Operación de eliminación contenida en la *Ley 22/2011*, de residuos y suelos contaminados.
- Gestor de residuos: La persona o entidad que realice cualquiera de las operaciones de destrucción o regeneración de gases fluorados de efecto invernadero debidamente registrada en el Registro de producción como se determina en la *Ley 22/2011*. Asimismo, tendrá dicha consideración la persona o entidad inscrita en el registro territorial que realice operaciones de reciclado de gases fluorados de efecto invernadero que sean equivalentes a las operaciones de reutilización a las que hace referencia la *Ley 22/2011*, de residuos y suelos contaminados.
- Oficina gestora: La unidad de la Agencia Estatal de Administración Tributaria, en la esfera territorial, competente en materia de gestión del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero.
- Revendedores: Las personas o entidades que adquieran los gases fluorados de efecto invernadero para ser entregados a otra persona o entidad para su posterior comercialización o a un consumidor final, incluidas las que los utilicen o envíen fuera del ámbito territorial de aplicación del Impuesto.

En el Capítulo II. *Obligaciones formales* establece una serie de obligaciones formales entre las cuales se encuentran:

Los fabricantes, importadores, adquirentes intracomunitarios, revendedores, gestores de residuos, así como los posibles beneficiarios de las mismas estarán obligados, a inscribirse en el registro territorial de la oficina gestora en cuya demarcación se instale el establecimiento donde radique su domicilio fiscal.

Las personas o entidades que estén obligadas a inscribirse en el registro territorial deberán figurar de alta en el Censo de Empresarios, Profesionales y Retenedores en el epígrafe correspondiente a la actividad a desarrollar y presentarán ante la oficina gestora que corresponda una solicitud correspondiente. La documentación acreditativa de su capacitación con relación a los productos objeto de este Impuesto, conforme a lo establecido en el *Real Decreto 795/2010* y demás normativa sectorial que proceda.

La oficina gestora procederá a la inscripción en el registro territorial. En caso de incumplimiento de las normas, limitaciones y condiciones establecidas en el artículo 5 de la *Ley 16/2013*, y en este Reglamento la oficina gestora acordará la baja de la correspondiente inscripción en el registro territorial. Cualquier modificación en los datos consignados en la solicitud o que figuren en la documentación aportada deberá ser comunicada a la oficina gestora.

La oficina gestora entregará al interesado una tarjeta acreditativa de la inscripción en el registro, en la que constará el «*Código de Actividad de los Gases Fluorados*» (CAF) que deberá consignarse en las autoliquidaciones y declaraciones recapitulativas de operaciones con gases fluorados presentadas, así como en las facturas en las que se documenten dichas operaciones. Cuando en un mismo establecimiento se ejerzan distintas actividades, aquel tendrá asignados tantos códigos como actividades se desarrollen en el mismo. Incluso cuando una persona o entidad ejerza una misma actividad en varios establecimientos, tendrá tantos códigos como establecimientos en los que desempeñe la actividad.

Demás artículos a destacar:

- En el Artículo 4 Registro de existencias.
- En el Artículo 5. Declaración recapitulativa de operaciones con gases fluorados de efecto invernadero.
- En el Artículo 6. Obligaciones de los consumidores finales.

- El Artículo 7. Obligaciones de los gestores de residuos.
- En el Artículo 20. Devolución a los consumidores finales que hayan soportado el Impuesto y hubiesen tenido derecho a la aplicación de las exenciones previstas en el artículo 5 de la *Ley 16/2013*.

2.3. TRATAMIENTO DE LOS GASES REFRIGERANTES

▪ PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RAEE

Las plantas de tratamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) cumplen un importante papel en la gestión más adecuada de los gases refrigerantes que contienen los aparatos y diferentes sistemas y que a su vez deben ser adecuadamente gestionados una vez estos llegan al fin de su vida útil.

Como ya se ha ido mencionando a lo largo de este trabajo, la gestión de los RAEE debe realizarse siguiendo una serie de actuaciones correctas. Deben conseguirse extraer el gas refrigerante contenido en los equipos, y además esta operación debe realizarse de la forma más correcta posible. Posteriormente a la extracción los dichos gases, éstos han de ser correctamente tratados, como en el caso de plantas como Ewaste Canarias SL la cual posee un emplazamiento para su tratamiento cuyo proceso de conversión ya ha sido/será explicado, o adecuadamente gestionados en el caso de que los gestores de RAEE que decidan enviar el gas a las plantas situadas fuera del territorio nacional (*únicamente pueden ser enviadas fuera de España debido a que no existe ninguna planta que los trate en nuestro país*).

Las plantas de tratamiento de RAEE que no tengan integrado un sistema de tratamiento de gases refrigerantes, recibirán botellas con refrigerantes extraídos de los equipos, cuyos propietarios requieran una certificación aplicación de un tratamiento con las garantías que dicho gas ha sido enviado una planta adecuada para su reciclado, regeneración o su destrucción, para la deducción correspondiente que contempla la Ley 16/2013.

En el caso de plantas que posean integrado el sistema de tratamiento de los gases, este certificado podrá ser entregado en el acto, sin necesidad de intermediarios.

Los gases que más llegan a las plantas de tratamiento de RAEE son R-11, R-12, R-22, R134a, R-600a y Ciclo-pentano (C₅H₁₀).

Hay posiciones enfrentadas debido a la Ley 13/2013 acerca de si podrá o no conseguir mitigar las emisiones de gases refrigerantes, aunque otras en cambio

consideran que la entrada en vigor de la normativa sobre el impuesto de los gases fluorados no supondrá una reducción en las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero. Debido a las malas prácticas que seguirán realizándose en el sector, además del elevado coste que supondrá el impuesto y por el inadecuado tratamiento que recibirán los equipos que contienen este tipo de gases tras el fin de su vida útil. Creen, además, que estas situaciones no van a cambiar porque los instaladores paguen más por el gas. Además, consideran que cualquier impuesto que se aplique en este sector, acabará siendo trasladado al consumidor final y no conseguirá reducción alguna de las emisiones de gases refrigerantes.

Según la opinión de la mayoría de las plantas de tratamiento de RAEE, no se han venido tratando los gases refrigerantes debido una combinación de los altos costes de los procesos tratamiento, al desconocimiento por parte del personal acerca de los daños medioambientales que ocasionan y a que no existiera, hasta hoy ninguna ley que gravara sobre su consumo.

Mediante la consulta a diferentes plantas de tratamiento de RAEE, se ha podido comprobar que las plantas de tratamiento de residuos de aparatos eléctricos que extraen los gases refrigerantes de los equipos que los contienen, envían los gases a plantas existentes en países europeos para su destrucción por lo que actualmente los gases refrigerantes extraídos de los equipos no se someten a ningún proceso distinto al de la destrucción.

▪ ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Para impedir que se produzcan emisiones de gases refrigerantes perjudiciales para el medio ambiente, en las operaciones de tratamiento de los AEE cuando llegan al fin de su uso, se les debe dar un tratamiento que garantice su reciclado, regeneración, valorización y/o destrucción.

Los gases refrigerantes son recogidos por los gestores de residuos autorizados y enviados a plantas donde se produce el tratamiento de dichos gases refrigerantes, para lo cual, en ocasiones, se han aprovechado instalaciones ya existentes de incineración para utilizarlas con el fin de incinerar los residuos de gases refrigerantes o a plantas donde se transformen o se reutilicen energéticamente

Se presentan problemas logísticos al transportar estos gases hasta al destino donde se tratarán ya que es necesario licuarlos, con el aumento de coste asociado.

Con el objetivo de optimizar tanto económicamente el proceso, así como prescindir de la necesidad de transportarlos gases a tratar durante largas distancias, se estudian diversas tecnologías a implantar para el tratamiento de gases refrigerantes:

- *Incineración*
- *Filtro de Carbón Activo (FCA)*
- *Oxidación Térmica Regenerativa (RTO)*
- *Conversión a sales*
- *Tratamiento combinado de CFC y HC*

– *Incineración:*

En Alemania y Francia los residuos a nivel general que no pueden ser reciclados o tratados generando problemas en el medio ambiente, se destinan a la incineración de desechos. A pesar de los costes de recolección y logística de desechos residuales y los residuos.

La primera incineradora de residuos que se construyó en Alemania fue en 1893 en Hamburgo. Múnich abrió su primer incinerador iniciándose 1900 y la primera planta de Berlín en 1921, donde acabo centrándose la incineración de residuos en este país después de la Segunda Guerra Mundial.

Hasta 1998 se construyeron, de manera oficial, 53 incineradores en Alemania. El número se elevó a 61 en 2003. En ese momento estaba previsto construir otras 15 plantas, principalmente en el este de Alemania (en total 76).

“Desde 01 de junio 2005 los desechos residuales sin tratar ya no pueden ser depositados en vertederos”.

Los precios para la eliminación de los desechos residuales subieron de forma considerable, por lo que muchas de las plantas incineradoras se construyeron a partir del interés económico privado. En estas instalaciones se queman residuos comerciales con fin de la recuperación de energía. "Hoy en día, más de dos millones de toneladas de residuos de desechos son importados a Alemania". Este importe corresponde a la capacidad de las grandes incineradoras y/o a la capacidad del tren de carga de basura.

En resumen, es un tratamiento térmico a alta temperatura que consiste en la combustión completa de la materia orgánica. Los fluidos refrigerantes requieren altas temperaturas para una combustión completa, debido a que contienen más del 1% de

sustancias organohalogenadas (en forma de cloro y flúor), por lo que la temperatura deberá elevarse hasta los 1.100 °C aproximadamente, durante 2 segundos como mínimo.

Existen varios tipos y diseños de incineradores, como son: incineradores de inyección líquida, incineradores de horno rotatorio e incineradores de plasma, etc.

– *Filtro de Carbón Activo (FCA):*

Otra de las posibilidades sería tratar los gases refrigerantes haciéndolos pasar a través de filtros de carbón activo. Este tipo de tecnología consiste en un proceso de adsorción, donde las sustancias a eliminar (cloro y flúor) quedan adheridas a la superficie sólida del carbono.

La corriente de gas a tratar se introduce por la parte inferior de una columna rellena de carbón activo. Los gases circulan por el interior de la columna, en contacto con el carbón que actúa de filtro y donde quedan adsorbidos el cloro y el flúor. Finalmente, el gas limpio se expulsa al exterior por un conducto situado en la parte superior de la columna. Instalando un detector en la corriente de salida, se asegura el buen funcionamiento y se sabe cuándo es necesaria una regeneración.

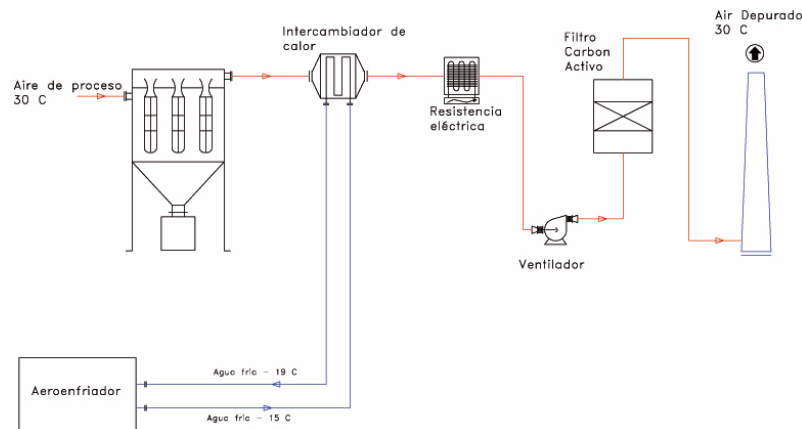


Gráfico – 4. Sistema básico de FCA

El carbón activo, al tener una elevada capacidad de absorción de diversas sustancias, debido a su gran superficie porosa, junto con la gran facilidad y rapidez de eliminación del medio tratado y la posibilidad de, una vez agotado, ser regenerado para su reutilización, permite un tratamiento eficaz. El FCA es capaz de tratar tanto los HC como los CFC con un rendimiento de abatimiento superior al 99%. Sin embargo, a pesar de que los costes de inversión no son elevados, los costes operativos son muy altos a causa de los costosos cambios de filtros debidos a la regeneración.

Además, algunos refrigerantes como el R11, que ha sido el más comúnmente utilizado en la expansión de espumas aislantes en las paredes de los frigoríficos, deberán ser destruidos vía tratamiento térmico para su correcta gestión final. Por tanto, el FCA no resulta una tecnología atractiva.

– *Oxidación Térmica Regenerativa (RTO):*

La Oxidación Térmica Regenerativa (RTO, por sus siglas en inglés), es la técnica de oxidación más extendida hoy en día para reducción de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y está indicada para tratar una amplia variedad de disolventes y procesos. Se trata de una reacción química en la que, en determinadas condiciones de temperatura y tiempo de residencia, ciertos compuestos hidrocarbonados reaccionan con el oxígeno para producir dióxido de carbono, vapor de agua y una cantidad de calor, que dependerá de la concentración de los compuestos, así como de su naturaleza y poder calorífico.

Para que la reacción de oxidación sea completa debe efectuarse a una temperatura en torno a los 800-900°C. Para alcanzar y mantener esta temperatura, se precisa emplear sistemas de recuperación de calor. Así, se emplean sistemas regenerativos, es decir, sistemas en los que se recupera el calor de los gases depurados. Estos regeneradores son unos elementos de material cerámico que acumulan calor de los gases que salen de la cámara de oxidación. Mediante un sistema de válvulas se establecen ciclos de funcionamiento consecutivos por los cuales los gases depurados, que están a una temperatura elevada (800-900 °C), ceden su calor a las masas cerámicas para que los gases contaminados, que entran fríos a la instalación, tomen de ellas el calor en el ciclo siguiente.

Las características principales de estos equipos son:

- ❖ Mínimo consumo de combustible, ya que permite eficacias de recuperación de calor muy elevadas.
- ❖ Muy bajos costes de explotación y mantenimiento.
- ❖ Alta eficacia de depuración.
- ❖ Larga duración del equipo.
- ❖ Gran fiabilidad, por ser equipos muy probados.

Las cámaras de recuperación, compuestas de material cerámico, trabajan de manera cíclica para conseguir llevar a cabo el calentamiento y el posterior enfriamiento con una eficiencia de recuperación energética del $93\% \pm 2\%$.

El quemador se utiliza para completar el calentamiento del gas hasta la temperatura de oxidación y para mantener constante la temperatura de la cámara entre los valores prefijados.

Las válvulas para la inversión del ciclo se accionan desde actuadores lineales eléctricos. Los cambios de válvulas se llevan a cabo de forma lenta para evitar variaciones bruscas de presión dentro del sistema y trabajar así con la máxima seguridad, al mismo tiempo que se reduce el mantenimiento.

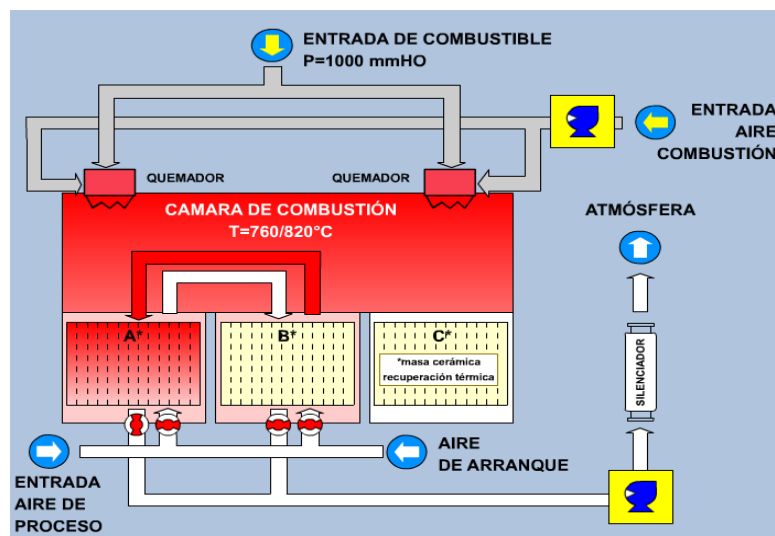


Gráfico – 5. Esquema RTO (<http://www.bluer.es/EsTerm.html>)

Cuando la concentración de entrada es elevada, un sistema de dos torres puede no ser suficiente para asegurar el cumplimiento del límite de emisión fijado, por lo que sería necesario ir a un sistema RTO de tres torres. En estos casos, en el primer ciclo el aire contaminado entra por la torre A, el aire purificado sale por la torre B, mientras en la torre C se abre una válvula de purga que permite que todo el aire contaminado que permanece en los volúmenes muertos del sistema sea aspirado y reintroducido en la cámara de oxidación. En este caso, la eficiencia de destrucción es del orden del $99,5\%$.

La eficiencia térmica de los sistemas de intercambio de calor regenerativos con bloques cerámicos es del orden del 95% , por lo que el consumo de combustible para mantener la temperatura de la cámara de oxidación es razonable, incluso en el caso de que la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV's) sea muy baja.

La RTO está generalmente considerada como la Mejor Tecnología Disponible (MTD) para tratamiento de emisiones en procesos industriales en los que se genera un caudal de aire contaminado que supere los límites de emisión máxima autorizados y que, en consecuencia, deben ser tratados para su purificación previa a su emisión a la atmósfera.

Esta tecnología se caracteriza principalmente por:

- ❖ Destrucción por oxidación térmica.
- ❖ Tratamiento de todos los hidrocarburos.
- ❖ Rendimientos de abatimiento superiores al 99%.
- ❖ Emisiones de CO₂ y H₂O.
- ❖ Alta eficiencia térmica gracias a torres precalentamiento/recuperación.
- ❖ Fácil operación y mantenimiento.
- ❖ Coste medio de inversión y muy bajo coste operativo.
- ❖ No es posible tratar gases CFC por conversión en gases ácidos.

– *Sistema de conversión a sales:*

El sistema de conversión a sales está formado por una combinación de la oxidación térmica regenerativa, en la que los CFC reaccionan químicamente con el oxígeno del aire para dar ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF); junto con una etapa de neutralización de los ácidos obtenidos que precipitarán como sales de sodio (NaCl y NaF) por la acción del bicarbonato sódico (NaHCO₃); y finalmente una filtración con carbón activo del gas depurado.

La neutralización se produce a través de polvo de bicarbonato de sodio. El sistema está formado por un reactor de mezcla y un filtro de mangas para la recolección de las sales obtenidas por la reacción.

En el reactor de mezcla se produce el contacto íntimo entre los gases que contienen HCl y HF con bicarbonato de sodio, produciéndose la reacción de neutralización de los vapores ácidos hasta dar como resultado las sales de sodio correspondientes (NaCl y NaF).

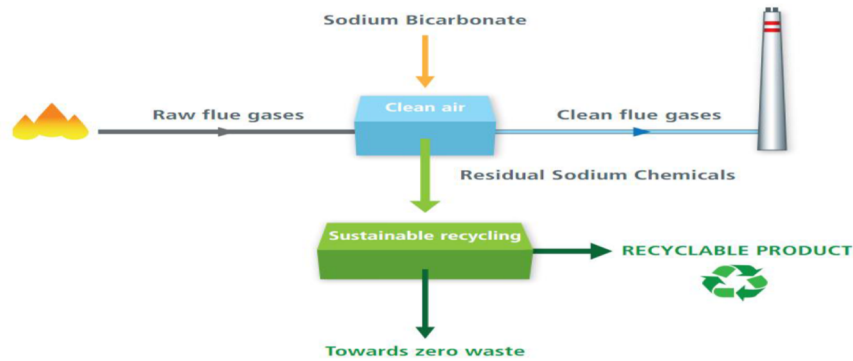


Gráfico – 6. Proceso de tratamiento de gases de una corriente de gases de combustión en un incinerador

Sistema de conversión a sales:

- ❖ La tecnología de conversión a sales se caracteriza por:
- ❖ Tratamiento de todos los gases CFC, HCFC, HFC y HC.
- ❖ Rendimientos de abatimiento superiores al 99%.
- ❖ Emisiones cumple con *2010/75/EU*.
- ❖ Tratamiento por vía seca.
- ❖ Precipitación de sales inertes.
- ❖ Coste alto de inversión y bajo coste operativo.
- ❖ Permite tratar gases recuperados en Fase 1 (gases extraídos del circuito de refrigeración).
- ❖ Permite tratar gases refrigerantes externos.

– *Tratamiento conjunto de los CFC y los HC:*(Uso de biogás como fuente de combustible)

El biogás que se utiliza en los quemadores se obtendrá del (Complejo ambiental de Arico, CAA), un vertedero situado cercano a la planta de tratamiento de gases refrigerantes de Ewaste Canarias SL.

El Complejo Ambiental de Arico (CAA) dispone de una instalación para la generación del biogás a partir de los residuos orgánicos que se produce en el vertedero. Para el transporte de dicho biogás, la empresa Ewaste Canarias SL cuenta con una red de transporte de biogás desde la planta de procesado donde ésta situada en el CAA. Hasta la nave donde se sitúa la planta de tratamiento de gases refrigerantes.

Es importante resaltar que todos los inconvenientes medioambientales que suponen los CFC han hecho que la normativa vigente sea cada vez más restrictiva con el uso de refrigerantes halogenados, por lo que los CFC se están sustituyendo

paulatinamente por HC. Esto implica que, a la planta de tratamiento de gases, lleguen unos aparatos que contienen CFC (los más antiguos) y otros con HC.

El tratamiento conjunto de los frigoríficos que contienen tanto hidrocarburos halogenados (CFC, HCFC o HFC) como HC (isobutano, ciclopentano), es el más óptimo desde el punto de vista de afección al medio ambiente. La justificación técnica que permite llegar a esta conclusión reside en el informe *Life Cycle Assessment of Treatment and Recycling of Refrigeration Equipment Containing CFCs and Hydrocarbons*, (petición de la RAL, Quality Assurance Association for the Demanufacture of Refrigeration Equipment), que establece:

“El tratamiento conjunto permite superar los problemas derivados de errores en la identificación y clasificación de los frigoríficos. El tratamiento en plantas separadas de los frigoríficos, según el líquido refrigerante que contengan, exige una clasificación previa de los mismos. No obstante, el margen de error puede llegar al 3%, lo que conlleva importantes riesgos en los procesos de tratamiento o reciclaje en plantas no adecuadas al efecto. De hecho, una planta de tratamiento específica tiene en cuenta otros factores como la inexistencia de etiquetaje de frigorífico o el estar mal identificado, la falta de medidas cuando la clasificación se ha hecho incorrectamente, o problemas potenciales en la planta, como pueden ser las explosiones si varios aparatos que contienen HC son clasificados erróneamente en la línea de aparatos con CFC.”

Por otra parte, en caso de que se haya efectuado una incorrecta selección de los aparatos, las emisiones de CFC tienen un potencial de agotamiento de la capa de ozono muy importante. El tratamiento conjunto tiene, por tanto, una menor repercusión en el desgaste de la capa de ozono que el tratamiento por separado.

El tratamiento de las plantas específicas asegura el cumplimiento de los objetivos establecidos por el Artículo 9 del *Real Decreto 208/2005*, valorización del 80% y reutilización y reciclado del 75%. El motivo es que estas plantas permiten valorizar los metales, pero también el vidrio, plástico y espumas. Sin embargo, estos tres últimos materiales no son valorizados en otro tipo de instalaciones, impidiendo por ello alcanzar dichos objetivos.

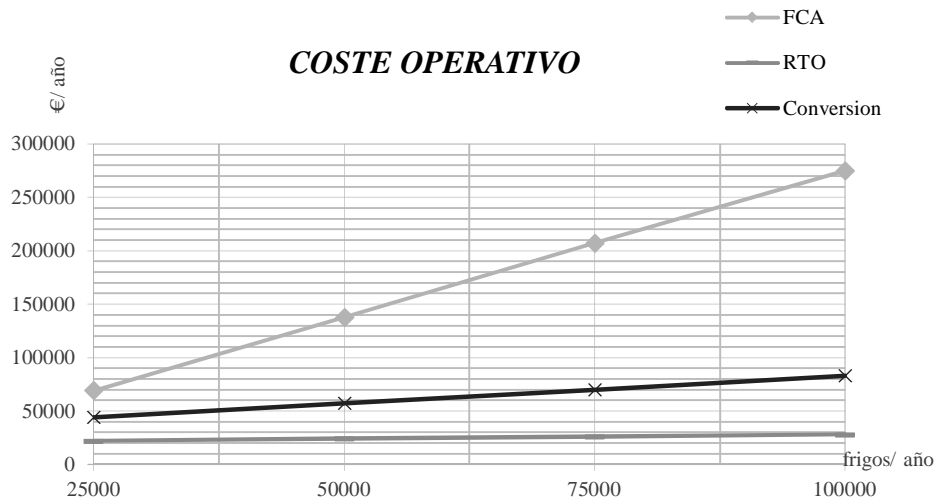


Gráfico – 7. Coste Operativo de las diferentes tecnologías de tratamiento de CFC individualmente.

	Tratamiento HC	Tratamiento CFC	Coste de Inversión	Coste Operativo
FCA	<i>SÍ</i>	<i>SÍ</i>	<i>BAJO</i>	<i>MUY ALTO</i>
RTO	<i>SÍ</i>	<i>NO</i>	<i>MEDIO</i>	<i>MUY BAJO</i>
Conversión sales	<i>SÍ</i>	<i>SÍ</i>	<i>ALTO</i>	<i>BAJO</i>

Tabla – 7. Comparación de las diferentes tecnologías de tratamiento de CFC

La FCA es la que tiene, con diferencia, el coste de operación más elevado, incrementándose considerablemente conforme aumenta el caudal de frigoríficos tratados, por lo que se descarta emplear este tipo de tecnología. La RTO, por su parte, es la tecnología que tiene el menor coste operativo, pero necesitaría una etapa de postratamiento de los CFC, ya que se obtienen gases ácidos a la salida (HCl y HF). Por tanto, se ha optado por el sistema de conversión a sales que, como ya se comentó anteriormente, esta tecnología involucra las etapas de oxidación térmica regenerativa (RTO) y filtración por carbón activo (FCA).

Además, se empleará el sistema de conversión a sales con biogás como combustible, puesto que está considerada como la mejor tecnología disponible (MTD), ya que es la más eficaz a la hora de alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto y puede ser aplicada en condiciones económica y técnicamente viables.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE GASES DE EWASTE CANARIAS SL

En este apartado se describe el proceso de tratamiento de gases que actualmente existe en Ewaste Canarias SL.

3.1. EXTRACCIÓN DE GAS REFRIGERANTES

– EXTRACCIÓN DEL GAS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

En la primera etapa se lleva a cabo la extracción del gas contenido en el circuito de refrigeración y el aceite del compresor mediante una punción en el circuito de refrigeración que permite extraer, para luego separar de forma automática, la mezcla de aceite y gas refrigerante.

En esta etapa se logra la extracción del 25-30% de los gases refrigerantes que contienen los aparatos, que es la proporción que contiene el compresor.

– EXTRACCIÓN DEL GAS DEL POLIURETANO

Una vez vaciado el circuito, se retira el compresor del aparato y se procede a la trituración y extracción de los gases refrigerantes presentes en la espuma de poliuretano (PUR) que aísla las paredes de los aparatos. Éste supone el 70% de los gases refrigerantes que contienen los residuos a tratar.

Los equipos son conducidos hasta la torre de trituración. Además, la torre se inertiza con N₂ en estado gaseoso para evitar explosiones, puesto que el refrigerante contiene una determinada concentración de ciclo-pentano que es un gas altamente inflamable.

3.2. OXIDACIÓN TÉRMICA REGENERATIVA

El quemador es de tipo regenerativo y está compuesto por una cámara de combustión y por tres torres de precalentamiento/recuperación de calor, hechas de acero al carbono y forradas internamente con fibra cerámica de grosor y densidad “*adecuados*” (determinados por el fabricante). El quemador estará alimentado por el biogás que se genera en el vertedero de residuos urbanos del Complejo Ambiental de Arico.

Las torres de precalentamiento/recuperación de calor se rellenan con un material inerte cerámico, consiguiendo tres lechos con una alta capacidad térmica.

El funcionamiento de la planta es cíclico y utiliza alternadamente la capacidad térmica de los tres lechos para calentar el gas a la entrada, a través de la recuperación el calor del gas a la salida en el lecho contiguo (ciclo regenerativo). De esta manera, se consigue aprovechar al máximo el poder calorífico del metano contenido en el biogás y se alcanza la temperatura óptima de trabajo con un bajo consumo del mismo.

El quemador de biogás proporcionará las calorías necesarias para garantizar una temperatura monitorizada de trabajo de entre 900 – 950 °C (con un pico máximo de 1.150°C). La permanencia de los gases a dicha temperatura será de un período no inferior a 2 segundos, garantizando que las sustancias orgánicas se oxiden completamente hasta formar ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF).

Al salir de la cámara de conversión térmica, el flujo de gases resultante pasa a través de otro “*lecho de material inerte*”, relativamente más frío, y cede al mismo gran parte de su contenido térmico. A intervalos regulares de 60 – 90 segundos, la dirección del flujo de gas en el quemador se invierte, de modo que los tres lechos intercambian la función de precalentamiento y recuperación de calor, accionando alternativamente las válvulas de entrada y salida de cada torre.

El flujo de aire entra siempre en dos lechos de material cerámico, mientras que el tercero se coloca en modo espera. Durante el ciclo de funcionamiento, la torre en stand-by, para aspirar el aire contaminado que en el ciclo anterior no ha pasado por la cámara de conversión térmica, recibe un flujo de aire del exterior. Este diseño garantiza los resultados de eficiencia incluso durante el cambio de válvulas.

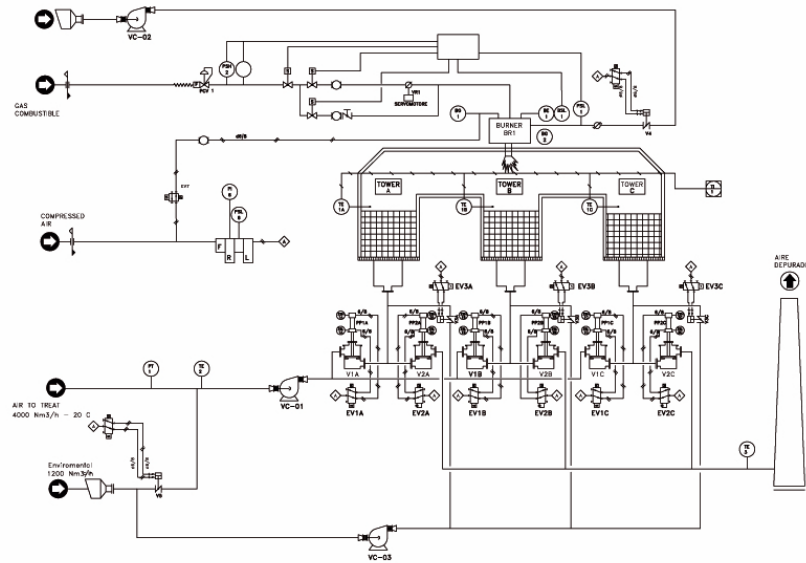
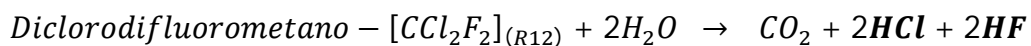
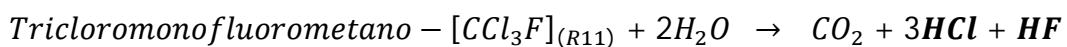


Gráfico – 8. Diagrama de flujo del sistema RTO

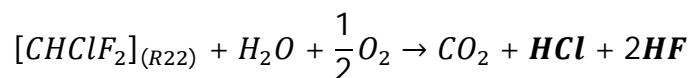
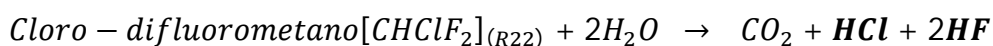
La cámara de conversión operará con un caudal máximo de aire de proceso de 4.000 Nm³/h y una potencia del quemador de 150.000 kcal/h, lo que equivale aproximadamente a unos 170 kW.

La instalación estará equipada con varios sensores que reportarán la información en continuo al sistema de control distribuido de la planta, lo que permitirá asegurar un funcionamiento fiable y optimizado del proceso. La reacción de oxidación estará vigilada en continuo mediante sensores de temperatura y de concentración de gases para asegurarse de que los gases refrigerantes han sido tratados adecuadamente.

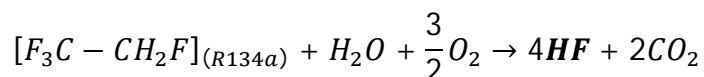
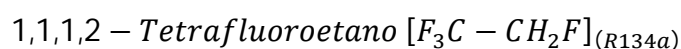
Halogenados – CFC:



Halogenados – HCFC:



Halogenados – HFC:



3.3. NEUTRALIZACIÓN: Sistema SOLVAIR®

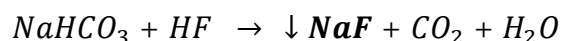
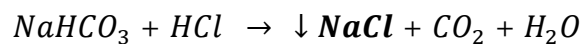
A partir de la oxidación térmica de los CFC se forman ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF). Estos gases ácidos, procedentes de la cámara de conversión, pasarán a través de un sistema de recuperación y neutralización mediante conversión a sales de los compuestos liberados durante el mismo.

La neutralización de los gases se produce empleando polvo de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) mediante un sistema formado por un reactor de mezcla y un filtro de mangas para la recolección de las sales obtenidas por la reacción. Las mangas previstas tienen una longitud de 3 m con un diámetro de 0,125 m. Asimismo, estará provisto de un sistema de aislamiento de lana de roca de 80 mm.

En el reactor de mezcla se obtiene el “*contacto íntimo*” de los gases con bicarbonato de sodio y como resultado de este contacto tiene lugar la reacción de neutralización de los vapores ácidos hasta formar las sales de sodio correspondientes (cloruro y fluoruro). La reacción precisa desarrollarse en condiciones de temperatura que suministra un segundo quemador de potencia 92 kW, que también se alimenta de biogás del vertedero.

A pesar de que los gases a tratar están libres de azufre, conviene resaltar que este sistema sería capaz de neutralizar sulfatos si fuera necesario.

Las reacciones químicas correspondientes a esta etapa de neutralización de los gases ácidos son las siguientes:



Sin embargo, es importante destacar que, a su vez, también se produce la activación térmica del bicarbonato de sodio, formándose carbonato de sodio:



El bicarbonato sódico, almacenado en big-bags, es dosificado mediante un tornillo sinfín y dispone de un molino especial que microniza el polvo con el objetivo de aumentar la superficie de contacto y facilitar la reacción.

Tanto la tecnología como los parámetros de reacción han sido diseñados en colaboración con la multinacional del sector químico Solvay, quien garantiza un porcentaje de retirada superior al 99,9 % (operando en las condiciones especificadas). Se trata del proceso patentado denominado SOLVAir®, que es un sistema de

tratamiento de gases competitivo y sostenible para el control de las emisiones y los residuos, además de ser un proceso simple y de fácil implementación.

3.4. ETAPAS DE FILTRACIÓN

– FILTRO DE MANGAS

El refrigerante extraído pasará directamente a una etapa de filtración. Atravesará un filtro de mangas como primer paso de reducción en seco del polvo de poliuretano derivado del proceso de trituración.

La filtración se produce desde el exterior hacia el interior de las mangas. El filtro de mangas va equipado con un sistema automático de limpieza con chorros de aire comprimido que se activa de acuerdo con el grado de obstrucción de las mangas (medido por la diferencia de presión entre el punto inicial y el punto final).

En esta etapa de filtración se elimina el polvo de poliuretano que se vierte en un recipiente colocado en la parte inferior del mismo.

– FILTRO DE CARBÓN ACTIVO REGENERATIVO

Los vapores que se generan en el sistema de neutralización anteriormente descrito se envían al filtro de carbón activo, provisto de **2.310 kg** de material filtrante que se auto regenera mediante un sistema de regeneración in situ a través de aire caliente a 80-90°C.

El ventilador de regeneración del carbón activo opera con un régimen de flujo de aire de 900 Nm³/h.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION POR EXTRACCION LOCALIZADA

Los aparatos eléctricos y electrónicos, sus materiales, componentes, consumibles y subconjuntos que los componen, procedentes tanto de hogares particulares como de usos profesionales, a partir del momento en que pasan a ser residuos. Se entenderá por residuos de aparatos eléctricos y electrónicos procedentes de hogares particulares los procedentes de domicilios particulares y de fuentes comerciales, industriales, institucionales y de otro tipo que, por su naturaleza y cantidad, son similares a los procedentes de hogares particulares. Estos residuos tendrán la consideración de residuos urbanos, según la definición del artículo 3.b) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

En la planta de Ewaste Canarias SL actualmente existente se reciben los siguientes tipos de RAEE:

- Grandes electrodomésticos (*frigoríficos y gradas equipos de A/C*).
- Pequeños electrodomésticos (*pequeños equipos de A/C*).
- Equipos de informática y telecomunicaciones.
- Aparatos electrónicos de consumo.
- Aparatos de alumbrado.
- Herramientas eléctricas y electrónicas.
- Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre.
- Aparatos médicos.
- Instrumentos de vigilancia y control.
- Máquinas expendedoras.

Todo equipo de A/C que llegue a la instalación de Ewaste Canarias SL se tratará en la cabina en la que se instalará el sistema de ventilación por extracción localizada. Se establece como principal prioridad aquellos equipos que vengan con pérdidas, circuito defectuoso o muestras de tenerlas en intervalo de tiempo relativamente corto, puedan tener fugas si son almacenados para un tratamiento posterior, sin olvidar que la recepción de residuos llega en cantidades que suponen un problema logístico tener que hacer una separación muy exhaustiva.

Equipos de A/C sin pérdidas podrán disponerse en almacén para ir introduciendo en la cámara de extracción según el plan de producción programado.

Por últimos se podrán recibir botellones en diferentes capacidades y contenidos en refrigerantes varios:

- Botellones con carga indeterminada (diferentes refrigerantes mezclados).
- Botellones con un solo componente o refrigerante.

Generalidades de un sistema de ventilación por extracción localizada:

Esencialmente un sistema de extracción localizada elemental se compone de cuatro partes:

1. Elemento de captación (habitualmente llamado campana que, situado en las cercanías del foco contaminante, es el responsable de atrapar el contaminante).
2. Conductos entre la campana y la evacuación final de los gases.
3. Elemento para la eliminación de contaminantes (en nuestro caso, sistema para la eliminación de aceites y para la captación del agua).
4. Un ventilador, que es el responsable de poner el aire en movimiento.

Velocidad de captura:

Captar una partícula exige crear en el punto donde esta se encuentra una velocidad de aire que la arrastre hacia la campana. Ahora bien, como en todo local existen corrientes de aire originadas por distintas causas, lograr una captación efectiva exigirá que la corriente de aire generada por la campana sea lo suficientemente potente como para superar el movimiento que inducen en la partícula el resto de corrientes de aire del local. A la velocidad de aire generada por la campana que es necesaria para hacer que la partícula se dirija hacia aquella (es decir, para captarla) se la denomina *velocidad de captura*.



Gráfico – 9. Fuerzas que influyen en una partícula en suspensión en el aire.

<i>Velocidad aire</i>	<i>Situación</i>	<i>Aplicación recomendada</i>
0,10	Calma	Condiciones ideales
0,10 - 0,3	Calma	Condiciones habituales
> 0,3	Los papeles se levantan	Condiciones de viento máximo
0,5	Viento en la nave	Condiciones de sobre desgaste del ventilador

Tabla – 8. Medidas de la velocidad de captura de aire en el interior de una nave industrial (Ewaste Canarias SL)

Velocidad en conductos:

La velocidad que han de tener los gases que se van a procesar deben tener un valor determinado según el tipo de mezcla que se presente. Determinamos dicho valor según las tablas que nos determina la normativa vigente que se describe y define posteriormente en este proyecto y además la velocidad recomendada por el fabricante es >10 m/s.

<i>VELOCIDAD (m/s)</i>	<i>TIPO DE CONTAMINANTE</i>
0 – 10	Vapores, gases y humos de combustión
10 – 15	Humos de soldadura y polvos muy finos
>15	Polvos gruesos

Tabla – 9. Valores de la velocidad en conductos (tuberías) recomendado por fabricante.

Características de los contaminantes a eliminar:

El objetivo del trabajo es tratar una corriente de gases formada por una mezcla de contaminantes en baja proporción, siendo el aire el resto. También pueden encontrarse porcentajes a tener en cuenta de HC y aceites procedentes de los sistemas de compresión de los equipos y una cantidad de agua que su presencia es muy variable ya que proviene de pequeñas cantidades de agua que pueden aparecer por infiltraciones o que estén estancadas en el interior del equipo de aire acondicionado.

Se descarta la presencia de hidrocarburos como refrigerante usados en los equipos de aire acondicionado tanto portátiles como fijos. Mayoritariamente encontraremos R-11, R-12 y R-134a, sin descartar que se presente R-22. Los demás refrigerantes puede presentarse, pero sería en tan pocas unidades que se descarta su evaluación a la hora de realizar los balances de materia. Las consideraciones que tendremos a la hora de hacer una valoración de las diferentes concentraciones de gases

refrigerantes a tratar, se desarrollaran posteriormente en los balances de materia y cálculos del proceso de tratamiento.

4.1. DISEÑO DE LA CAMPANA DE CAPTACIÓN DE CONTAMINANTES

El sistema de ventilación por extracción localizada estará instalado dentro de una cabina, de manera que el contaminante procedente de los equipos de aire acondicionado se liberará dentro de la cabina cuando el operario de Ewaste Canarias SL con manoplas y desde fuera de la cabina, acciona la válvula correspondiente para liberar el refrigerante del interior del circuito del equipo de A/C. También debe de disponerse las herramientas adecuadas de modo que solo puedan resultar operativas para las acciones de abrir los sistemas herméticos por donde circula el gas refrigerante, aunque también permitirán una holgura mínima en el movimiento para el uso en posibles unidades en estado defectuoso.

La campana debe tratar de alcanzar un encerramiento completo o en su caso debe emplearse un encerramiento parcial en la mayor medida posible donde no existen apenas aberturas que pueda liberarse dicha sustancia peligrosa ni al lugar de trabajo ni siquiera al medio ambiente.

La extracción de gases será realizada por un ventilador, evacuándolos al final del sistema, próximo a la conexión con la planta de gases, y la entrada de aire a la cabina se realizará a través de la abertura por la parte inferior de la puerta de la cabina.

Cuando el contaminante es un gas y no es emitido con una velocidad significativa, la orientación de la campana no es crítica. Lo que se pretende es provocar la impulsión de un chorro de aire a través del foco contaminante, hacia la campana de extracción.

El contaminante es controlado, esencialmente, por el chorro, mientras la función de la campana es “recibir” el chorro y aspirarlo. La ventaja esencial del sistema diseñado es que el chorro impulsado puede desplazarse de forma controlada a través de una distancia mucho más grande de lo que es posible controlar el flujo de aspiración de una campana.

Sin embargo, puede suceder que algún trabajador acceda al interior de la cabina y entre en contacto con el chorro de aspiración con la consiguiente exposición a los gases que, aunque son inocuos para el ser humano, se recomienda no entrar durante el proceso de extracción salvo algún caso de cambio de herramienta o cualquier tipo de

emergencia por lo que se reducirá al menor número posible de entradas cuando se esté operando.

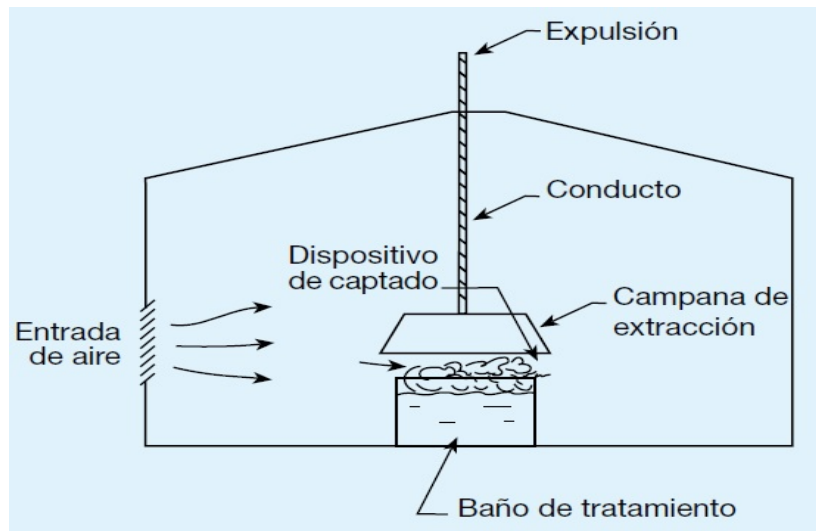


Gráfico – 10. Modelo de sistema a optimizar a nuestro caso.

En la tabla nº9 se disponen las dimensiones útiles de la cabina. La altura se puede modificar ya que la plataforma puede levantarse como tope máximo a 1,6 metros. Aun así, se debe de tener en cuenta que la altura de la cabina es de 2,6 metros, la altura de la plancha totalmente recogida es de 30 cm y la altura de 0.5 m para dejar dispuestos los equipos de aire acondicionado, quedando libre en altura hasta la campana la distancia de 1,8 m. Ha de apreciarse que siempre se levantara la plataforma para dejar 1-1,5 de altura hasta la campana. Altura a la que se realizara la extracción y dimensionar la unidad con el equipo más eficiente posible.

<i>Alzado (m)</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Volumen (m³)</i>
2,5	1,6	1,8	7,2
2,5	1,6	1,5	6,0
2,5	1,6	1	4,0

Tabla – 10. Dimensiones de la zona de extracción de contaminantes

La campana seleccionada es del tipo extractora para vahos y construida en una sola pieza de dimensiones posteriormente detalladas, reduciendo así el tiempo de montaje y posibles deformaciones lineales. Se eliminan los goteos entre juntas y puntos no visibles de suciedad. El doble plegado en todos los finales de chapa evita todo tipo

de cortes accidentales. La campana está construida sin tornillos ocultos ni rebordes extraños para mayor facilidad de limpieza. La campana extractora se puede solicitar al fabricante en cualquier largo y fondo que sea necesario para la instalación. Gracias a su especial diseño de las placas deflectoras, obliga al aire aspirado a pasar por diversas aceleraciones y giros, consiguiendo con ello condensar y separar el aceite aspirado y dirigir la corriente de aire hacia la boca de descarga de la campana. La campana es mejor tecnología disponible para aplicaciones donde el filtrado de las grasas no es el principal requerimiento.

El emplazamiento del recipiente acumulador de aceite se determina mediante el uso de un nivel láser con el que determinar la esquina con la cota más baja con respecto al suelo. Así mismo se instalará junto al depósito todo el sistema de canalización perimetral y la bandeja de recogida.

La campana de vahos integra el sistema de suministro de aire, aspirando aire a la zona de extracción a la velocidad adecuada y determinadas posteriormente en la parte de diseño de la unidad de aspiración.

La unidad seleccionada tiene las siguientes características:

- Campana comercial para vahos: Kappa-C
- Modelo: KF 11835
- Dimensiones: (2340x3200x670 mm.)
- Con sistema perimetral de recogida de grasas y aceites, conectando a la bandeja de entrega y depósito de 2 litros para la acumulación con visor de nivel de capacidad.
- Placas deflectoras (390x490x50mm) con estructura tubular consiguiendo mayor robustez del conjunto y doble acampanamiento a 45°.
- Material de fabricación: Acero Inox. 304 AISI de 1,5 mm de espesor
- Componentes auxiliares: Incluidos en el precio salvo envío desde Cataluña.



Gráfico – 11. Foto de la campana seleccionada.

4.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LAS TUBERÍAS Y ACCESORIOS

En este apartado se describe el método utilizado para el cálculo de tuberías. Se utiliza la aplicación Excel y consulta a la web TLV para el cálculo de tuberías. Se observará que el método de cálculo se considera la normativa europea/española (UNE). Para cualquier fluido a presión, el método de cálculo general sigue el mismo esquema:

- i. Presión Nominal
- ii. Diámetro Nominal
- iii. Selección de Tubo Normalizado
- iv. Longitud y longitud equivalente
- v. Pérdida de Carga Lineal
- vi. Cálculos de densidad y viscosidad dinámica
- vii. Conclusiones

i. Presión nominal, PN (bar)

La presión nominal, (PN), es la presión máxima de aire para la cual la tubería o accesorio se ha diseñado en las diferentes condiciones normales de trabajo. Para cada valor de PN, se debe introducir un coeficiente de seguridad en función de las condiciones de diseño. La presión nominal afecta a los accesorios (bridas principalmente en nuestro caso), a efectos de cálculo para el dimensionado de la tubería la presión nominal no tiene ninguna aplicación, es únicamente informativo.

Selección de PN, según DIN, en la tabla siguiente se dan los valores normalizados y los generales de aplicación para tubos de acero, según la normativa DIN, unidades de presión en (bar).

<i>Presión nominal</i>	<i>Presión máx. Diseño</i>	<i>Presión de prueba</i>
1	1	2
2,5	2	4
4	3,2	-
6	5	10

Tabla – 11. Valores normalizados de PN (bar) en normativa DIN.

Presión máxima de diseño para las siguientes condiciones:

- Tanto para bridas como tubos
- Temperatura del aire-gas $< 300^{\circ}\text{C}$
- Los datos son válidos para fluidos compresibles como; vapor saturado, gases y aire comprimido

ii. Diámetro nominal, (DN)

A partir del caudal volumétrico, para el cálculo de las tuberías se propone un diámetro nominal tal que asegure que la velocidad final del fluido esté dentro de las prácticas habituales en ingeniería, con el objetivo de controlar desde las propias condiciones de operación, mantenimiento y hasta el ruido. Sin embargo, se propone alguna modificación de este diámetro con tal de conseguir mayor o menor velocidad de cara a la circulación hasta la planta de tratamiento, también variar el valor del mínimo espesor requerido para ahorrar costes, optimizar la pérdida de carga, etc.

Diámetros nominales normalizados:

<i>DN</i>	
<i>Pulgadas</i>	<i>mm</i>
10	250
12	300
14	350
16	400
20	500

Tabla – 12. Valores normalizados de DN en normativa DIN

iii. Selección del tubo normalizado según la normativa DIN

La siguiente Tabla indica el espesor y el diámetro interior, ambas en (mm) de las tuberías normalizadas, según la normativa UNE.

<i>DN</i> (<i>mm</i>)	<i>Dext</i> (<i>mm</i>)	<i>DIN</i> 2458		<i>DIN</i> 2448	
		<i>espesor</i>	<i>Dint</i>	<i>espesor</i>	<i>Dint</i>
250	273	5,1	263	6,3	260,4
300	324	5,6	312,7	7,1	309,7
350	356	5,6	344,4	8	339,7

Tabla – 13. Valores normalizados de DN en normativa DIN

Diámetro nominal propuesto para tuberías:

Conociendo la velocidad (v) y el caudal volumétrico (Q_v), se determina el diámetro interior (D_{int}), se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$v = \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D_{int}^2} \leftrightarrow D_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3225 \left(\frac{m^3}{h}\right) \cdot \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{\pi \cdot 12 \left(\frac{m}{s}\right)}} = 0,308 \text{ m} = \mathbf{308 \text{ mm}}$$

Donde:

- v , velocidad [m/s]
- Q_v , caudal volumétrico aire [m³/h]
- D_{int} , diámetro interno [m]

El valor requerido diseñado para esta aplicación tendrá las siguientes características:

- $D_{nominal} = 350 \text{ mm}$.
- $D_{ext} = 324 \text{ mm}$.
- $D_{int} = 308 \text{ mm}$.
- Espesor = 7,1 mm.
- Especificación *DIN-2448*.

iv. Longitud y longitud equivalente de accesorios

Para el cálculo de la longitud equivalente, se dan los valores de para distintos tipos de válvulas normalizadas y los diferentes accesorios descritos en el trazado propuesto de líneas de conducción. Se marcan los elementos más comunes en las condiciones generales, los cuales han sido introducidos en la aplicación ya que permite introducir valores adicionales calculadas por el propio usuario. La longitud de la tubería es de 5 [m], así como los distintos accesorios; 1electro-válvula de retención (tipo mariposa, para uso con gases y $L/D = 24$) y 3 codos de 90° con $L/D = 30$).

Longitud equivalente Total = Longitud de la tubería + Longitud equivalente de accesorios

$$Leq \text{ total} = 5,2 + [3 \cdot (20 \cdot 0,308) + (24 \cdot 0,308)] = \mathbf{31,07m}.$$

v. Perdida de carga (ΔP):

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot \lambda \cdot Leq_{total} \cdot v^2}{2 \cdot D}$$

$$\Delta P = \frac{1,365 \cdot 0,0715 \cdot 31,07 \cdot 12^2}{2 \cdot 0,308} = 54,15 \text{ Pa} = \mathbf{0,0078 \text{ bar}} = \mathbf{0,00585 \text{ mmdca}}$$

Donde:

- ΔP , caída de presión.
- λ , factor de fricción.
- Leq_{total} , longitud equivalente total en línea recta (87,8 m)
- $\rho_{\text{aire+refrig}}(18^\circ\text{C})$, densidad del aire a Temp. media (1,365 kg/m³)
- D , Diámetro interior (0,308 m).
- v , velocidad media del aire en la tubería, (12 m/s).

Para este procedimiento se debe acudir a la bibliografía para el cálculo de la pérdida carga lineal. Se debe estimar el coeficiente de rozamiento λ , necesario para el cálculo de la pérdida de carga, es común para todos los fluidos y se calcula del mismo modo para todos los fluidos según;

- Ec. de Colebrook-White
- Gráfico de Moody

$$\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right) = -2 \log\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right)$$

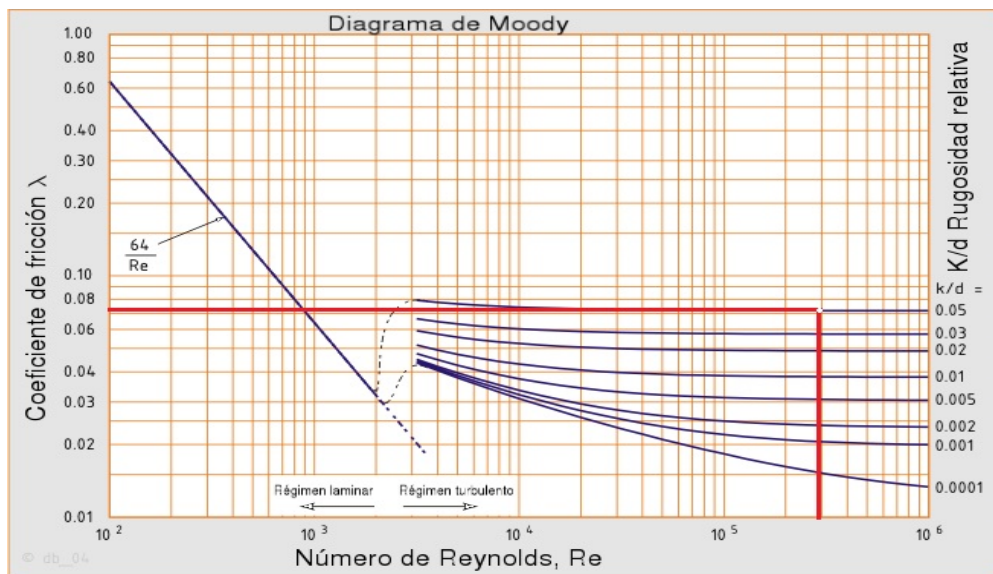


Gráfico - 12. Diagrama de Moody.

$$\lambda = 0,0715 \Rightarrow \{\text{gráficamente}\}$$

Donde:

- λ , factor de fricción.
- Re, Número de Reynolds ($2,784 \cdot 10^5$).
- D, Diámetro interior (0,345 m).
- $\varepsilon = (k/D) = 0,05$ rugosidad relativa.
- $\mu_{\text{aire}} (18^\circ\text{C})$, viscosidad dinámica, según el fluido ($1,822 \cdot 10^{-5} \text{kg/s} \cdot \text{m}$)
- $\rho_{\text{aire}} (18^\circ\text{C})$, densidad del aire a Temp. media ($1,212 \text{kg/m}^3$)

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{12 (\text{m/s}) \cdot 0,3097 (\text{m}) \cdot 1,365 (\text{kg/m}^3)}{1,822 \cdot 10^{-5} (\text{kg/s} \cdot \text{m})} = 2,784 \cdot 10^5 \rightarrow \text{reg. turbulento}$$

vi. Cálculos de densidad y viscosidad a 18°C:

vi.1. Densidad del Aire

La tabla a continuación relaciona la densidad del aire con la temperatura. Los valores de la tabla pueden ser interpolados para encontrar la densidad de temperatura media de 18 (°C). Tabla de la densidad del aire en función de la temperatura se muestra a continuación.

Temperatura (°C)	ρ_{aire} (kg/m ³)
10	1,247
15	1,225
20	1,204
25	1,184
30	1,165
40	1,127

Tabla – 14. Densidad del Aire a diferentes temperaturas.

Mediante interpolación obtenemos el valor de $\rho_{\text{aire}} (18^\circ\text{C}) = \mathbf{1,212} \text{ (kg}_{\text{aire}}/\text{m}^3)$

vi.2. Densidad del Aire + Refrigerante

- vi.2.1. A partir del cálculo de $\dot{m}_{\text{gas de proceso}}$, con el caudal másico de aire de ventilación en (kg/h) + refrigerante máximo que entra en (kg/h) y con $Q_{\text{ventilación}} = 3225 \text{ (m}^3/\text{h)}$ y $\dot{m}_{\text{gas refrig}} = 6 \text{ (kg/h)}$

$$Q_v \cdot (\rho_{aire})_{18^\circ C} = 3225 \left(\frac{m^3_{aire}}{h} \right) \cdot 1,212 \left(\frac{kg_{aire}}{m^3_{aire}} \right) = 3909 \left(\frac{kg_{aire}}{h} \right)$$

$$3909 \left(\frac{kg_{aire}}{h} \right) + 6 \left(\frac{kg_{refrig}}{h} \right) = 3915 \left(\frac{kg_{aire}}{h} \right)$$

vi.2.2. Cálculo de los porcentajes en masa de la corriente:

$$\% \text{ aire} = \frac{3909 \left(\frac{kg_{aire}}{h} \right)}{3915 \left(\frac{kg_{total}}{h} \right)} \cdot 100 = 99,85 \%$$

$$\% \text{ refrigerante} = \frac{6 \left(\frac{kg_{refrig.}}{h} \right)}{3915 \left(\frac{kg_{total}}{h} \right)} \cdot 100 = 0,15 \%$$

vi.2.3. Cálculo de la densidad de la corriente mediante suposición de los porcentajes de refrigerantes:

Refrigerante	ρ a 18°C	P.M. (g/mol)	ρ trabajo	% en masa	Aportación
* ¹ R-11	5,981	137,7	6,287	30	1,89
* ¹ R-12	5,145	120,9	5,520	30	1,66
* ¹ R-134a	4,176	102,0	4,658	25	1,16
* ³ Aceites	934,2	-	934,2	9,3	86,88
* ³ H ₂ O _{liq}	998,7	18	998,7	0,9	8,99
* ² H ₂ O _{gas} (Pv)	0,021	18	0,822	4,8	0,04
			Total	100	100,62
* ¹ ρ trabajo es a 1,09 atm = 1,11 bar y se aplica ec. Gases Ideales y I(g/l)=I(kg/m ³)					

Tabla – 15. Densidad de la corriente de aire y refrigerante.

$$\text{para } *^1; P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P \cdot V = \left(\frac{m}{PM} \right) \cdot R \cdot T \Rightarrow \left(\frac{m}{V} \right) = \left[\frac{P \cdot PM}{R \cdot T} \right]$$

$$\text{para } *^2; P_{vapor} \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P_v \cdot V = \left(\frac{m}{PM} \right) \cdot R \cdot T \Rightarrow \left(\frac{m}{V} \right) = \left[\frac{P_v \cdot PM}{R \cdot T} \right]$$

para *³; son líquidos consideramos ρ a 18°C

Finalmente concluimos con:

$$\rho_{mezcla} = [(0,9985 \cdot 1,212) + (0,0015 \cdot 100,62)] = 1,365 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

vi.3. Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es un dato necesario para el cálculo del coeficiente de rozamiento. La Tabla muestra los valores de la viscosidad dinámica del aire a distintas temperaturas. Tabla de la densidad del aire en función de la temperatura se muestra a continuación.

<i>Temperatura</i> (°C)	μ_{aire} (kg/s·m)
5	$1.76 \cdot 10^{-5}$
10	$1.79 \cdot 10^{-5}$
15	$1.81 \cdot 10^{-5}$
20	$1.83 \cdot 10^{-5}$
25	$1.86 \cdot 10^{-5}$
30	$1.89 \cdot 10^{-5}$
40	$1.93 \cdot 10^{-5}$
50	$1.98 \cdot 10^{-5}$

Tabla – 16. Viscosidad dinámica del aire a diferentes temperaturas.

Mediante interpolación obtenemos el valor de $\mu_{\text{aire}} (18^\circ\text{C}) = \mathbf{1,822 \cdot 10^{-5}}$ (kg_{aire}/s·m)

vii. Conclusiones:

▪ *Material a utilizar:*

El material de las planchas de acero inoxidable usadas para cubrir la parte superior de la campana son del tipo 304, dicho acero inoxidable es del tipo austenítico con base cromo-níquel y es aceptable para un amplio rango de aplicaciones y en particular para el que se le fija en este proyecto. Es de fácil disponibilidad ya que se encuentra en la nave industrial de Ewaste Canarias SL y es relativamente sencillo de trabajar durante los procesos de instalación.

En cambio, las tuberías son de acero inoxidable tipo 316 que ofrece mucha mayor resistencia a la corrosión que el Tipo 304 debido a la adición de molibdeno y un alto contenido de níquel, lo que proporciona gran resistencia a la corrosión por picadura y grietas en la presencia de cloruros y fluoruros. Por tanto, el acero inoxidable 316 es el deseable para usar en la canalización a la

planta de tratamiento de gases, aunque también por motivos de coste se puede implementar el acero galvanizado como material, aunque se desaconseja su uso porque se verá afectado por la erosión y la corrosión en muchísima mayor medida.

El acero inoxidable proporciona una resistencia superior a la corrosión al desarrollar una película superficial de óxido de cromo durante el proceso de fabricación. Con el fin de asegurar la máxima protección a la corrosión, el acero inoxidable debe mantenerse limpio y tener un adecuado suministro de oxígeno para combinar con el cromo del acero para formar “óxido de cromo”, una capa protectora de pasivación. La capa protectora de óxido de cromo se desarrolla durante la exposición rutinaria al oxígeno de la atmósfera. Esto ocurre durante el proceso de laminación y continuamente cuando el acero es trabajado para su uso final.

▪ *Mantenimiento del Acero Inoxidable*

Es un error común creer que el acero inoxidable no se mancha ni se oxida, por lo que no se requiere manutención alguna para su superficie. Esto es simplemente falso. Tal como el acero galvanizado y el acero inoxidable son más efectivos cuando se mantienen limpios. Esto es especialmente cierto en atmósferas con sales de cloro, sulfuros u otros metales agresivos. En estos ambientes, el acero puede descolorarse, oxidarse o corroerse. Como mínimo, la unidad debe lavarse anualmente para reducir la suciedad residual o los depósitos superficiales en el acero inoxidable. Adicionalmente la limpieza mantendrá los componentes de acero inoxidable libre de los componentes corrosivos de la atmósfera incluyendo cloruros y sulfuros que dañan al acero inoxidable.

▪ Listado de tuberías:

- Tipo de Tubería; DN 350, $D_{int} = 308$ mm, DIN-2448
- Código 001109 - AISI 316.
- Tamaño total tuberías: 5,2 metros
- Tramo inicial; campana - ventilador: < 45 mm. (codo de 90° intermedio)
- Tramo recto 1; ventilador - codo 90°: 780 mm.
- Tramo recto 2; codo 90° - codo 90°: 3120 mm.

- Tramo recto 3; codo 90° - conexión a planta de gases: 1300 mm.
- Listado de accesorios
 - 3 codos estándar de 90° de Acero AISI 316 de radio largo, DN 350, $D_{int} = 308$ mm, Código 056085.
- Electroválvula de retención tipo clapeta.
 - Código: CE 73-652
 - Modelo: CEI 335 A. 24Vcc
 - Conformidad eléctrica: ISO 4400 / EN 175301-803
 - Dimensiones: (DN 350 mm, D_{int} 308 mm)
 - Protección eléctrica Moldeado IP65 (EN 60529)



Gráfico – 13. Foto de electro-válvula similar

4.3. DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA ELIMINACIÓN DE ACEITES Y PARA LA CAPTACIÓN DE HUMEDAD

El aceite y el refrigerante líquido se pueden mezclar en una proporción que depende fundamentalmente de las condiciones de presión y temperatura del recinto en el cual ambos componentes se encuentren. Sin olvidarnos de que, en el interior de un circuito, existe siempre una pequeña cantidad de aceite que circula con el vapor refrigerante a través de la instalación sin que ambos elementos se mezclen aparentemente. Incluso puede suceder que una pequeña cantidad de refrigerante en forma de vapor se desplace hasta el cárter del compresor y una vez allí condense en el interior del mismo, hasta que el aceite se satura completamente de refrigerante líquido.

La extracción de refrigerantes de los diferentes equipos comerciales de acondicionamiento de aire conlleva siempre el arrastre de aceites y humedad que puedan entrar en el circuito del aparato de A/C. Para ello el sistema de tratamiento de gases de Ewaste Canarias SL procesa HC conjuntamente con los Refrigerantes clorados y/o fluorados. La instalación de un sistema de separación de aceites y humedad es la protección hacia el propio ventilador del sistema de extracción de refrigerantes de las diferentes unidades de A/C. Antes de su conducción a la planta, requiere *un pretratamiento de los gases obtenidos para librarlos de parte de las impurezas sólidas, humedad y de los aceites o grasas* procedentes especialmente de los sistemas de compresión.

Por lo tanto, es necesario dotar a la instalación de tales dispositivos antes de su derivación a la planta de tratamiento de gases para proteger y garantizar la mayor durabilidad de las instalaciones y equipos.

Placas deflectoras para la recogida de aceites:

Para la retención del aceite se utiliza una las placas deflectoras en el interior de la campana de extracción, para la recogida de aceites. Los cuales se almacenarán en un pequeño deposito interno de 2 litros que el fabricante de la campana dispondrá según las condiciones de la instalación, y una vez que se llene dicho depósito, se procederá a disponerlo en un depósito en planta para su envío al SIG correspondiente.



Gráfico – 14. Foto de Placas Deflectoras.



Gráfico – 15. Esquema del Depósito de aceites.

Filtro de aire en el ventilador para la retención de la humedad:

Un *filtro* es el componente importante del sistema de ventilación para la extracción de los contaminantes. Este sistema se emplea para el control de la contaminación por partículas sólidas de procedencia de los aceites o restos de hidrocarburos y las generadas debido a la posible humedad que pueda presentarse en los diferentes casos, permitiendo preservar la vida útil tanto del ventilador como de los demás componentes del sistema como la instalación para la circulación de gases.

En general, los filtros están constituidos por un conjunto formado por:

- El elemento filtrante o cartucho.
- La carcasa o contenedor.
- Dispositivo de control de saturación.



Gráfico – 16. Foto del Filtro de aire antes del ventilador.

Listado de equipos:

- Filtro de aire:
 - Filtro mallas comercial con soporte metálico para habitáculo con el ventilador
 - Modelo: KF 10 100

- Tipo: Rejilla de aluminio y con sistema de sujeción interior.
- Dimensiones: (420 x 350 x 50 mm)

- Placas deflectoras para condensación de aceites:
 - Dimensiones; 390x490 mm.
 - Espesor entre; 60-120mm.
 - Material de fabricación: Acero Inox. 304 AISI

- Sistema de recogida perimetral, Soporte de placas deflectoras y depósito de aceite con las juntas y tornillería correspondientes. (incluido en la campana).

- Tanque de recogida de aceite. (Modelo estándar)
 - Código: CC 10 235
 - Dimensiones; cilíndrico regular de diametro 160 mm (2 litros)
 - Material de fabricación: Acero galvanizado.

4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE

Para cumplir el objetivo del proyecto se nos presenta una demanda de movimiento de un volumen de aire variable, que se debe garantizar siempre efectivo a la hora de arrastrar los contaminantes, para ello se nos hace necesario el uso de un ventilador. El ventilador de extracción de gases ha de tener una capacidad algo sobredimensionada en función de la vida útil establecida y una electroválvula para cerrar o abrir la conexión y mantener el caudal constante de entrada a la planta.

Aunque los ventiladores pueden clasificarse atendiendo a muy distintos criterios, lo más habitual es clasificarlos en dos grandes grupos atendiendo a las características esenciales del flujo del aire en su interior:

- Los ventiladores axiales: se utilizan cuando se requieren grandes caudales con poca pérdida de carga, y los centrífugos para caudales menores y pérdidas de carga elevadas.
- Los ventiladores centrífugos: se utilizan para caudales menores y pérdidas de carga elevadas.

En los ventiladores axiales el aire entra y sale del ventilador moviéndose paralelamente al eje de giro del rodete; normalmente este tipo de ventiladores no es capaz de aumentar la presión más de 250 Pa.

A menudo se mejora su capacidad de aumentar la presión recurriendo a los llamados ventiladores axiales tubulares, que pueden llegar hasta los 500 Pa. Si además se colocan en su interior aletas directrices el aumento de presión logrado puede alcanzar los 2.000 Pa. La aplicación básica de los ventiladores axiales es la ventilación general, pues en ella se requieren caudales elevados con aumentos de presión pequeños o moderados.

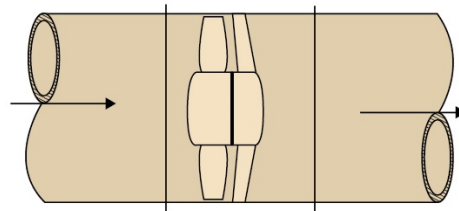


Gráfico – 17. Ventilador Axial Básico

En los ventiladores centrífugos las trayectorias del aire a la entrada y a la salida forman un ángulo de 90° , lo que permite rodetes que dan lugar a aumentos de presión mucho mayores que en los ventiladores axiales

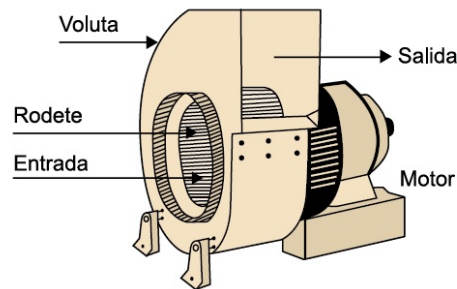


Gráfico – 18. Ventilador Centrífugo Básico

CÁLCULOS

Para diseñar el dispositivo necesario para el sistema de ventilación utilizamos las expresiones de cálculo que aporta manual de ventilación industrial consultado en la web de Salvador Escoda S.A.

En primer lugar, será necesario calcular el caudal de aspiración que debe haber en la entrada de la campana.

Para cabina con un solo costado abierto aplicamos la ecuación:

$$Q \left(m^3_{\text{aire}}/h \right) = 3600 \cdot L \cdot H \cdot v_a$$

Donde:

- Q_{aire} = Caudal de aire de aspiración necesario a ($P = 1\text{atm}$ y $T = 18^\circ\text{C}$)
- L = Profundidad del foco contaminante (m)
- H = Altura entre foco contaminante y la campana de aspiración (m)
- v_a = velocidad de captura = velocidad aire en la nave [0,2-0,5(m/s)]
- v_c = velocidad del aire en el conducto [12 (m/s)]
- η = pérdidas por entrada de aire en la campana (aprox. 0,25)

<i>Velocidad aire</i>	<i>Situación</i>	<i>Aplicación recomendada</i>
0,10	Calma	Condiciones ideales
0,10 - 0,3	Calma	Condiciones habituales
> 0,3	Los papeles se levantan	Condiciones de viento máximo
0,5	Viento en la nave	Condiciones de sobre desgaste del ventilador

Tabla – 15. Medidas de la velocidad de captura de aire en el interior de una nave industrial (Ewaste Canarias SL)

La comprobación de los datos obtenidos para el caudal volumétrico de aire con nuestra ecuación de diseño, aportada por el fabricante, demuestra la cantidad de aire en aspiración que se necesita en la captación y canalización hasta la planta para que se lleve a cabo el arrastre de los contaminantes de forma efectiva y no generar zonas estancas. Los datos obtenidos se obtienen realizando los siguientes cálculos y se tienen en expresan en la siguiente tabla:

$$Q_{v\text{-teórico}} = 3600 \cdot L \cdot H \cdot v_a = 3600 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 2419 \left(m^3_{\text{aire}}/h \right)$$

$$Q_{v\text{-real}} = \frac{Q_{v\text{-teórico}}}{1 - \eta_{\text{campana}}} = \frac{2419 \left(m^3_{\text{aire}}/h \right)}{1 - 0,25} = 3225 \left(m^3_{\text{aire}}/h \right)$$

Volumen (m ³)	Va mín. (m/s)	Q _{v-r} (Va=0,2)	Va máx. (m/s)	Q _{v-r} (Va=0,5)
7,2	0,2	2765	0,5	6912
6,0	0,2	2304	0,5	5760
4,0	0,2	1536	0,5	3840

Tabla – 16. Caudales de aire teóricos calculados en (m³/h).

Con el caudal de aire de aspiración y la pérdida de carga en tubos y accesorios se calcula la potencia de bomba [kW] requerida. El rendimiento de la bomba puede ser estimado o también es un dato que aporta el fabricante o el distribuidor en su caso.

$$Potencia\ máx(W)_{ventilador} = \frac{Q_v \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot \Delta P (mmdca) \cdot g \left(\frac{m}{s^2} \right)}{\eta_{total}}$$

$$Potencia\ max. = 0,463(kW) = 0,629 CV$$

Donde:

- Q_v (3225 m³/h): Caudal de aire de aspiración
- ΔP (0,00585mmcda): Pérdida de carga total que tiene que vencer el ventilador. Véase los cálculos en la parte tuberías y accesorios.
- g (9,81 m/s²): Aceleración de la gravedad
- η_{total} = 0,4

η: rendimiento (40 %)

Como referencia del fabricante, el rendimiento estándar de un ventilador centrífugo es aproximadamente del 60%, si el caudal volumétrico de ventilación es mayor de 2000 (m³/h). Además, hay que aplicar un 20% adicional como aportación adicional al filtro de humedad y las placas deflectoras para la recogida de aceite teniendo que sobredimensionar el ventilador para pérdidas del 60%.

Como las necesidades de aspiración son variables se aporta la estimación para trabajar con una baja carga de unidades de A/C, por lo que las necesidades de aspiración disminuyen puntualmente. Siendo como válido estimarlo con la siguiente expresión:

$$\eta = 60 \%, \text{ para otros valores de } Q_{aire + refrigerante} > 2000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$\eta = (0,9 - 1,533 \cdot Q^{-0,4796}) \cdot 100$$

<i>Caudal real</i> <i>m³/h</i>	<i>Rendimiento</i> <i>(%)</i>
1000	84,4
1300	85,1
1600	85,5
2000	86,0

Tabla – 17. Rendimientos para $Q_v < 2000$ (m³/h)

SELECCIÓN DEL EQUIPO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE

La opción recomendada es un ventilador centrífugo, debido a su menor tamaño y peso. Logrando un proceso de instalación más sencillo y para que aumente la vida útil de la estructura general del sistema diseñado. A la hora de determinar la mejor opción comercial se han determinado que los ventiladores de media presión son los más adecuados, ya que generan una aspiración adecuada de los componentes en la cabina-campana y una impulsión recomendable en la conducción a planta de dichos gases.



Gráfico – 19. Ventilador Centrífugo Seleccionado.

Finalmente, la elección del equipo es el ventilador trifásico de menor precio superior a 0,463 kW tomando el dispositivo de 0,5 kW y que pueda mover más de 4000 (m³/h), poniendo como recomendación levantar la plataforma elevadora entre 1-1,2 m. para que quede 1-1,5 m. y minimizar las necesidades de trabajo del ventilador. La solución de poner un equipo de aspiración más potente para mover mayor caudal de aire provocaría un aumento del coste, del desgaste y del ruido teniendo que rechazar tal posibilidad.

Características técnicas:

- Serie CMP - 1231 - 4T – (0,5 kW - 0,68CV)
- Código VE-93-162
- $Q_{\max.} = 4900 \text{ (m}^3_{\text{aire/h)}}$
- Código de la caja de acero galvanizado. VE-93-CM55
- Incluye sistema de sujeción a carcasa de acero galvanizado y toda la tornillería y juntas de estanqueidad.



Gráfico – 20. Unidad de ventilación seleccionada

4.5. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Instrumentos de Medida

El caudal del sistema de extracción puede determinarse empleando diversos tipos de instrumentos que miden la velocidad directamente. Típicamente dichos instrumentos se utilizan en las aberturas de aspiración o impulsión o, según el tamaño y accesibilidad, en el interior de conductos. La técnica se basa en la medida de la velocidad del aire en una serie de puntos y en promediar los resultados. A causa de la dificultad en medir los caudales a partir del área de una sección recta de tubería con forma irregular debido a una cierta cantidad de codos y accesorios y la rápida variación de la velocidad a medida que el aire se acerca a una boca de aspiración. Por lo que los resultados obtenidos deben considerarse sólo como una aproximación al valor real del caudal, pero lo suficientemente ajustado como para que pueda usarse a la hora de controlar el proceso de aspiración. Todos los instrumentos deben emplearse siguiendo estrictamente las instrucciones y recomendaciones de los fabricantes.

Actuadores de Frecuencia Variable

El uso de actuadores de frecuencia variable (AFV) proporciona el método más preciso de control de capacidad. Un AFV es un dispositivo que convierte voltaje y frecuencia fijos en corriente alterna (a continuación, CA) y los modifica en voltaje y frecuencia ajustables, logrando así controlar la velocidad de un motor de CA. Ajustando el voltaje y la frecuencia, el motor de CA puede operar a varias velocidades diferentes.

El uso de tecnología AFV puede beneficiar de manera considerable la vida de los componentes mecánicos. La tecnología AVF es particularmente beneficiosa en unidades de extracción localizada u operando en climas estancos donde el flujo de aire puede modularse perfectamente para minimizar el esfuerzo del motor e invertirse a baja velocidad para los ciclos de trabajo. Las aplicaciones que usan control de capacidad por AFV deben también usar un motor construido cumpliendo con normativa y legislación en vigor.

Es importante notar que cuando se usan motores de dos velocidades, el control del arrancado del motor deberá estar equipado con un relé de retardo para el tiempo de desaceleración. Este relé de retardo debe tener un mínimo de 30 segundos de retraso cuando cambia de alta velocidad a baja velocidad.

Diferentes secuencias de operación para el ventilador con motor de varias velocidades:

1. El motor del ventilador en máxima velocidad (100%) a flujo total de airea planta con 6 kg/h de gras crudo de refrigerante en una mezcla de gases con; aire, refrigerantes, HC-aceites y agua.
2. El motor del ventilador en alta velocidad (60-80) %, a flujo normal de trabajo para ocasionar un gasto optimizado del Bicarbonato comercial.
3. El motor del ventilador en baja velocidad (30-40) %, a flujo residual, para incorporar en la planta varias líneas simultáneamente (frigoríficos-A/C-botellones).
4. El motor del ventilador en mínima velocidad, (5-10) %, a flujo pasivo si la situación requiere que un operario entre en la cabina por algún motivo extraordinario.
5. El motor del ventilador parado – flujo total de agua de una celda a través de una celda.

El tipo de motor, fabricante del AFV, largo de los cables al motor (entre el motor y el AFV), trazado de la canalización y la conexión a tierra pueden afectar grandemente

la respuesta y vida del motor. Las restricciones a la longitud de los terminales del motor varían con el proveedor del motor. Independientemente del proveedor del motor, minimizar el largo de los cables entre el motor y el actuador es una buena práctica. Se aconsejan las siguientes indicaciones como las adecuadas para su uso y mantenimiento:

- 1) El AFV debe sincronizarse a aumentos y disminuciones de velocidad uniformemente
- 2) El AFV necesita tener detención preajustada para prevenir corrientes de gas crudo queden estancadas la cabina de extracción o en las conducciones y no lleguen hasta la planta en el arranque y parada del ventilador.
- 3) Evitar que el actuador trate de hacer girar el ventilador a velocidades cercanas a cero durante tiempo prolongado.

Listado de componentes:

- Centralita de control:
 - BOXPRES KIT TX-80
 - Modelo: VE - 9670
 - Tipo: 0,4 kW – 100/200/400 VAC
 - Dimensiones: (100x250x270 mm)
 - Cableado, conexiones, juntas y recubrimiento protector plástico.



Gráfico – 21. Foto unidad central de control

- Indicador de presión diferencial - Caudalímetro:
 - Código: DPT-FLOW1000-D-AZ.
 - Modelo: 0,75kW
 - Tipo: con auto-Zero y Display
 - Dimensiones: (90 x 95 x 36 mm)
 - Cableado, conexiones y juntas.

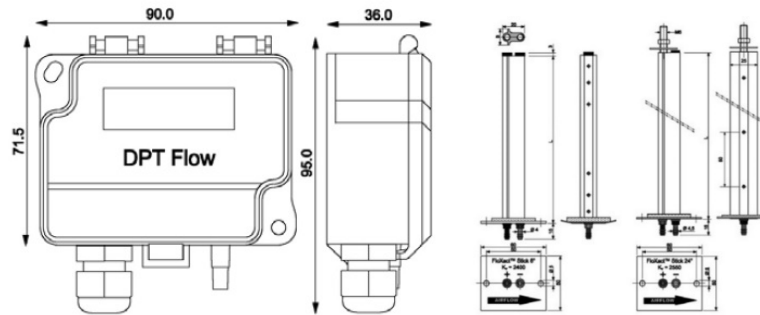


Gráfico – 22. Caudalímetro (alzado, perfil y sonda incluida)

- Transmisor de Velocidad - Temperatura:
 - Código: VE-01-814
 - Modelo: REGV-3A0,75kW
 - Tipo: con Display.
 - Dimensiones: (90 x 95 x 36 mm)
 - Cableado, conexiones, juntas.

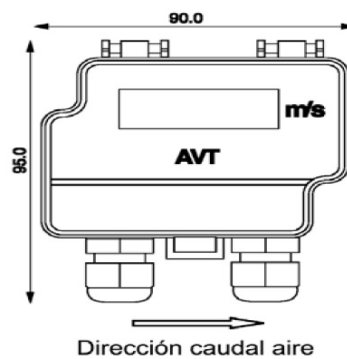


Gráfico – 23. Transmisor de velocidad-temperatura

- Alarma: IM-11-335
 - Sensor 24Vcc
 - Sirena 85/102dB
 - con pulsador.
- Iluminación. (Ewaste Canarias SL posee cableado, interruptores, herramientas y materiales para realizar la instalación de luz.
- Caja de contadores para los dispositivos de control e instrumentación.
 - Modelo CC-38-245

5. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

A/C: Aire Acondicionado

AEE: Aparatos Eléctricos y Electrónicos

AVF: Actuador de Frecuencia Variable

CA: Corriente Alterna

CCA: Complejo Ambiental de Arico

CCAC: Coalición de Clima y Aire Limpio para reducir los contaminantes de corta vida Climáticos

CFC: Clorofluorocarburos

CMCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CO₂-eq: CO₂ equivalente

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles o en inglés (VOC)

CRM: Circulación de Renuevo Meridional

DU: Unidades Dobson

EDE: Eficacia de Destrucción

EPA: Agencia de Protección Ambiental americana; Environmental Protection Agency

EPOC: Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GR: Gases Refrigerantes

HC: Hidrocarburos

HCFC: Hidroclorofluorocarburos

HFC: Hidrofluorocarburos

HFE: Hidrofluoréteres

IDM: Inhalador de Dosis Medidas o inhalador con dosificador

IEEE: Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del IPCC

IGFEI: Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change o en español Grupo Intergubernamental de expertos en el Cambio Climático

IPS: Inhalador de Polvo Seco.

LCCP: Life Cycle Climate Performance o en español; Repercusión Climática durante el Ciclo de Vida

PCA: Potencial de Calentamiento Atmosférico

PFC: Perfluorocarburos

ppm: Partes por millón

RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

SAO: Sustancias Agotadoras del Ozono

SIG: Sistema Integrado de Gestión

SOV: Sustancia Orgánica Volátil

TEWI: Total Equivalent Warming Impact

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

VOC: Volátil Organic Component (en español es COV)

6. BIBLIOGRAFÍA

Himmelblau D. M. 1997. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana SA. Sexta Edición

McCabe W. L., Smith J. C. y Harriott P. 1991. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Editorial Mcgraw-Hill. Cuarta edición.

Perry R. H., Green D. W. y Maloney. J. O. 1997. Perry's Chemical Engineer's Handbook. Editorial Mcgraw-Hill. Séptima Edición.

1) DOCUMENTACION CONSULTADA EN EWASTE CANARIAS SL:

- I. Estudio Gases Refrigerantes en España. 2014
- II. Estudio de la posible Valorización de Sales procedentes del Tratamiento de Gases Refrigerantes. 2015

2) DOCUMENTACIÓN CONSULTADA EN INTERNET:

- i. Manual Práctico de Ventilación 2ª EDICIÓN de Salvador Escoda S.Ay con colaboración con Soler & Palau. (Información Técnica): Página web: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/tec-ve.htm>

- ii. Catálogo de Conjuntos de ventilación con motor MUNDOFAN serie CM de Salvador Escoda S.A. Página web: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/CM/tec-cv.htm>
- iii. Catálogo Técnico de Campanas Extractoras de Mundo Fan. Página web: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/index.htm>
- iv. Catálogo de filtros KF y placas deflectoras de Salvador Escoda S.A. Página web: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/Cfil/tec-cfil.htm>
- v. Catálogo de Instrumentación y Medida de Salvador Escoda S.A. Página web: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/IM/tec-im.htm>
- vi. Catálogo técnico de Sistemas de Ventilación Soler & Palau (S&P). Página web: https://www.solerpalau.es/media/formacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf
- vii. Cláusulas que contienen compromisos jurídicamente vinculantes, en virtud de la Convención de Montreal (1987) y de Kyoto (1997) a todas las Partes incluidas en el año y países de economía en transición a los niveles de emisión de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas (1992). Página web: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> (Protocolo Kyoto)
- viii. La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE). 2005. Página web: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmts_sp.pdf
- ix. Cambio Climático 2007 Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Página web: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

3) DOCUMENTOS Y REFERENCIAS LEGISLATIVAS:

- (1996/61/CE), DOCE núm. L 257, de 10 de octubre 1996 sobre la Prevención y Control Integrado de la Contaminación.
- Real Decreto-Ley 4/2001, «BOE» núm. 42, de 17 de febrero de 2001, sobre el régimen de intervención administrativa aplicable a la valorización energética de harinas.

- Ley 16/2002, «BOE» núm. 157, de 2 de julio de 2002 sobre la Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- RD 1619/2005 «BOE» núm. 2, de 3 de enero de 2006, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso.
- (2008/98/CE) «DOUE» núm. 312, de 22 de noviembre de 2008, sobre obre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Real Decreto 795/2010«BOE» núm. 154, de 25 de junio de 2010 por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan.
- Ley 22/2011 «BOE» núm. 181, de 29 de julio de 2011, de residuos y suelos contaminados.
- Ley 16/2013 «BOE» núm. 260, de 30 de octubre de 2013, por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras.
- RD 1042/2013«BOE» «BOE» núm. 312, de 30 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero, y por el que se modifican el Reglamento del Procedimiento para el ejercicio de la potestad sancionadora, aprobado por el Real Decreto 1398/1993, de 4 de agosto, el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades, aprobado por el Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, el Reglamento del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas, aprobado por el Real Decreto 439/2007, de 30 de marzo, y el Reglamento del Impuesto sobre el Valor Añadido, aprobado por el Real Decreto 1624/1992, de 29 de diciembre.

ANEXO I. PRESUPUESTO

- Presupuesto Campana comercial para vahos Kappa-C
 - ✓ Catálogo KF 11835 (2340 x 3200 x 670 mm)5675,00 €
 - ✓ Sistema perimetral de recogida de grasas.....56,75 €
 - ✓ Depósito de aceite cilíndrico Ø=160 mm (2 l)12,50 €
 - ✓ **Precio total**.....**5744,25 €**

- Presupuesto Ventilador Centrífugo
 - ✓ Catálogo CMP (0,5 kW)
 - ✓ Modelo $Q_{\max.} = 4900$ (m³_{aire}/h)899,40 €
 - ✓ Caja de acero galvanizado.....345,70 €
 - ✓ Accesorios para las conexiones.....24,50 €
 - ✓ **Precio total**.....**1269,6 €**

- Presupuesto Tuberías y Accesorios;
 - ✓ Tuberías Acero Inox 316 AISI.....19,95 €/m
 - ✓ Tubería Acero Inox 316 AISI (5,2 m)103,74 €
 - ✓ Codo de 90° Acero AISI 316 de radio largo.....29,10 €/m
 - ✓ 3 unidades de codos90° Acero AISI 316.....87,30 €
 - ✓ Accesorios para las conexiones.....45,60 €
 - ✓ **Precio total**.....**263,64 €**

- Electroválvula de retención
 - ✓ Grupo electrónico-actuador.....357,30 €
 - ✓ Elemento mecánico (Tipo Clapeta)276,50 €
 - ✓ Accesorios para las conexiones.....25,50 €
 - ✓ **Precio total**.....**659,30 €**

- Presupuesto Componentes para la Filtración
 - ✓ Carcasa metálica con rejilla de Aluminio.....17,50€
 - ✓ Filtro de aire.....66,00 €
 - ✓ **Precio total**.....**83,50 €**

- Presupuesto Placas deflectoras
 - ✓ Dimensiones: (390x490x50mm) y 1,5 mm de espesor
 - ✓ Estructura doble tubular.....35,80 €
 - ✓ Placas deflectoras Acero Inox 304 AISI.....36,00 €Ud.
 - ✓ Placas deflectoras (6 unidades y doble acampanamiento 45°)216,00 €
 - ✓ **Precio total**.....**251,80 €**

- Presupuesto Control e Instrumentación
 - ✓ Centralita de control BOXPRES KIT TX-80 VE-9670.....445,70 €
 - ✓ Indicador de P_{dif} y Caudalímetro DPT-FLOW1000-D-AZ 0,75kW.....72,50 €
 - Sensor.....26,30 €
 - ✓ Transmisor de Vel-Temp VE-01-814. REGV-3A.....64,10 €
 - Sensor.....16,15 €
 - ✓ Alarma IM-11-335 Sirena 85/102 dB.....74,60 €
 - ✓ Caja de registro para la instrumentación CC-38-245.....56,70 €
 - ✓ **Precio total**.....**756,05 €**

- **Precio total Puerta**.....**1200,00 €**

- **TOTAL**.....**10228,14 €**

ANEXO II. PLANOS:

- ❖ PLANO A1: Plano general de las instalaciones de Ewaste Canarias SL.
(DIN-A4)

- ❖ PLANO A2: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de gases.
(DIN-A3)

- ❖ PLANO A3: Planta (Sección a 1.5 metros de altura) de la “cabina–campana” de extracción de contaminantes.
(DIN-A3)

- ❖ PLANO A4: Alzado de la “cabina–campana” de extracción de contaminantes.
(DIN-A3)

- ❖ PLANO A5: Perfil izquierdo. de la “cabina–campana” de extracción de contaminantes.
(DIN-A3)

- ❖ PLANO A6: Perfil derecho. de la “cabina–campana” de extracción de contaminantes.
(DIN-A3)

ANEXO III. BALANCES DE MATERIA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO:

A continuación, se presentan los resultados del balance de materia realizado en las diferentes etapas del tratamiento. Partiendo desde el punto de vista de que la planta tiene que trabajar de forma simultánea con el resto de líneas existentes en Ewaste Canarias SL. Para ello se establece un régimen de operación de 6 kg/h de carga de refrigerante crudo a extraer y conducir hacia planta dichos gases. Esta premisa se establece al tener como nivel máximo de consumo de la planta de tratamiento de gases 12 kg/h, (A criterio del fabricante). La existente y en funcionamiento planta de procesado de frigoríficos envía un caudal de 6 kg/h de refrigerante crudo.

A partir del análisis de los equipos de A/C a tratar que inicialmente llegan transportados en camión y se procede a su ordenamiento en el momento de la descarga en la dársena exterior para acumularlos en el emplazamiento a determinar por la gestión directiva de la empresa. Una vez se hayan seleccionado por orden de peligrosidad ambiental, prioridad absoluta a los equipos que puedan estar emitiendo el gas contaminante.

Una vez se tenga el stock de equipos de A/C establecido se comenzará a introducirlos en la nave y disponerlos en la cabina, mediante carretilla transportadora

A continuación, se describen las diferentes opciones a la hora de introducir en el dispositivo objeto de este proyecto los diferentes equipos de A/C.

Equipos	Unidades máx.	Unidades mín.	Carga de refrigerante en un solo equipo (kg)	Carga refrigerante máx. total (kg)	Carga refrigerante mín. total (kg)	Caudal gas refrigerante máx. (kg/h)	Caudal gas refrigerante máx. (kg/h)
portátil pequeño	10	5	0,2	2	1	0,33	0,17
portátil grande*	5	4	0,8	4	3,2	0,67	0,53
fijo mediano	3	2	1	3	2	0,5	0,33
fijo grande	2	1	3	6	3	1	0,5

Tabla – 18. Carga de refrigerantes en los diferentes equipos para el cálculo del caudal de refrigerante emitido.

*Equipos de A/C fijos pequeños son introducidos en el grupo de portátiles grandes

Carga de refrigerantes que poseen los diferentes equipos de A/C:

Equipos A/C	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Volumen medio (litros)	Carga de refrigerante mg/unidad A/C
Portátil pequeño	200	200	300	12	> 80-100
Portátil grande*	250	250	500	31,25	> 100-300
Fijo mediano	350	500	500	87,5	> 300-500
Fijo grande	+500	+500	+500	+125	> 0,5-3,5 (kg)

Tabla – 19. Carga de refrigerantes en los diferentes equipos para el cálculo del caudal de refrigerante emitido.

*Equipos de A/C fijos grandes con cargas de refrigerante mayores de 1kg se instalan y se desmantelan en su localización.

En la siguiente tabla se describen las condiciones de temperatura que encontraremos en planta, también los porcentajes en masa de los gases refrigerantes presentes, los valores de las emisiones que hemos determinado anteriormente

<i>BASES DE DISEÑO PROCESO</i>			
Temperatura media de entrada	18 (°C)		Temp. Ambiente
Tipo de Contaminante	<i>R11</i>		10-30 % m/m
	<i>R12</i>		10-30 % m/m
	Total de CFC		+50 % m/m
	<i>R134a</i>		10-30 % m/m
	<i>Otros (HFC y HCFC)</i>		5 % m/m
	<i>H.C(isobutano ciclopentano y restos de aceite).</i>		5 % m/m
	<i>H₂O</i>		10 % m/m
Caudal máxico máximo de gas refrigerante	6		Kg/h
Valores de emisiones del contaminante emitido por los equipos cargados	Mín.	0.2	Kg/h
	Media	0.5	Kg/h
	Máx.	6	Kg/h
Funcionamiento	8 - 16		h/día
	240		d/año

Tabla – 20. Condiciones del proceso para establecer el balance de materia en la planta de tratamiento

El cálculo de las sales obtenidas en el proceso, se realizará mediante un balance de materia de las principales etapas del proceso de conversión de los gases a sales.

El planteamiento de los balances resulta de la aplicación de los cálculos necesarios para obtener las diferentes relaciones de kmol/h tanto de los reactivos como de los productos, en las diferentes etapas, a partir de una corriente máxima de 6 kg/h de flujo másico de refrigerante. Así se obtiene una estimación del gasto de bicarbonato sódico comercial y establecer el nivel de compra al proveedor por parte del departamento correspondiente de Ewaste Canarias SL.

Se establecen 4 casos particulares con diferentes concentraciones de refrigerantes.

CASO	% DE REFRIGERANTES			
	R-11	R-12	R-134a	TOTAL
A)	25	25	30	80
B)	40	10	30	90
C)	10	40	30	90
D)	30	30	30	90

Tabla – 21. Condiciones de entrada a la planta de la corriente que sale de la cabina (% en masa)

Los diferentes casos representan, bajo las condiciones generales establecidas, variables hipotéticas que representan condiciones límites para valorar una serie de conclusiones que permitan al departamento técnico de Ewaste Canarias SL tener una estimación de las condiciones de trabajo y operatividad.

OXIDACIÓN TÉRMICA:

Los cálculos realizados para elaborar la siguiente tabla son:

$$\dot{m}_{masico-i} \left(\frac{kg_i}{h} \right) = \dot{m}_{total} \left(\frac{6 kg_{total}}{h} \right) \cdot \%_{molar} \left(\frac{kmol_i}{kmol_{total}} \right)$$

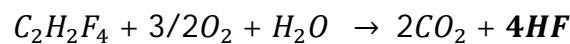
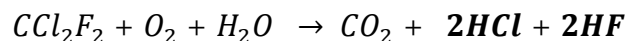
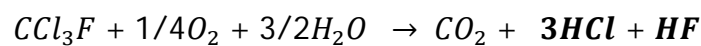
$$\dot{m}_{masico-i} \left(\frac{kg_i}{h} \right) / PM \left(\frac{kg_i}{kmol_i} \right) = \dot{M}_{molar-i} \left(\frac{kmol_i}{h} \right)$$

	REFRIGERANTE	PM (kg/kmol)	Fración molar (kmol componente/ kmol total)	Flujo másico componente (kg/h)	Flujo molar componente (kmol/h)
CASO A	R-11	137,4	0,25	1,875	0,011
	R-12	120,9	0,25	1,875	0,012
	R-134a	102,0	0,30	2,25	0,018
	TOTALES		0,80	6	0,041
CASO B	R-11	137,4	0,40	3	0,017
	R-12	120,9	0,10	0,75	0,005
	R-134a	102,0	0,30	2,25	0,018
	TOTALES		0,80	6	0,040
CASO C	R-11	137,4	0,10	0,75	0,004
	R-12	120,9	0,40	3	0,020
	R-134a	102,0	0,30	2,25	0,018
	TOTALES		0,80	6	0,042
CASO D	R-11	137,4	0,30	2	0,013
	R-12	120,9	0,30	2	0,015
	R-134a	102,0	0,30	2	0,018
	TOTALES		0,90	6	0,046

Tabla – 22. Balance del proceso de Oxidación Térmica.

Obtenemos en la Tabla 22 las cantidades en kmoles/h de refrigerantes que se va a procesar para determinar el caudal molar de producción de ácidos (HCl y HF) que se generan al procesar las mezclas de refrigerantes con aire expuestas en las tablas anteriores

Las reacciones en la etapa de oxidación térmica son del R-11, R-12, R134A; son:



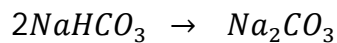
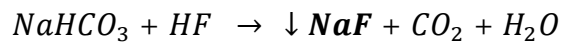
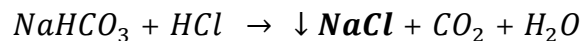
Calculamos mediante un balance estequiométrico los caudales de producción de ácidos y también los caudales molares de CO₂ y H₂O que se generan en las reacciones de oxidación:

	REFRIGERANTE	<i>Caudal Molar [HCl] (kmol/h)</i>	<i>Caudal Molar [HF] (kmol/h)</i>	<i>Caudal Molar [CO₂] (kmol/h)</i>	<i>Caudal Molar [H₂O] (kmol/h)</i>
CASO A	R-11	0,0328	0,0109	0,0109	-
	R-12	0,0248	0,0248	0,0124	-
	R-134a	-	0,0706	0,0353	0,0176
	TOTALES	0,0576	0,1063	0,0586	0,0176
CASO B	R-11	0,05241	0,03494	0,01747	-
	R-12	0,01489	0,00992	0,00496	-
	R-134a	-	0,07057	0,03528	0,0176
	TOTALES	0,0802	0,1154	0,0577	0,0176
CASO C	R-11	0,01310	0,00437	0,00437	-
	R-12	0,03970	0,03970	0,01985	-
	R-134a	-	0,07057	0,03528	0,0176
	TOTALES	0,0528	0,1146	0,0595	0,0176
CASO D	R-11	0,03931	0,01310	0,01310	-
	R-12	0,02977	0,02977	0,01489	-
	R-134a	-	0,07057	0,03528	0,0176
	TOTALES	0,0691	0,1134	0,0633	0,0176

Tabla – 23. Balance del proceso de Neutralización.

NEUTRALIZACIÓN:

Las reacciones en la etapa de oxidación térmica son del R-11, R-12, R134A;
son:



De forma similar calculamos mediante otro balance estequiométrico los caudales de consumo de ácidos y de NaHCO₃ en las reacciones de neutralización y también los caudales molares producidos y acumulados de CO₂ y H₂O:

	<i>REACTIVOS</i>			<i>PRODUCTOS</i>			
	<i>HCl</i>	<i>HF</i>	<i>NaHCO</i> ₃	<i>NaCl</i>	<i>NaF</i>	<i>CO₂</i>	<i>H₂O</i>
CASO A	0,0576	0,1063	0,1639	0,0576	0,1063	0,1639	0,1639
CASO B	0,0802	0,1154	0,1956	0,0802	0,1154	0,1956	0,1956
CASO C	0,0528	0,1146	0,1674	0,0528	0,1146	0,1674	0,1674
CASO D	0,0691	0,1134	0,1825	0,0691	0,1134	0,1825	0,1825

Tabla – 24. Resultados de balance del proceso de Neutralización.

Se puede establecer una comparación de las entradas y salidas del proceso de tratamiento de gases, de las líneas de frigoríficos y A/C. Finalmente la evaluación del consumo de bicarbonato sódico necesario al mes, para valorar que coincide con el consumo de la planta con la línea de frigoríficos (entre 4-5 toneladas al mes), debido a que ambos tienen un mismo caudal máximo de carga de refrigerante de 6 kg/h. Y que ambos pueden operar simultáneamente.

Se comprueba que el caso 4 posee el mayor consumo de bicarbonato sódico debido a su mayor porcentaje de R-11, que posee mayor peso molecular. Aspecto a tener en cuenta como principal desviación al comportamiento, generalmente constante, a la hora de procesar mezclas de refrigerantes, ya que los consumos son independientes de los porcentajes de cada refrigerante presente salvo en el mencionado caso.

	<i>NaHCO₃</i> (<i>kmol/h</i>)	<i>NaHCO₃</i> (<i>ton/mes</i>) <i>8h/d</i>	<i>NaHCO₃</i> (<i>ton/mes</i>) <i>16h/d</i>
CASO A	0,164	2,20	4,41
CASO B	0,196	2,63	5,26
CASO C	0,167	2,25	4,50
CASO D	0,182	2,45	4,91

Tabla – 25. Consumo de Bicarbonato comercial.

CONCLUSIONES

Se cumple la premisa de diseño del sistema para operar de forma simultánea con el resto de línea existentes en la planta de reciclaje de Ewaste Canarias SL para que entre todas se alcance el máximo régimen de operación para la planta de 12 kg/h.

Se comprueba que los resultados se ajustan aceptablemente al consumo que tiene la planta de tratamiento de gases con la línea de trituración de frigoríficos (entre 3-5 toneladas al mes), debido a que ambos tienen un mismo caudal máximo de carga de refrigerante de 6 kg/h.

Para el Sistema de extracción de contaminantes opere de forma optimizada se proponen las siguientes recomendaciones de cara a integrar más controles y pautas y mejorar la eficiencia como la clasificación de las sales de producto.

- a) El consumo de bicarbonato sódico a la hora de procesar mezclas de refrigerantes es independiente de la concentración de los mismos, exceptuando el R-11, que posee el mayor peso molecular de todos los refrigerantes.
- b) Principal desviación de la producción de sales es una mayor cantidad de NaF que NaCl. Aspecto lógico ya que por molécula de refrigerante solo el R-11 presenta una mayor cantidad de átomos de Cl que de F, el R-12 están presentes por igual y el resto predomina una mayor presencia de átomos de F.

Para Optimizar el proceso de forma global se recomienda:

1. Análisis del proceso de tratamiento de gases y de la extracción de refrigerantes de las unidades de A/C de forma periódica, tanto un seguimiento de ambos procesos como del mantenimiento de las propias unidades. (A realizar por Ewaste Canarias SL a través de inspecciones técnicas y controles semanales, mensuales, trimestrales/cuatrimestrales y anuales.)
2. Mejor evaluación de los balances “entrada/salida” del proceso de tratamiento de gases y de la extracción de refrigerantes de las unidades de A/C mediante el sondeo de las conducciones y su conexión al sistema de control global de la planta de Ewaste Canarias SL (A realizar por el fabricante de la planta de gases y la planta de trituración.)

3. Simulaciones mediante aplicaciones informáticas. Obteniendo información independiente de las líneas que la planta que operen simultáneamente.
 - Línea de frigoríficos
 - Línea de A/C
 - Pelletizadora
 - Botellones a presión

- c) Gestión del stock de unidades de A/C para optimizar la etapa de carga y descarga de la cabina.

- d) Los equipos permanecerán un tiempo en cabina determinado por la cantidad de refrigerante que hay por unidad de A/C:
 - 4 horas las unidades pequeñas de A/C.
 - 6horas las unidades medianas de A/C.
 - +7 horas unidades grandes de A/C.

ANEXO IV. VALORIZACIÓN DE LAS SALES OBTENIDAS

El volumen de *Residuos Sólidos Urbanos (RSU)* que generamos es aproximadamente de media por encima de los 25 millones de toneladas en el año en España en la última década. Alrededor del 40% de los RSU son recuperables, en cambio el 60% restante está formado por residuos que no se pueden separar fácilmente o su recuperación es más compleja. Estos últimos, al no ser aptos para reciclar, se llevarían a un vertedero controlado. Para evitar que la mayoría de dichos residuos vayan al vertedero, Ewaste Canarias SL busca la forma de obtener beneficios de ellos, es lo que se llama *valorización de residuos*.

Según la *Directiva 2008/98/CE* de residuos, la valorización se define como la operación cuyo resultado principal es que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular. Preparación del residuo para cumplir una función particular, en la instalación o en la economía en general.

TIPOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS:

- *Valorización Energética:* Principalmente es la incineración de los residuos, obteniendo pequeñas cantidades de residuos y energía proveniente de los materiales contenidos. Se obtiene es el *Combustible Sólido Recuperado (CSR)*.
- *Valorización material:* es la obtención de nuevos materiales, o el reciclaje de parte de ellos, para evitar el uso de nuevas materias primas.

Aquellos residuos que no pueden ser ni reciclados ni valorizados terminarán en vertederos controlados para su eliminación. Según la *Ley 22/2011* de residuos, dicha eliminación tiene que ser además de segura, que adopte unas medidas para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente.

La valorización de residuos es una actividad avalada por la Unión Europea, el Estado español y las distintas Comunidades Autónomas, situándola dentro de la “jerarquía de gestión de residuos” por detrás del reciclado, y siempre por delante de la eliminación de los mismos en vertedero.

Destacar que dicha actividad está absolutamente regulada desde un punto de vista jurídico, ya que la legislación que regula la valorización de residuos, detallada

fundamentalmente en Directivas comunitarias, que una vez traspuestas a nuestro ordenamiento jurídico interno, se convierten en legislación de obligado cumplimiento (ISO-UNE).

LEGISLACIÓN SOBRE RESIDUOS:

Con carácter general, podemos diferenciar tres grandes áreas legislativas que regulan la actividad de valorización de residuos:

- La regulación de actividades industriales, mediante la legislación sobre prevención y control integrado de la contaminación.
 - *Ley 16/2002*, de prevención y control integrados de la contaminación
 - *Directiva 1996/61/CE* sobre prevención y control integrados de la contaminación.
- La legislación sobre residuos:
 - *Directiva 2008/98/CE* (en España *Ley 22/2011*) sobre residuos y suelos contaminados
 - *Real Decreto 1619/2005* (Residuos de ruedas)
 - *Real Decreto-Ley 4/2001* valorización energética de harinas de origen animal procedentes de la transformación de despojos y cadáveres de animales.
- La legislación sobre incineración y co-incineración de residuos.
 - *Real Decreto 815/2013*

Regulación de actividades industriales:

Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (*Directiva 1996/61/CE*, sobre prevención y control integrados de la contaminación).

En las autorizaciones ambientales integradas, específicas para cada planta industrial, se incluyen las autorizaciones relativas a la valorización de residuos, destacando los siguientes condicionantes:

- Los criterios para regular el proceso de aceptación de residuos para co-incineración.

- Los valores térmicos a alcanzar por los gases de combustión en caso de valorizarse residuos.
- Limitaciones relativas a la alimentación de los residuos a la instalación.
- Valores límite de emisión para determinados contaminantes a alcanzar en los procesos de tratamiento térmico de residuos.

Directiva 2008/98/CE

La Valorización viene definida como “cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.”

Se aplica el siguiente orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos:

- Prevención
- Preparación para la reutilización
- Reciclado
- Otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética
- Eliminación

Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados (Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos)

Artículo 3. Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general.

Artículo 16. Las autoridades competentes podrán establecer medidas económicas, financieras y fiscales para fortalecer y/o mejorar los mercados del reciclado, así como para que el sector de los residuos contribuya a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Con estas finalidades podrán establecerse cánones aplicables al vertido y a la incineración de residuos domésticos.

Real Decreto 1619/2005, la gestión de neumáticos fuera de uso.

Este real decreto tiene por objeto prevenir la generación de neumáticos fuera de uso, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, y fomentar, por este

orden, su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente.

Real Decreto 815/2013, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la *Ley 16/2002*, de prevención y control integrados de la contaminación.

Real Decreto 653/2003, sobre incineración de residuos. En él se distinguen dos tipos de instalaciones: incineradoras y co-incineradoras (cementeras, centrales térmicas, ...), que se definen como las instalaciones cuya finalidad principal sea la generación de energía o la fabricación de productos materiales y que utilicen residuos como combustible habitual o complementario, o bien que eliminen residuos mediante tratamiento térmico. En este sentido, el capítulo IV de este Real Decreto recoge las disposiciones de aplicación para las instalaciones que incineren y co-incineren residuos. Entre otras disposiciones se incluyen las relativas a:

- Condiciones de recepción de los residuos que vayan a utilizarse como combustibles
- Condiciones de diseño, equipamiento, construcción y explotación de las instalaciones
- Control y seguimiento de las emisiones
- Cumplimiento de los valores límite de emisión: Disposiciones técnicas para las instalaciones de incineración y co-incineración.

En cuanto a la gestión de las sales obtenidas en el proceso de neutralización de los gases, la jerarquía a seguir será la siguiente, teniendo en cuenta que en cada una de las alternativas siempre será primera opción su gestión en Canarias, seguida de la Península y, finalmente, el mercado internacional:

- Valorización como subproducto.
- Vertido de sales en Vertederos.
- Vertido de sales como efluentes.
- Entrega de sales a gestores de residuos.

Por consiguiente, obedeciendo el orden establecido, se comenzará estudiando la valorización de las sales como subproducto.

En primer lugar, es importante aclarar que la composición mayoritaria de este subproducto heterogéneo se corresponde con sales de sodio, principalmente: Carbonato sódico (Na_2CO_3), Cloruro de sodio (NaCl) y Fluoruro de sodio (NaF), aunque sus

proporciones varían conforme lo hace la composición de los CFCs a la entrada del proceso de tratamiento.

De este modo, nuestro objetivo será valorizar este producto de forma conjunta, es decir, poder comercializarlo tal y como se obtiene, sin separar las sales que lo forman. A continuación, se estudiarán las principales aplicaciones de dichas sales para conocer el sector de la industria en el que este subproducto podría tener salida.

PRODUCCIÓN DE SALES

▪ *Carbonato de Sodio: Na₂CO₃*

La formación de este compuesto en el proceso de tratamiento de los gases refrigerantes se debe a la descomposición térmica del bicarbonato sódico (NaHCO₃)

El carbonato sódico (Na₂CO₃) es una sustancia con gran variedad de aplicaciones, entra las que se pueden destacar desde su uso como pigmento, agente neutralizador, o como parte de jabones y detergentes.

Actualmente se emplea el proceso denominado Solvay (1865). Las etapas del proceso Solvay son las siguientes:

- Columna de saturación.
- Columna de carbonatación.
- Columna recuperadora de amoníaco.
- Hornos de calcinación.

❖ *Manufactura de vidrio*

A muy altas temperaturas, se descompone dando lugar a Na₂O, que otorga mayor fluidez al vidrio y disminuye su temperatura de fusión.



❖ *Tratamiento de aguas:*

Dureza:

Al agregar Na_2CO_3 soluble, permite precipitar los restantes iones presentes en el agua, eliminando así aquellos iones que contribuyen a la dureza del agua.

pH:

En los procesos de desinfección de aguas de piscinas se produce cloro libre y ácido clorhídrico, provocando que el pH del agua caiga por debajo de 2, se hace necesario una continua y automática adición de álcali en forma de carbonato sódico o, en ocasiones, de hidróxido sódico.

❖ *Producción de jabones y detergentes*

El carbonato de sodio se emplea para la saponificación de los ácidos grasos en la fabricación de detergentes, por sus propiedades para eliminar la dureza del agua, hace que precipiten los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} como carbonatos (CaCO_3 y MgCO_3). Facilitando la eliminación de las manchas de grasa, aceite y alcohol de la ropa.

▪ *Cloruro de Sodio* (sal común): NaCl

Existen diferentes tipos de NaCl comercial dependiendo del origen, pureza o tamaño de grano. De este modo, existen numerosas aplicaciones del cloruro de sodio, entre las que se pueden destacar:

- Producción de Cloro para tratamiento de aguas.
- Procesado de metales.
- Celulosa.
- Textiles y colorantes.
- Curtiduría. (*Proceso que convierte las pieles de los animales en cuero*)
- Control de hielo y estabilización de carreteras.

❖ *Producción de Cloro para des-endurecimiento de aguas*

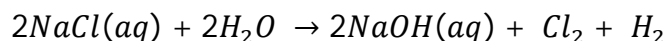
En los procesos de ablandamiento del agua, las resinas de intercambio iónico es la tecnología empleada normalmente. Es necesario regenerarla con el objetivo de recuperar la capacidad de intercambio original. Para ello, se emplea una solución de

NaCl, reponiendo los iones sodio que han sido intercambiados. En ocasiones se emplean pastillas de sal en equipos descalcificadores de agua como los instalados en plantas depuradoras, lavanderías, hogares, hoteles, restaurantes, hospitales, etc.

❖ *Producción de Cloro para desinfección de aguas*

Los compuestos de cloro más frecuentemente empleados en las plantas de tratamiento del agua residual son: el cloro (Cl₂), el dióxido de cloro (ClO₂), el hipoclorito sódico (NaClO) y el hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂).

La producción de cloro se realiza a través de un proceso de electrólisis. Dicho proceso consiste en aplicar una corriente eléctrica al NaCl, permitiendo separarla en sus iones. Además de cloro gaseoso (Cl₂), se obtiene sosa cáustica (NaOH) e hidrógeno (H₂). La reacción que se produce es la siguiente:



Dependiendo del tipo de electrólisis que se emplee en la producción de cloro, la pureza de la sal requerida variará. Así, para la electrólisis de membrana, que es la mejor tecnología disponible y ampliamente extendida actualmente, establece unos límites de concentraciones de impurezas en la sal más estrictos.

❖ *Producción de materiales higroscópicos*

Al igual que todas las sales, aunque unas en mayor medida que otras, el NaCl se caracteriza por ser una sustancia higroscópica, absorbiendo la humedad que hay en el ambiente con facilidad. De ahí, su aplicación como desecante.

Una de las principales aplicaciones de los compuestos higroscópicos son los ciclos de absorción utilizados para refrigeración. Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y las sales (NaCl, LiBr), para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua.

▪ *Fluoruro de Sodio: NaF*

El fluoruro sódico (NaF), es una sustancia inorgánica, sólida, que generalmente se presenta como polvo cristalino, blanquecino y constituye la fuente principal del ion

fluoruro, puesto que es más económico que el fluoruro de potasio (KF) y menos higroscópico.

Las aplicaciones más habituales del NaF son:

- Como aditivo en pasta dentífrica.
- Metalurgia.
- Análisis químicos.
- Fabricación de monofluorofosfato sódico (NaFPO₄)
- Síntesis de sales para conservadores de madera.
- Preparación de fungicidas e insecticidas.
- Fluoración del agua.
- Opacificante* en la industria de esmaltes y cerámicas.

**Opacificante : (Óxido que, agregado al esmalte, no se funde, sino que queda suspendido en él, impidiendo que penetre la luz. Transforma un vidrio transparente en opaco.)*

❖ *Agente Anticaries*

El flúor tiene la característica de aumentar la resistencia del esmalte. Si se aplica flúor a alta concentración, se logra que en la capa superficial del esmalte se concentre gran cantidad de ion F, que reaccionará con calcio, formando fluoruro de calcio (CaF₂). A partir de este precipitado de CaF₂, se produce un intercambio más profundo del ion F con la hidroxiapatita (Ca₅(PO₄)₃(OH)), la cual representa el 99% del depósito de calcio corporal. Además, el flúor también contribuye a la remineralización de los dientes, favoreciendo la entrada en su estructura de iones calcio y fosfato debido a su gran actividad iónica. Esto sucede porque el flúor tiene carga negativa y atrae al calcio y fosfato cuya carga es positiva. Para este tipo de aplicación, el NaF debe estar en solución al 2%.

❖ *Producción de material dieléctrico*

El flúor tiene importantes propiedades dieléctricas, es decir, se comporta como un aislante eléctrico, empleándose como aditivo en superficies fluoropoliméricas antiadherentes. Una gran cantidad de flúor se emplea para producir hexafluoruro de azufre (SF₆). Se trata de un gas dieléctrico que se emplea en la industria electrónica. A su vez, el flúor monoatómico se utiliza en la fabricación de semiconductores. En cambio, su aplicación más conocida es la

producción de politetrafluoroetileno $[\text{CF}_2\text{-CF}_2]_n$, un polímero mejor conocido como Teflón, que se emplea en aislantes eléctricos, plásticos de alta temperatura, utensilios de cocina, etc.

❖ *Reducción de la viscosidad del vidrio*

Los compuestos de flúor se utilizan para incrementar la fluidez del vidrio fundido y escorias en la industria vidriera y cerámica. El fluoruro de Calcio (CaF_2) se introduce dentro del alto horno para reducir la viscosidad de la escoria en la metalurgia del hierro. La criolita (Na_2AlF_6), por su parte, se emplea para formar el electrolito en la metalurgia del aluminio.

❖ *Enriquecimiento de uranio*

El 70%-80% del flúor elemental (F_2) que se produce a nivel mundial, se emplea en la fabricación de hexafluoruro de uranio (UF_6) aplicándose en el campo de la energía nuclear, tanto con fines de producción energética en las centrales nucleares como militares.

❖ *Reactivo químico para la fabricación de ion fluoruro (F^-)*

El fluoruro de sodio es también un reactivo químico que se utiliza como una fuente de iones fluoruro para crear otros compuestos de fluoruro. Esto es debido a la fuerte capacidad del ion fluoruro para unirse a otros iones y para formar compuestos estables.

GESTIÓN DE LAS SALES COMO RESIDUO

Actualmente, el destino mayoritario de todos los residuos es su vertido, opción que, a su vez, representa la vía de gestión menos recomendable. Las otras vías de gestión posibles; como el reciclaje, la valorización material o energética.

Reducir cada vez más la eliminación de los residuos en vertederos y aumentar al máximo posible el peso específico de las otras vías más sostenibles. Debido a la incorporación de dos leyes que pueden representar los pilares de la gestión de los residuos: por un lado, la nueva *Directiva marco de los residuos de 2008* y, por el otro, la *Directiva relativa al vertido de residuos de 1999* (esta última ya traspuesta a la legislación española)

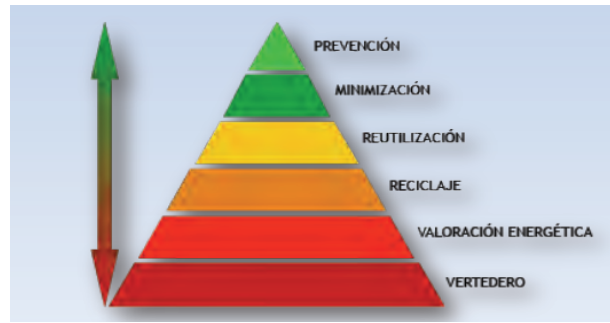


Gráfico – 24. Nivel de valoración en los métodos de gestión de residuos altamente contaminantes.

Teniendo en cuenta que las sales obtenidas en la neutralización de los gases refrigerantes son un producto homogéneo pero su composición variará conforme lo haga la proporción de determinados refrigerantes a la entrada del proceso, se debe estudiar la gestión de las mismas como residuo.

DEPOSICIÓN DE SALES EN VERTEDERO

Se hace necesario identificar de qué clase de residuo se trata y el tipo de vertedero correspondiente. Posteriormente, según el tipo de vertedero, habrá que estudiar los límites de concentraciones admisibles por el mismo.

Atendiendo al sistema europeo de catalogación de residuos, en base a las características físico-químicas del residuo, se considera aplicar el código de la Lista Europea de Residuos (LER) que le corresponda a cada tipo de residuo en particular.

El orden predeterminado en la gestión de residuos establece como última etapa la eliminación de los residuos en cuestión en depósitos controlados o de seguridad, obligando la *Ley 22/2011*, de residuos y suelos contaminados, a realizar un tratamiento previo antes del vertido, con el fin de disminuir el carácter de peligrosidad y/o nocividad medioambiental.

Para reducir la movilidad y toxicidad de los contaminantes presentes en los residuos, se emplean los procesos de estabilización, solidificación e inertización (E/S/I), que consisten en el uso de aglomerantes y aditivos para obtener un producto final sólido que pueda ser reutilizado o cuya eliminación en vertedero no suponga un problema para la salud de las personas o el medio ambiente.

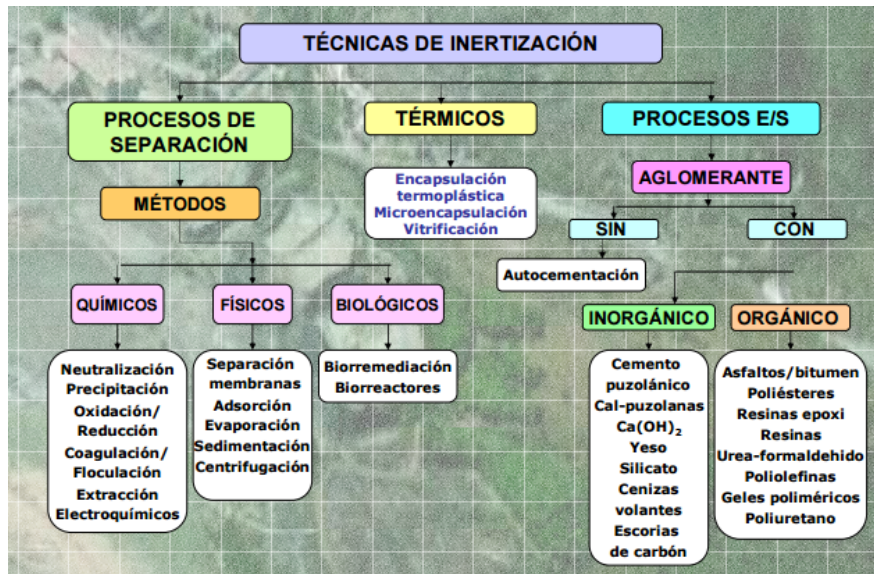


Gráfico – 25. Principales técnicas de inertización

Por tanto, la inertización es una técnica de tratamiento de residuos que engloba dos operaciones:

- *Estabilización;* (fijación o inmovilización), proceso que utiliza una serie de reactivos para:
 - Reducir la naturaleza peligrosa del residuo y la toxicidad de sus componentes.
 - Mejorar el manejo y las características físicas del residuo.
 - Disminuir la superficie a través de la cual puede tener lugar la transferencia o pérdida de contaminantes.
 - Limitar la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo.
 - Minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente.
- *Solidificación;* proceso de adición de reactivos con el fin de:
 - Solidificar el residuo (aunque en nuestro caso ya se encuentra en estado sólido).
 - Aumentar su resistencia.
 - Disminuir la compresibilidad y la permeabilidad.

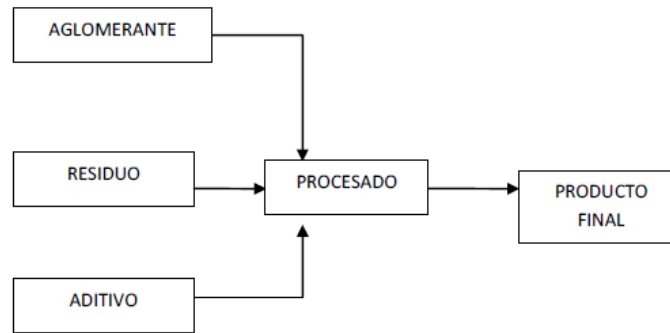


Gráfico – 26. Diagrama de bloques del proceso de Estabilización/Solidificación

Con este proceso de inertización se obtiene un producto final con las siguientes características:

- Mínima permeabilidad.
- Mínima producción de lixiviados.
- No ser inflamable.
- No ser biodegradable.
- No ser combustible.
- No poseer reactividad química.
- No desprende olor.

Las principales ventajas de la inertización con cemento son:

- La tecnología del cemento es bien conocida, incluido el manejo, mezcla, fraguado y endurecimiento.
- El cemento es muy utilizado en el campo de la construcción, por lo que el coste del material es relativamente bajo y el equipo y personal están fácilmente disponibles.
- Es efectivo para un amplio abanico de residuos, fundamentalmente inorgánicos.
- La alcalinidad del cemento puede neutralizar los residuos ácidos.
- Desventaja: la presencia de contaminantes orgánicos interfiere en la reacción de fraguado, disminuyendo la resistencia final.

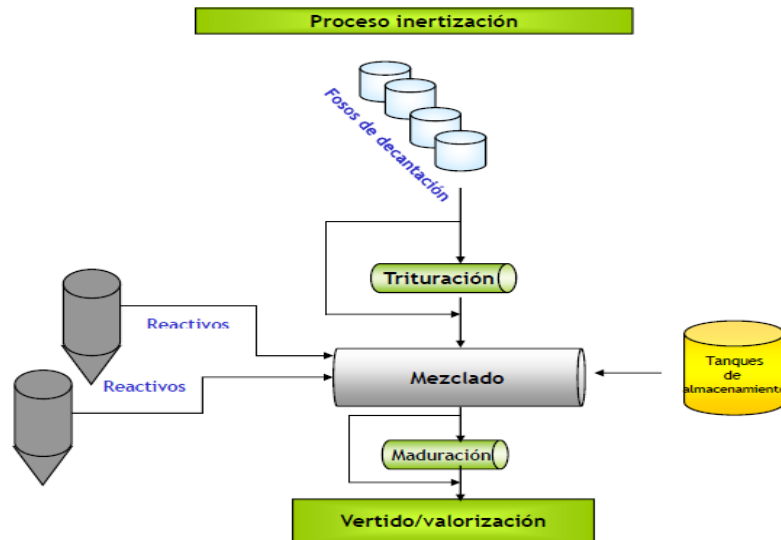


Gráfico – 27. Principales técnicas de inertización con cemento.

VERTIDO DE SALES COMO EFLUENTE

Atendiendo a la posible gestión de este residuo, se descarta la opción de verterlo como salmuera, puesto que supone una mayor operación logística, provocando un aumento el coste asociado a esta operación.

Otra alternativa en la gestión de este residuo en particular, es verterla mediante dilución previa para obtener una salmuera que cumpla con la normativa vigente sobre vertidos.

CONCLUSIONES DE LAS VALORIZACIONES DE LAS SALES:

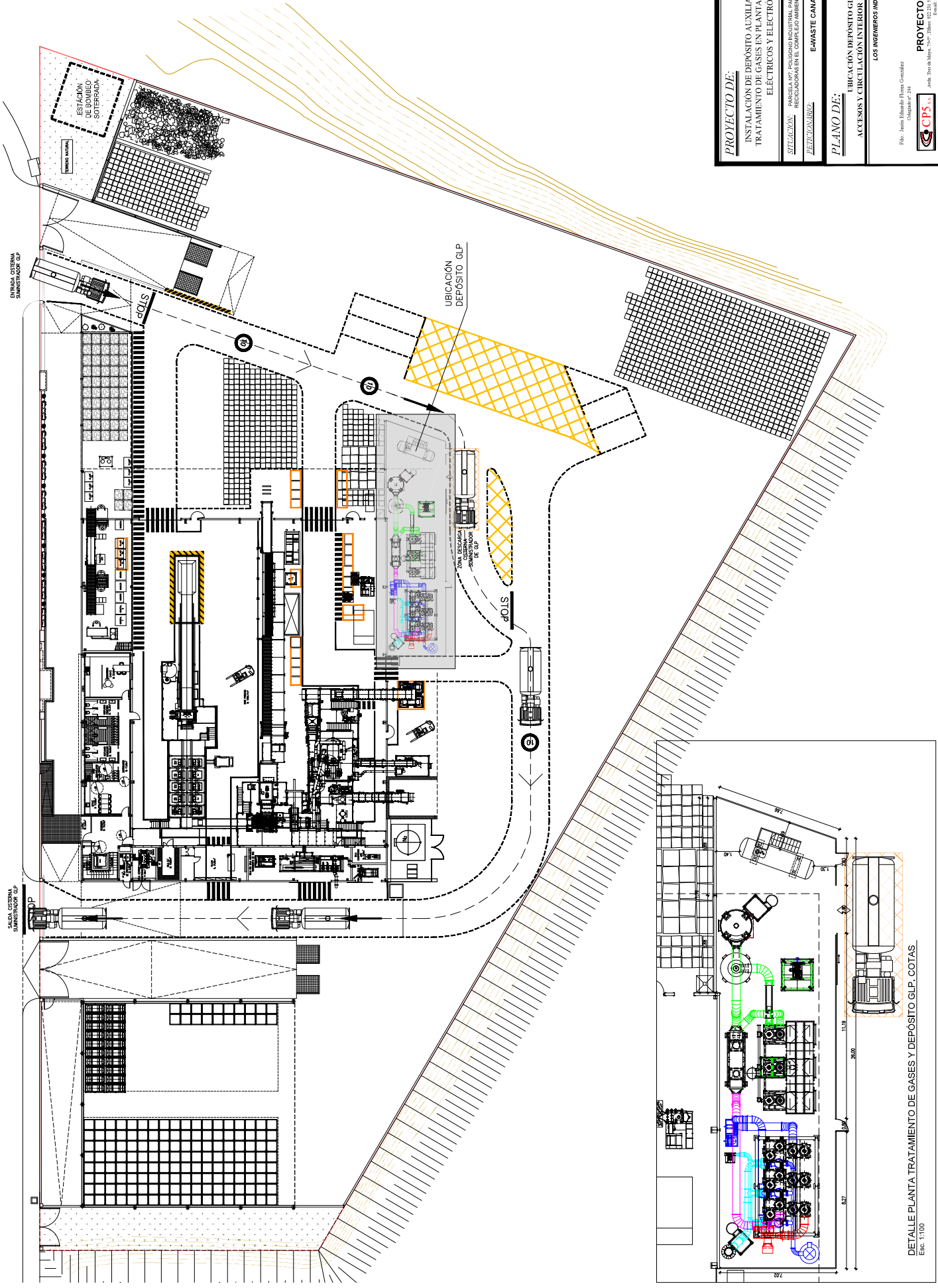
La principal conclusión que llegamos a la hora de atender a una posible valorización de las sales es que la producción de sales varía en su concentración de sales proporcionalmente a la presencia de átomos de Cl y F en las moléculas de los refrigerantes tratados. Dando lugar a un producto de concentración variable. Aunque de forma general la prohibición sobre los compuestos clorados es mayor que sobre los compuestos fluorados, por consiguiente, siempre va a ser mucho más probable que la presencia de NaCl sea menor que la de NaF.

A continuación, vamos a detallar los aspectos más destacados a tener en cuenta ante una posible valorización de las sales:

- *Producto de concentración variable.*
- *Mayor presencia de NaF que de NaCl.*

- *Baja demanda de industria en canarias para encontrar una posible venta.*
- *Cercanía al mar de la planta de reciclaje de Ewaste Canarias SL para un posible transporte marítimo a la hora de importar el producto.*
- *Coste del REACH.*
- *Proceso de separación de NaCO_3 de las sales de NaCl y de NaF altamente costos.*
- *Investigación de las sales en profundidad.*
- *Verterlo al medioambiente descartado por la política de empresa de Ewaste Canarias SL.*

Se presentan múltiples alternativas a la hora de encontrar una posible valorización al producto de diferentes sales del tratamiento de gases, se decidirá la de mejor viabilidad económica atendiendo no solo al precio de venta sino al coste del traslado si hubiera que transportarlo fuera de las Islas Canarias o España.



PROYECTO DE:

INSTALACION DE DEPÓSITO AUXILIAR DE GLP PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GASES EN PLANTA DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (R.A.E.E.)

SITUACION: PARCELA Nº. POLIGONO INDUSTRIAL PARA PROCESOS INDUSTRIALES, RECALIFICACION EN EL COMPLEJAMIENTO DE TERREPE, T.M. ARCO

PROYECTANTE: E-AMASTE CANARIAS, S.L.

PLANO DE: UBICACION DEPÓSITO GLP. ACCESOS Y CIRCULACION INTERIOR DE CISTERNA.

Nº: A-2
Escala: 1/2000

LOS INGENIEROS INDUSTRIALES

Fdo. José Manuel Pérez González
Colegiado nº 241

Fdo. José Manuel Villocha González
Colegiado nº 69

PROYECTOS Y GESTIONES

CPS S.A.

AVDA. TRINIDAD ANTES "54" - TELÉFONO: 922.231.454 - 241 - 691 - FAX: 922.231.498 (SABOR) - SANTA CRUZ DE TENERIFE
E-mail: info@cps.es

DETALLE PLANTA TRATAMIENTO DE GASES Y DEPÓSITO GLP. COTAS.
Esc. 1/100