

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

ESCOLA D'ENGINYERIA



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CFC-13

PROYECTO FINAL DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

TUTOR: JOSEP HUIX VIDAL



EDUARD CACHÀ

IRENE DEL POZO

ELENA ILZARBE

SARA ORTEGO

POLINA TSVETKOVA

CERDANYOLA DEL VALLÈS, JUNIO 2015

CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CFC-13



CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1-3
1.1.1. BASES DEL PROYECTO	1-3
1.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	1-3
1.1.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	1-4
1.1.3.1. Parámetros de edificación y plano de la parcela	1-4
1.1.3.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta.....	1-5
1.1.3.3. Características del medio físico de la zona	1-7
1.1.4. ABREVIACIONES	1-9
1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS.....	1-11
1.2.1. PRODUCTO DE INTERÉS: CFC-13	1-11
1.2.2. MATERIAS PRIMAS	1-13
1.2.3. SUBPRODUCTOS Y OTROS COMPUESTOS	1-14
1.2.4. CORROSIÓN Y MATERIALES.....	1-17
1.2.4.1. Sustancias y mezclas corrosivas.....	1-17
1.2.4.2. Compatibilidades	1-20
1.2.4.3. Criterios.....	1-21
1.2.4.4. Materiales seleccionados	1-23
1.2.4.5. Otras fuentes de degradación	1-23
1.2.4.6. Control de corrosión durante el tiempo de vida de la planta	1-24
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN	1-25
1.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	1-25
1.3.1. DIAGRAMA DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DETALLADA	1-27
1.4. CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA.....	1-31
1.4.1. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LA PLANTA.....	1-31
1.4.2. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS	1-32
1.4.3. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PLANTILLA DE TRABAJADORES.....	1-37
1.5. BALANCE DE MATERIA	1-38
1.6. ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIOS A LÍMITE DE PLANTA	1-48
1.6.1. SERVICIOS REQUERIDOS POR LA PLANTA	1-48
1.6.2. FLUIDOS.....	1-49
1.6.2.1. Aceite térmico (-20°C)	1-49
1.6.2.2. Aceite térmico (35°C).....	1-51
1.6.2.3. Aceite térmico (200°C).....	1-52
1.6.2.4. Agua de torre (35°C)	1-54

1.6.2.5. Agua de incendios.....	1-56
1.6.2.6. Agua de red.....	1-57
1.6.2.7. Agua desionizada	1-57
1.6.2.8. Nitrógeno	1-59
1.6.2.9. Aire comprimido	1-60
1.6.3. ENERGÍA	1-62
1.6.3.1. Electricidad	1-62
1.6.3.2. Gas natural.....	1-63
1.7. PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA	1-63
1.8. BIBLIOGRAFÍA	1-66

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. BASES DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente proyecto es el estudio y viabilidad de la construcción de una planta de fabricación de triclorofluorometano, en adelante CFC-13, a partir de tetracloruro de carbono (CCl_4) y ácido fluorhídrico (HF) ubicada en el término municipal de Sabadell. Para el diseño de la planta se ha tenido en cuenta la normativa y legislación vigente tanto a nivel urbanístico como sectorial, con especial atención a las áreas de seguridad y medio ambiente.

A continuación se detallan las especificaciones del proyecto:

- Capacidad de la planta: 10.000 t anuales de CFC-13
- Funcionamiento: de manera continua 300 días al año con una sola parada para realizar las tareas de mantenimiento.
- Presentación del producto: gas licuado a presión (botellas de $2,15 \text{ m}^3$)

1.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto incluye:

- Diseño y especificaciones de todas las unidades de reacción y proceso de producción del CFC-13.
- Diseño y especificaciones de las unidades de almacenamiento de materias primas, producto acabado y subproductos generados durante el proceso.
- Diseño del sistema de control necesario para el correcto funcionamiento de la planta.
- Especificación de las unidades de servicio necesarias.
- Diseño del sistema de seguridad e higiene adecuado en la planta.
- Identificación de los focos de impacto ambiental y tratamiento de los mismos.
- Evaluación económica y estudio de viabilidad de la planta.
- Puesta en marcha y operación de la planta.
- Diagramas generales, P&ID e implementación.

1.1.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

El emplazamiento escogido para la ubicación de la planta se encuentra en el término municipal de Sabadell, concretamente en el Polígono Industrial “Gasos Nobles”. Dicho municipio se encuentra en la provincia de Barcelona, al Noroeste de España (Figura 1-1), por lo que le será de aplicación toda la normativa urbanística relativa al municipio barcelonés.



Figura 1-1 Ubicación de Sabadell en España

La parcela tiene una superficie total de 70.095 m² con una resistencia del terreno de 2 kg/cm² a 1,5 m de profundidad sobre gravas. Los servicios disponibles y conexiones que tiene el emplazamiento son los detallados en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Servicios disponibles en la parcela escogida para el emplazamiento de la planta

SERVICIO DISPONIBLE	TIPO DE CONEXIÓN
Energía eléctrica	Conexión a pie de parcela desde la línea de 20 kV
Gas natural	Conexión a pie de parcela a media presión (1,5 kg/cm ²)
Agua de red e incendios	Conexión a pie de parcela a 4 kg/cm ² . Diámetro: 200 mm
Alcantarillado	Red de alcantarillado unitaria en el centro de la calle. Profundidad: 3,5 m y diámetro colector: 800 mm.

1.1.3.1. Parámetros de edificación y plano de la parcela

Los parámetros de edificación según la normativa urbanística del municipio de Sabadell para el Polígono Industrial “Gasos Nobles” son los recogidos en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Parámetros de edificación del Polígono Industrial "Gasos Nobles"

PARÁMETRO	
Edificabilidad	1,5 m ² techo/m ² suelo
Ocupación máxima de parcela	75%
Ocupación mínima de parcela	20% de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5 m a viales y vecinos
Altura máxima	16 m y 3 plantas. Excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
Altura mínima	4 m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza/150 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m

A continuación, en la Figura 1-2, se muestra el plano de la parcela donde se ubicará la planta de producción de CFC-13.

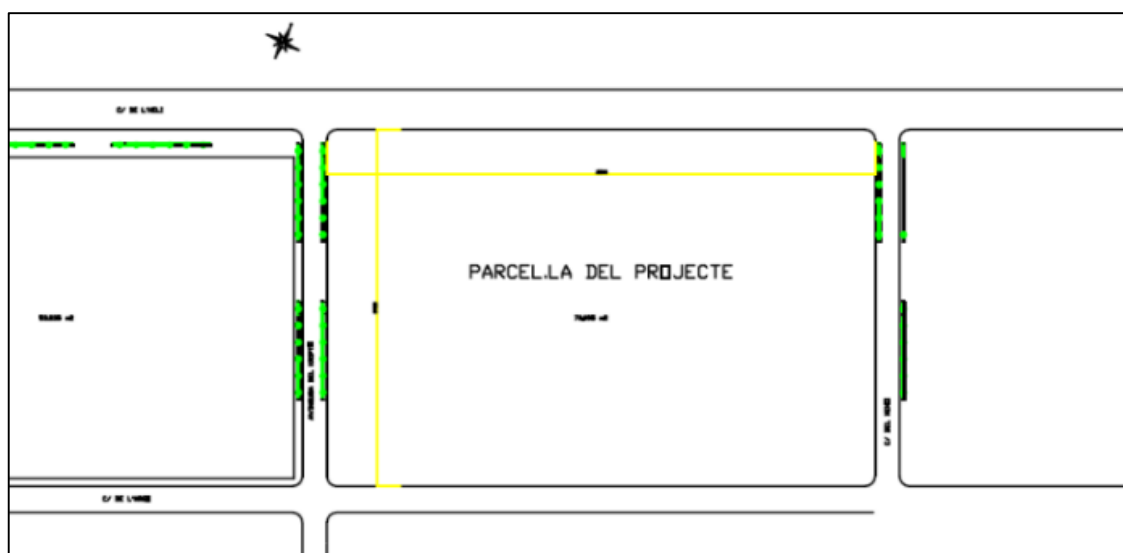


Figura 1-2 Plano de la parcela para la ubicación de la planta de CFC-13

1.1.3.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta

Las comunicaciones y accesos de una planta química son puntos clave en el momento de escoger el emplazamiento, principalmente por lo que se refiere al abastecimiento de materias primas, así como a la distribución del producto acabado para su comercialización.

Según el Ministerio de Fomento Español, en 2011 más del 90% del transporte de mercancías a nivel español son transportadas a través de la red de carreteras

(Figura 1-3). En ese sentido Sabadell goza de una buena comunicación por vía terrestre, la cual le permite estar conectada con otros puntos del territorio, tanto a nivel nacional como internacional.

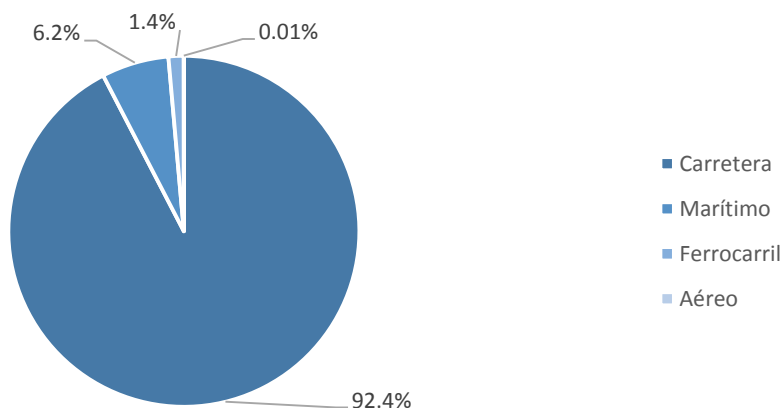


Figura 1-3 Distribución modal del transporte interior de mercancías en España (% en t, año 2011) Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MFOM

Además de su proximidad a grandes redes viarias que facilitan y aseguran el transporte rápido de mercancías, Sabadell se sitúa cerca de importantes áreas de recepción y transporte de mercancías, como lo son el Aeropuerto y Puerto de Barcelona y Puerto de Tarragona.

A continuación se detallan las infraestructuras de transporte de primer nivel situadas en las proximidades de Sabadell.

- **Transporte terrestre:** Sabadell presenta una conexión rápida a través de la carretera comarcal C-58 a la Autopista AP-7/A-7, carretera perteneciente a uno de los ejes prioritarios de conexión entre el territorio español con el resto de Europa (denominado corredor mediterráneo). Por lo que respecta a la red ferroviaria, Sabadell no dispone de línea ferroviaria con servicio de mercancía, siendo especializada en el transporte de viajeros. Aun así está conectada fácilmente con Barcelona, provincia con mayor actividad de transporte por ferrocarril según datos del Ministerio de Fomento Español.
- **Transporte marítimo:** Los puertos principales cercanos a Sabadell son: Barcelona-Zona Franca a 38 km y Tarragona a 110 km. Estos puertos están incluidos en grandes rutas marítimas de transporte de mercancías internacionales como la ruta Round the World y el Transporte Marítimo de Corta Distancia (TMCD). Cabe destacar que la Zona de Actividad Logística (ZAL) del

Puerto de Barcelona es una gran centro internacional con excelentes conexiones intermodales y se sitúa entre una de las más importantes de España.

- **Transporte aéreo:** Aunque el transporte aéreo no sea de los más importantes en el traslado de mercancías a nivel español, el segundo centro de carga aérea más importante a nivel estatal se encuentra en el aeropuerto de Barcelona – El Prat, situado a tan solo 37 km del emplazamiento de la planta.

1.1.3.3. Características del medio físico de la zona

Sabadell, zona de emplazamiento de la planta, pertenece al tipo de clima, según la clasificación de Martín Vide, de Clima mediterráneo prelitoral central. Se caracteriza por ser un clima suave, propio de los países mediterráneos. Concretamente, es un clima mediterráneo con influencia marítima de montaña baja y media (CCVOC, 2008). La estación de medida de los datos climáticos representativa del clima mediterráneo prelitoral central es la Estación Meteorológica Automática de Caldes de Montbui, localizada a 8 km de la zona.

En la Figura 1-4 se representa la temperatura, la precipitación media y la evapotranspiración para el período con datos disponibles (1 de enero de 1991-31 de diciembre de 2010).

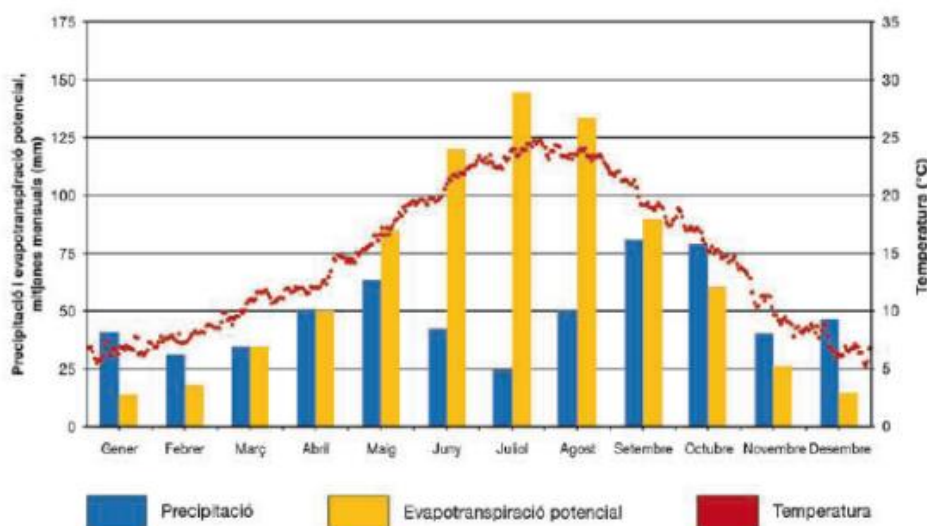


Figura 1-4 Datos termopluviométricos de la Estación Meteorológica de Caldes de Montbui.

Fuente: ICC a partir de datos del Servicio Meteorológico de Catalunya

No solo es interesante tener en cuenta la temperatura media producida en la zona, si no la temperatura máxima y mínima registrada. En la Figura 1-5 se presentan

los datos de temperatura máximos y mínimos registrados mensuales del año 2013 en Sabadell.

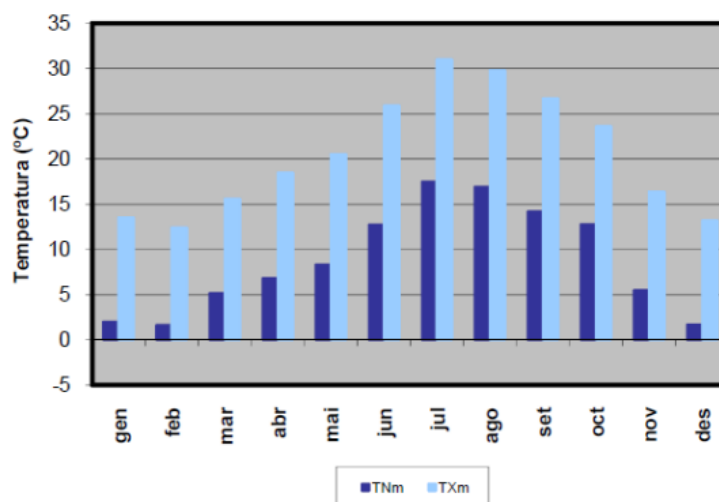


Figura 1-5 Temperaturas máximas y mínimas anuales de Sabadell en el 2013.
Fuente: Servicio Meteorológico de Catalunya

La velocidad media del viento en Sabadell a 10 m es de 2,0 m/s, teniendo en cuenta los datos recogidos por el Servei Meteorològic de Catalunya desde 2010 a 2013. A su vez, la humedad relativa del municipio es de 72%.

Entorno Geológico y Geomorfología

El emplazamiento de la planta se enmarca en la Depresión del Vallès-Penedés. Se trata de una fosa tectónica que separa las cordilleras Litoral y Prelitoral correspondientes a la Cadena Costera Catalana. La Depresión del Vallès-Penedés se encuentra llena de sedimentos miocenos de regresión y transgresión marina, es decir, de origen continental y marino. Durante el Mioceno, los ríos y torrentes de las Cordilleras Litoral y Prelitoral transportaron gravas, arenas y barro, los cuales fueron llenando la depresión hasta convertirla en una llanura.

La red de drenaje está formada por el curso del Río Ripoll, la valle de la cual se caracteriza por vertientes con desniveles entre 30,0 m i 70,0 m. La ubicación de la planta se sitúa en el área hidrogeológica de la Depresión del Vallés, concretamente sobre el Acuífero del abanico aluvial de Terrassa. Es un acuífero superficial y de comportamiento libre, constituido por guijarros y gravas con matriz limosa o arenosa. Este acuífero constituye un sistema hidrogeológico colgado respecto al acuífero aluvial del Río Ripoll.

La recarga natural se produce principalmente por infiltración de agua de lluvia y por el flujo subterráneo proveniente de los depósitos situados al norte. Otras fuentes de recarga son las pérdidas de la red de abastecimiento y los retornos de riego. La descarga se produce por flujo subterráneo en dirección sur y sudeste hacia otros acuíferos y por extracciones.

Sismología

Cataluña se puede considerar como una zona de actividad sísmica moderada aunque con una posibilidad que se produzcan acontecimientos con un potencial de daño elevado, tal como recoge el registro histórico e instrumental realizado por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Existen determinadas áreas de Catalunya que se encuentran expuestas a un riesgo mayor que se produzcan situaciones de emergencia sísmica. Sabadell, lugar de emplazamiento de la planta, se encuentra dentro de la zona sísmica 2, con una intensidad máxima percibida de VII en la escala MSK (IGC, 2015).

1.1.4. ABREVIACIONES

En este apartado se procede a especificar la nomenclatura utilizada durante todo el proyecto para la identificación de áreas, equipos y fluidos de proceso.

En la Tabla 1-3 se detallan las áreas principales de la planta y la nomenclatura seguida para describirlas.

Tabla 1-3 Abreviaciones de las distintas áreas presentes en la planta

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A-100	Almacenaje MP
A-200	Producción
A-300	Purificación CFC-13
A-400	Purificación HCl
A-500	Almacenaje Productos
A-600	Servicios / Transf. Eléctrico
A-700	Oficinas, Laboratorios y Sala de control
A-800	Seguridad y Medio Ambiente

En la Tabla 1-4 se detalla la codificación para los distintos equipos utilizados a lo largo del proceso.

Tabla 1-4 Abreviaciones para los diferentes equipos presentes en la planta

CÓDIGO	EQUIPO	CÓDIGO	EQUIPO
BH	Balsa de homogeneización	GF	Grupo de frío
C	Columna	M	Mezclador
CI	Estación contra incendios	P	Bomba
CL	Caldera	R	Reactor
E	Intercambiador de calor	S	Compresor
ED	Equipo de desionización	T	Tanque o depósito
F	Separador de fases	TC	Tanque criogénico
FP	Filtro prensa	TR	Torre de refrigeración

En la Tabla 1-5 se codifican los diferentes fluidos de proceso necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. En esta misma tabla se adjuntan los códigos utilizados para las mezclas de fluidos que se dan durante el proceso. Todos ellos están indicados con la letra P y según la mezcla de componentes que contenga el proceso se le adjudica un número distinto. Esta nomenclatura se establece para facilitar la comprensión de los diagramas de proceso o de ingeniería.

Tabla 1-5 Abreviaciones para los fluidos puros y corrientes de mezcla de proceso

CÓDIGO	FLUIDO	CÓDIGO	CORRIENTES PROCESO
A	HF	P1	C1, B, F1, F2, A, H
B	CCl ₄	P2	H, F2
C1	SbCl ₅	P3	C1, B, A, F1, F2
C2	AlCl ₃	P4	B, F2, F3
H	HCl	P5	F2, F3
F1	CCl ₃ F	P6	A, B, F2, F3
F2	CCl ₂ F ₂	R1	Residuos mezcla líquidos
F3	CClF ₃	R2	Residuos mezcla gaseosos
W	H ₂ O		

En la Tabla 1-6 se expone la codificación usada para los distintos fluidos de proceso que se utilizan en la planta de producción del CFC-13.

Tabla 1-6 Abreviaciones de los fluidos de servicio

CÓDIGO	FLUIDOS DE SERVICIO	CÓDIGO	FLUIDOS DE SERVICIO
A	Agua de red	DC	Aceite térmico de caldera
AC	Aire comprimido	DCH	Aceite térmico de Chiller
ADI	Agua desionizada	DR	Aceite térmico de torre de refrigeración
AT	Agua de refrigeración	N	Nitrógeno

1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS

1.2.1. PRODUCTO DE INTERÉS: CFC-13

El CFC-13 ha sido utilizado a lo largo de la historia reciente como refrigerante de alto poder calorífico. No obstante, al tratarse de una molécula clorofluorocarbonada, su uso fue restringido en el año 1990 mediante una renovación del Protocolo de Montreal, ya que dicha molécula contribuía notablemente a la destrucción de la capa de ozono. Desde entonces, se ha tratado de reemplazar su uso por otros refrigerantes de menor impacto ambiental aunque el CFC-13 sigue utilizándose en situaciones excepcionales.

En función de la naturaleza de los refrigerantes se distinguen:

- **Refrigerantes naturales.** Se trata de gases o líquidos con alto poder calorífico que se utilizan para intercambiar calor con otros corrientes. Entre estos se distinguen, por ejemplo: amoníaco (NH_3), anhídrido carbónico (CO_2) e hidrocarburos.
- **Refrigerantes sintéticos.** Son gases o líquidos con alto poder calorífico sintetizados con el fin de intercambiar calor con otros corrientes. Se distinguen tres grupos:
 - i) **Refrigerantes CFC.** Son hidrocarburos halogenados con alto contenido en cloro. Se componen de moléculas de cloro, flúor y carbono. Generalmente,

presentan un gran potencial de degradación de la capa de ozono y, por ese motivo, su uso está altamente restringido. En este grupo se encuentra, por tanto, el CFC-13.

- ii) **Refrigerantes HCFC.** Se trata de un grupo de hidrocarburos parcialmente halogenados con bajo contenido en cloro. Se componen de hidrógeno, flúor, carbono y cloro. Afectan en menor medida a la capa de ozono aunque su uso también está restringido y no pueden incorporarse refrigerantes de este grupo en equipos nuevos.
- iii) **Refrigerantes HFC.** Se trata de hidrocarburos que carecen de cloro y, por tanto, son inocuos con la capa de ozono. En consecuencia, este grupo de refrigerantes se utiliza ya como sustituto de los CFC y los HCFC.

Existen varias maneras de nombrar el CFC-13, por ejemplo, R-13 o Freón-13 (cuya aplicación está más enfocada al ámbito comercial). El número 13 no es aleatorio, sino que hace referencia al número de carbonos, hidrógenos y flúores que contiene la molécula. La norma de nomenclatura se rige de la siguiente manera: en un refrigerante hipotético R-xyz; x hace referencia al número de carbonos que contiene la molécula menos uno; y hace referencia al número de hidrógenos más uno; y, finalmente, z hace alusión al número de flúores que contiene. Por tanto, R-13 equivale a R-013 indicando que la molécula contiene un carbono, ningún hidrógeno y tres flúores. Consecuentemente, el cuarto átomo que se encuentra enlazado al carbono es un cloro. La disposición espacial del CFC-13 se muestra en la Figura 1-6:

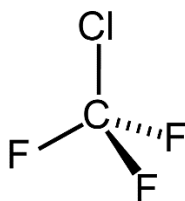


Figura 1-6 Disposición espacial de los átomos del CFC-13.

En la Tabla 1-7 que se presenta a continuación se recogen las propiedades de mayor interés del CFC-13:

Tabla 1-7 Propiedades del CFC-13

CClF₃	
Peso molecular (kg/kmol)	104,46
Punto de fusión a presión atmosférica (°C)	-181
Punto de ebullición a presión atmosférica (°C)	-81,1
Densidad (kg/m³)	1.300
Densidad relativa (agua=1) (kg/m³)	1,3
Densidad relativa del vapor (aire=1) (kg/m³)	3,65
Presión de vapor a 15 °C (kPa)	2.735
Presión de vapor a 25 °C (kPa)	3.180
Índice de refracción , n_D, a 25 °C	1,261
Viscosidad a 25 °C (mPa·s)	14,1
Temperatura crítica (°C)	28,8
Presión crítica (kPa)	3,860
Volumen crítico (m³/mol)	0,179
Solubilidad a 25 °C (kg/100 kg H₂O)	0,0107

1.2.2. MATERIAS PRIMAS

- CCl₄

El CCl₄ es un compuesto químico sintético no polar (por su geometría simétrica) utilizado como extintor, fungicida, plaguicida y precursor de refrigerantes. Esta última aplicación es la que tiene más interés desde el punto de vista del proceso estudiado ya que a partir de la fluoración de esta molécula se puede obtener el CFC-13.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el CCl₄, con una vida atmosférica de 85 años, forma sustancias químicas que pueden ser perjudiciales para la capa de ozono. Por ese motivo, fue restringido en el año 1990 (al igual que el CFC-13) cuando se renovó el Protocolo de Montreal.

En la Figura 1-7, presentada a continuación, se muestra la disposición espacial de los átomos del CCl₄:

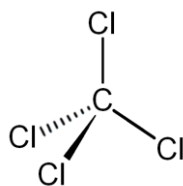


Figura 1-7 Disposición espacial de los átomos del CCl_4 .

- HF

El HF se utiliza principalmente para la obtención de hidrocarburos fluorados en aerosoles como impelentes y agentes frigoríficos. En el proceso estudiado, el HF se utiliza para fluorar el CCl_4 substituyendo los cloros por flúores hasta llegar a la molécula de interés, el CCIF_3 , pasando por CCl_3F y CCl_2F_2 .

Desde el punto de vista medioambiental, la liberación de HF no supone una amenaza para la capa de ozono ya que no afecta a su degradación; no obstante, el HF es un potente fitocida y, por este motivo, no es conveniente la dispersión de grandes cantidades de este compuesto en la atmósfera. La manipulación requiere numerosas precauciones debido a que se trata de un compuesto altamente corrosivo.

A continuación, en la Figura 1-8, se presenta la disposición espacial de los átomos del HF:

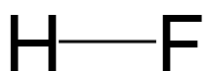


Figura 1-8 Disposición espacial de los átomos del HF.

1.2.3. SUBPRODUCTOS Y OTROS COMPUESTOS

- HCl

El ácido clorhídrico es un ácido mineral fuerte altamente corrosivo con varias aplicaciones tanto industriales como de menor escala. El HCl es utilizado a nivel industrial para la producción de policloruro de vinilo (PVC) y poliuretano. Otras aplicaciones de éste ácido inorgánico son la limpieza del hogar, la producción de aditivos alimentarios, la descalcificación, el tratamiento del cuero y el decapado del acero.

En el proceso estudiado, este ácido se forma como subproducto en la primera reacción. El HCl destaca por su capacidad de corrosión de otros materiales, por tanto, será necesario extremar las precauciones para su manipulación. Además, se trata de un compuesto peligroso para la fauna y flora acuáticas, de hecho, la actividad del HCl se relaciona directamente con la generación de lluvia ácida y deterioro de la capa de ozono, por tanto, la emisión de gases de este compuesto está regulada según normativas en función del país en que se emiten dichos gases.

En la Figura 1-9 que se presenta a continuación, se muestra la disposición espacial del HCl:



Figura 1-9 Disposición de los átomos de HCl

- CCl_3F

El CCl_3F o CFC-11 es el resultado de substituir uno de los cloros del tetracloruro de carbono por fluor. Es el primer producto de la primera de las reacciones que tienen lugar en el proceso y sirve como materia prima del CFC-12, que a su vez, es la materia prima del CFC-13.

El CFC-11 es un compuesto restringido por el protocolo de Montreal debido a su contribución en la destrucción de la capa de ozono. Como los demás compuestos clorofluorocarbonados, éste se descompone al cabo de unos 100 años debido a su estabilidad, por tanto, alcanza la capa de ozono estratosférica y contribuye a su degradación.

Seguidamente, se muestra la Figura 1-10 dónde se ilustra la disposición espacial de los átomos del CFC-11:

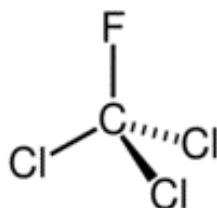


Figura 1-10 Disposición espacial de los átomos de CFC-11

- CCl_2F_2

El CCl_2F_2 o CFC-12 es una molécula clorofluorocarbonada en la que, partiendo de CFC-11 como materia prima, se ha substituido uno de los cloros por un fluor. Substituyendo un cloro más por otro fluoro en la molécula de CFC-12 se llegará a obtener el producto deseado, CFC-13. Por lo tanto, el CFC-12 es un producto de la reacción entre el HF y el CCl_4 pero es la verdadera materia prima del CFC-13.

Al tratarse de un compuesto clorofluorocarbonado, el CFC-12 fue prohibido mediante el protocolo de Montreal (al igual que el CFC-11 y CFC-13) el año 1996 con el objetivo de proteger la capa de ozono estratosférica ya que, a consecuencia de su estabilidad, el CFC-12 puede tardar hasta 100 años en desaparecer. Anteriormente a su restricción, las principales aplicaciones de este compuesto han sido como líquido refrigerante, agente extintor y propelente para aerosoles.

A continuación, en la Figura 1-11 se presenta la disposición espacial del CCl_2F_2 :

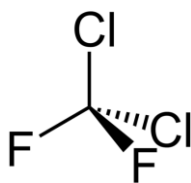


Figura 1-11 Disposición de los átomos de CCl_2F_2

- SbCl_5

El pentacloruro de antimonio es un líquido aceitoso incoloro o amarillo rojizo, con un olor repulsivo. Está incluido en la lista de sustancias peligrosas. El SbCl_5 es un agente oxidante fuerte y muy corrosivo, aún así se utiliza ampliamente como catalizador para la fluoración de compuestos organoclorados. En el proceso propuesto se utiliza como catalizador de la primera reacción.

El inconveniente principal que presenta es que se puede disociar por calor, formando SbCl_3 y Cl_2 . La disociación empieza lentamente a 105°C y se completa al alcanzar los 300°C . Este hecho se ha tenido en cuenta para determinar las temperaturas de operación del proceso.

- AlCl_3

El tricloruro de aluminio es un sólido corrosivo utilizado en la segunda reacción del proceso como catalizador. No solo cataliza el proceso propuesto, si no que su utilidad como catalizador de reacciones de Friedel-Crafts es importante.

En presencia de agua sufre una disociación en distintos iones, por lo que los procesos donde se vea implicado deberán ser totalmente anhidros.

1.2.4. CORROSIÓN Y MATERIALES

Uno de los principales gastos en una industria química se debe al mantenimiento y sustitución de equipos debido a la degradación de los materiales. Resulta imposible evitar por completo el deterioro de un equipo a lo largo del tiempo, sin embargo es posible minimizar sus efectos con una buena elección de los materiales y las condiciones en las que opera.

Existen varios factores que contribuyen a la degradación de un material, como por ejemplo la erosión, la corrosión, los esfuerzos mecánicos o la temperatura.

De entre todos los factores la principal causa del deterioro de un material es la corrosión. La corrosión se define como el deterioro de un material como consecuencia de un ataque electroquímico de su entorno. La corrosión les supone a los países industrializados un coste del 4% del PIB anual y su prevención resulta vital para la economía (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006).

Para prevenir la corrosión es necesario conocer las sustancias con las que estará en contacto el material y sus condiciones de operación.

En el caso concreto de la planta de producción de CFC-13 existen muchas sustancias que se consideran corrosivas, por tanto se debe estudiar con profundidad sus efectos sobre los materiales y diseñar teniendo como uno de los criterios principales la prevención de la corrosión.

1.2.4.1. Sustancias y mezclas corrosivas

En el proceso de producción de CFC-13 están presentes varias sustancias corrosivas que atacan a un gran número de materiales y otras que son incompatibles

únicamente con unos pocos. En las Tablas 1-8 y 1-9 se detallan las sustancias corrosivas presentes en la planta y las sustancias incompatibles con los materiales más comunes de construcción.

Tabla 1-8 Sustancias corrosivas

Nombre	Formula molecular
Fluoruro de hidrógeno	HF
Cloruro de hidrógeno	HCl
Ácido clorhídrico	HCl(aq)
Ácido fluorhídrico	HF(aq)
Cloruro de antimonio (V)	SbCl ₅
Fluoruro de Aluminio	AlCl ₃
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄

Tabla 1-9 Sustancias incompatibles con materiales de construcción

Nombre	Formula molecular	Incompatibilidad
Cloruro de carbono (IV)	CCl ₄	Acero al carbono
Triclorofluorometano	CCl ₃ F	PCTFE (hinchamiento)
Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂	PVDF (permeación)
Clorotrifluorometano	CClF ₃	PCTFE (hinchamiento)
Hidróxido de potasio	KOH(aq)	Acero al carbono

Hay que tener en cuenta que muchas veces dichas sustancias no se encuentran puras sino que pueden encontrarse mezcladas con otras. En estos casos se pueden dar varias posibilidades:

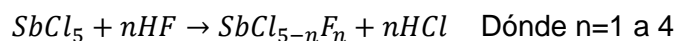
1. La mezcla de un agente corrosivo con otros que no lo son: El agente corrosivo queda diluido y la mezcla final resulta menos corrosiva.
2. La mezcla de un agente corrosivo con otros que no lo son: Las sustancias no corrosivas ayudan en los mecanismos de corrosión, provocando que la mezcla final sea más corrosiva e incluso pueda atacar materiales que antes eran resistentes.
3. La mezcla de varios agentes corrosivos: La mezcla ataca a una gama más amplia de materiales. Incluso se puede dar el caso de que la mezcla ataque materiales que no son atacados por ninguno de los componentes de la mezcla por si solos.

Las mezclas corrosivas presentes en la planta proyectada son principalmente:

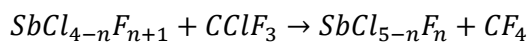
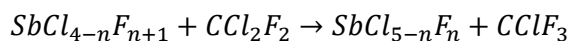
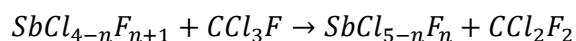
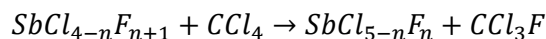
- Cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno.
- Ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico.
- Cloruro de antimonio (V) y fluoruro de hidrógeno.
- Freones en contacto con agua.

Debe hacerse una mención especial al caso de la mezcla de cloruro de antimonio (V) con fluoruro de hidrógeno.

El $SbCl_5$ es el catalizador usado en las dos primeras floraciones del CCl_4 y está en permanente contacto con el HF. El problema reside en el mecanismo de catálisis del $SbCl_5$ entre el CCl_4 y el HF. El mecanismo producido es el presentado a continuación, dónde el catalizador intercambia flúores por cloros, creando intermedios del catalizador además de cloruro de hidrógeno.



A continuación, el catalizador le cede los flúores, etapa a etapa, al CCl_4 para formar CCl_3F , CCl_2F_2 , y así sucesivamente hasta fluorar completamente el tetracloruro de carbono.



Por tanto, aunque sea durante breves instantes de tiempo, existen toda una serie de intermedios que son corrosivos, esto se deberá tener en cuenta sobretodo en el primer reactor, que es dónde se dan esta serie de reacciones.

De todos los intermedios, el más corrosivo con diferencia es el SbF_5 , un conocido superácido. Por suerte, las condiciones de reacción establecidas para el proceso hacen que las últimas dos reacciones se den en cantidades ínfimas.

1.2.4.2. Compatibilidades

A continuación se exponen tablas y gráficos sobre la compatibilidad y ratio de corrosión de algunos materiales. Se ha reducido la información a aquellos materiales que son posibles candidatos a ser usados.

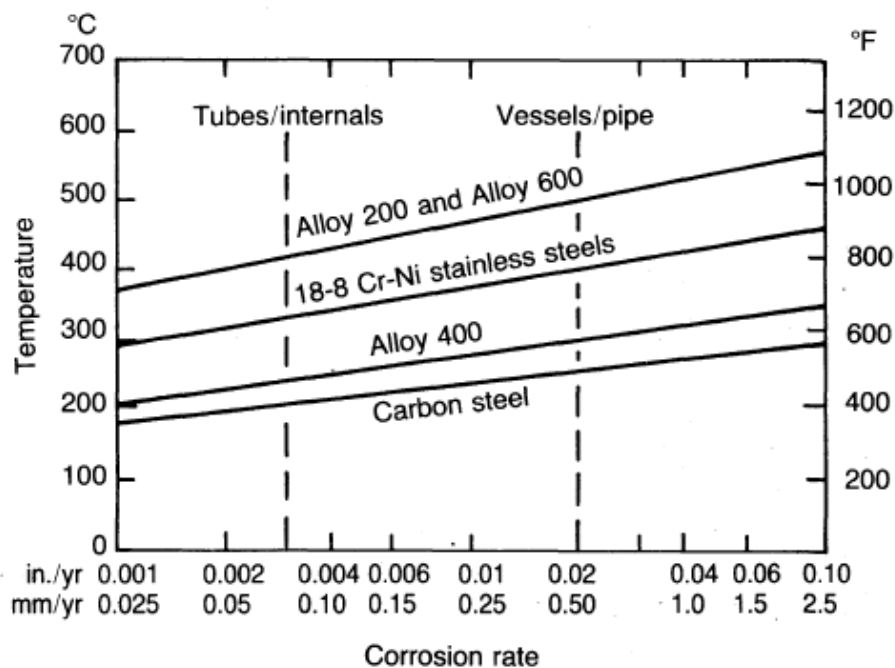


Figura 1-12 Corrosión de varios materiales con HCl anhidro. NiDI.

TEST COUPON	
MATERIAL	CORROSION RATE
Hastelloy B-2*	4-6
Hastelloy C-276*	71
Molybdenum	<0.4

*Composition of Hastelloy B-2 which was tested corresponded to ASTM B 333 (UNS N10665).
 *Composition of Hastelloy C-276 which was tested corresponded to ASTM B 575 (UNS N10276).

Figura 1-13 Corrosión de los metales más resistentes en condiciones similares a las del primer reactor, en mil/año. Patente US5565393.

CHEMICAL	FORMULAS	PLASTIC										ELASTOMER				SEAL		METAL								
		APPROX. SP.GRAVITY @ 100% CONC.	% CONCENTRATION	PVC	CPVC	POLYETHYLENE-CROSS LINKED (XLPE)	POLYETHYLENE FLUORIDE (PVDF)	POLYETHYLENE (PE)	DURAPLUS ABS	RYTON	HALAR	PEEK	TEFLON	EPOXY	VINYLESTER	POLYSULFONE	VITON	EPDM	BUNA N (NITRILE)	NEOPRENE	CARBON	CERAMIC	316 STAINLESS STEEL	304 STAINLESS STEEL	TITANIUM	HASTELLOY C
Aluminum Chloride	ALCl ₃	-	-	140	170	140	140	140	176	200	250	-	210	-	200	-	180	210	200	200	A	A	C	-	-	-
Carbon Tetrachloride	CCl ₄	-	1.6	X	X	X	140	X	X	X	-	250	-	350	150	-	-	190	X	X	X	A	A	A	C	A
Freon 11 (MF)	CCl ₃ F	-	1.22	72	72	73	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	180	X	200	180	-	-	A	A	
Freon 113 (TF)	Cl ₃ CCF ₃	-	-	-	-	-	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	70	X	130	73	-	-	-	A	
Freon 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	-	-	-	-	-	250	-	-	-	200	121	-	250	-	-	-	100	X	130	100	-	-	-	A	
Freon 12	Cl ₂ CF ₂	-	-	-	-	-	250	70	70	-	200	121	-	250	-	-	-	180	73	200	180	-	-	-	-	
Freon 12 (Wet)	Cl ₂ CF ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hydrochloric Acid	HCL	10	-	140	180	160	250	140	140	176	X	-	-	400	150	200	-	200	150	80	X	-	-	-	X	
Hydrochloric Acid	HCL	20	-	140	180	160	250	140	140	176	X	-	-	400	120	200	-	200	100	80	180	-	-	-	X	
Hydrochloric Acid	HCL	25	-	140	180	160	250	140	140	104	X	-	-	400	X	150	-	200	100	X	X	-	-	-	X	
Hydrogen Fluoride	HF	-	-	X	X	73	200	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	180	X	X	X	-	-	-	X	

Figura 1-14 Tabla de compatibilidad. Metales: A=Excelente, B=Buena, C=mala, X=incompatible. Para el resto se muestra la temperatura máxima, en grados Fahrenheit. Fuente: Harrington.

Corrosion Resistance	Concentration and Temperature for a corrosion rate of 20 mpy or less																		
	Ductile Iron/Carbon Steel	Type 400 Series	T1-4PH	CF-8M	CD-4MCuN (Ducromet 100)	CD-7M (Ducromet 20)	Inconel CX-40	Monel M-35-1	Nickel CZ-100	N-7M (Chlorimet 2)	CD-8M (Chlorimet 3)	Duriron	Durichlor 51/Suprchlor 77	Stellite 6	Duro DC-8 (10 mpy or less)	Titanium	Titanium-Pd	Zirconium 702	Zirconium 705
Aluminum Chloride AlCl ₃	NR	NR	NR	NR	NR	1 ^a	NR	0-5 ^a	10 ^D	All ^D	All ^D	0-7 ^D	All ^D	NR	All ^D	NR	0-4 ^D	All ^D	
Potassium Chloride KCl	NR	0-3 ^a	0-3 ^a	NR	0-3 ^D	0-3 ^C	0-3 ^D	0-3 ^D	0-3 ^D	0-3 ^D	All ^D	0-3 ^D	All ^D	NR	All ^D	All ^D	All ^D	All ^D	
Potassium Hydroxide KOH	0-5 ^B	0-5 ^D	0-3 ^B	0-5 ^D	All ^F	0-8 ^E	All ^D	0-6 ^D	All ^F	All ^D	All ^D	0-3 ^B	0-3 ^B	-	All ^D	0-3 ^C	0-3 ^C	All ^D	
Carbon Tetrachloride, dry CCl ₄	10 ^B	NR	10 ^B	10 ^B	10 ^D	10 ^D	10 ^D	All ^D	10 [*]	All ^B	All ^C	10 ^D	All ^D	-	All ^D	All ^D	All ^D	All ^C	
Carbon Tetrachloride, wet CCl ₄	NR	NR	NR	NR	NR	10 ^A	All ^B	9-10 [*]	All ^A	All ^B	All ^B	All ^D	All ^D	NR	All ^D	All ^D	All ^D	All ^C	
Hydrogen Chloride HCl	10 ^E	NR	-	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^C	10 ^A	10 ^C	-	-	10 ^E	10 ^E	10 ^D	
Hydrogen Fluoride HF	10 ^E	NR	-	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	10 ^E	NR	NR	-	-	NR	NR	NR	

0 = 0% weight percent
 1 = 10% weight percent
 2 = 20% weight percent
 3 = 30% weight percent
 4 = 40% weight percent
 5 = 50% weight percent
 6 = 60% weight percent
 7 = 70% weight percent
 8 = 80% weight percent
 9 = 90% weight percent
 10 = 100% weight percent
 All = All Concentrations
 NR = Not Recommended
 A = 68°F max. (20°C)
 B = 122°F max. (50°C)
 C = 167°F max. (75°C)
 D = 212°F max. (100°C)
 E = 257°F max. (125°C)
 * = To boiling
 + = Continuous service

Figura 1-15 Tabla de compatibilidad. Concentración y temperatura para un ratio de corrosión de 20 mpy o menos. Fuente: Flowserve.

1.2.4.3. Criterios

A la hora de seleccionar un material hay varios criterios que deben aplicarse, sin embargo pueden reducirse en dos criterios imprescindibles: coste y compatibilidad.

La compatibilidad se resume en si el material se corroe o degrada lo suficientemente poco como para ser posible su utilización en los equipos. La compatibilidad de los materiales típicos de construcción con los compuestos y sustancias empleados en la planta de producción de CFC-13 proyectada se ha estudiado en apartados anteriores.

El otro factor importante es el coste, que vendrá impuesto por el mercado. A continuación en la Figura 1-16 un ejemplo comparativo del coste relativo de tuberías de distintos materiales:

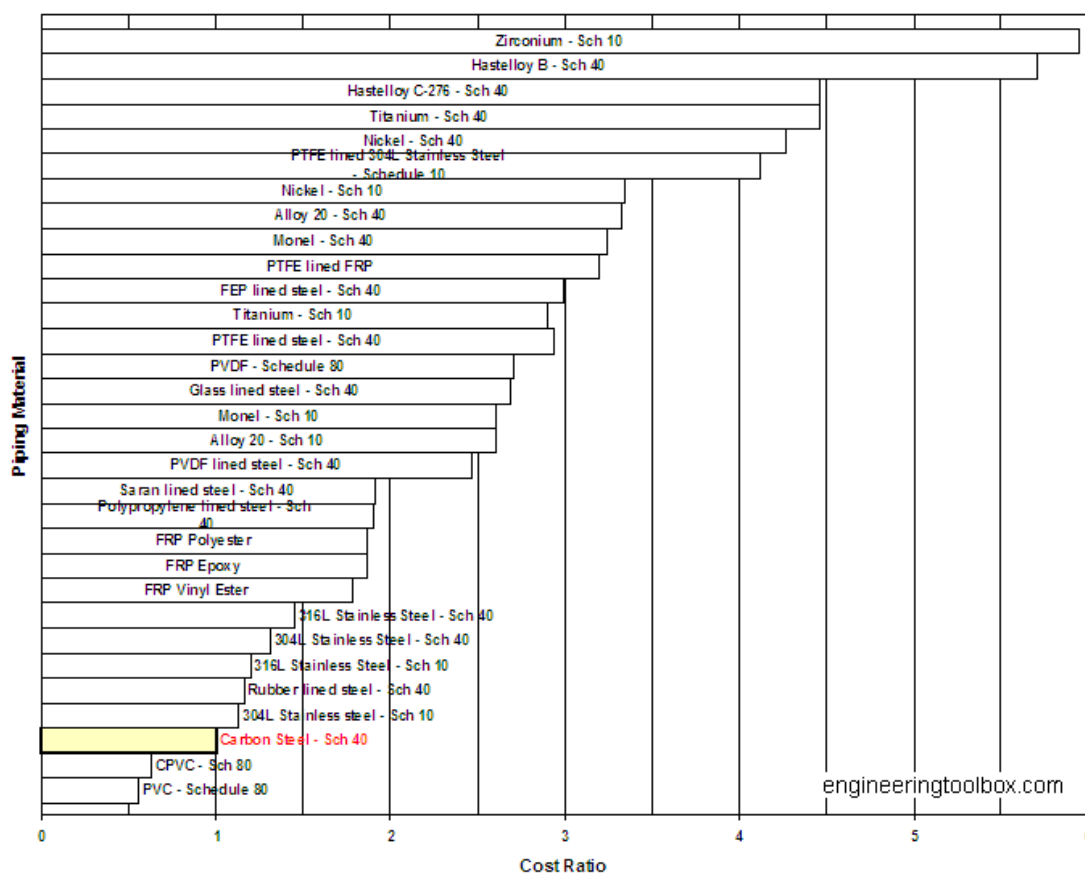


Figura 1-16 Coste relativo de distintos tipos de tuberías. Se toma las tuberías de acero al carbono como coste unitario.

En la Figura 1-16 puede apreciarse como el material de construcción afecta enormemente el coste de un equipo, pudiendo llegar a darse una diferencia de un orden de magnitud. Por lo tanto, se debe encontrar un compromiso entre compatibilidad y coste del material. Se podría dar el caso de que una corrosión de unas décimas de milímetro al año fuera permisible si así se evita utilizar un material varias veces más caro.

1.2.4.4. Materiales seleccionados

Analizando los datos de compatibilidad y teniendo en cuenta su coste se han elegido los siguientes materiales:

Tabla 1-10 Selección de materiales de construcción según materiales presentes en la planta de CFC-13

Sustancias	Material	Corrosión
HF	PTFE	no
CCl ₄	Inox 304	~0
CCl ₄ +CFCs	Acero al carbono	~0
SbCl ₅	PTFE	no
SbCl ₅ +HF (tuberías i equipos)	PTFE	no
SbCl ₅ +HF (intercambiadores)	Hastelloy B-2	0.1 mm/año
SbCl ₅ +HF (reactor)	Molibdeno	0.01 mm/año
HCl (frío)	Acero al carbono	0.02 mm/año
HCl (caliente)	Inox 316L	~0
HCl(aq)	PTFE/PVC	no
CFCs	Acero al carbono	~0
AlCl ₃	Inox 316L	~0

Resulta imposible elegir materiales para todas las permutaciones y concentraciones de sustancias posibles en la planta, por tanto se establece un orden de prioridad para determinar el material del equipo a partir de la presencia de la sustancia más prioritaria en una mezcla.

Prioridad	Sustancia
1	SbCl ₅
2	HF
3	HCl
4	CCl ₄
5	CFCs

1.2.4.5. Otras fuentes de degradación

La corrosión producida por las sustancias del proceso no es la única fuente de degradación de los equipos. Agentes externos como el clima, sustancias externas al proceso, esfuerzos mecánicos y vibraciones son factores que aumentan la velocidad de degradación de un equipo, por este motivo se toman medidas para minimizar sus efectos.

Para evitar el efecto del clima todos los equipos fríos están aislados para evitar la condensación de agua y la corrosión que ello implica. El propio aislante también va protegido por lona o aluminio para su conservación. Los equipos que no sean fríos ni calientes y no requieran aislante estarán protegidos por pinturas anticorrosión que los protegerán de la corrosión externa.

Los esfuerzos mecánicos también degradan los equipos, e incluso las vibraciones pueden aumentar la corrosión producida por sustancias químicas. Para evitarlo todos los equipos estarán correctamente diseñados para que la circulación de fluidos no les haga vibrar. En el caso de equipos rotativos las vibraciones del motor se deben amortiguar con un correcto soporte y juntas especiales para tal efecto.

En el caso de los esfuerzos mecánicos por deformación, se diseñarán y dimensionarán correctamente los soportes para evitar esfuerzos tanto por el propio peso del equipo como esfuerzos producto de dilataciones térmicas.

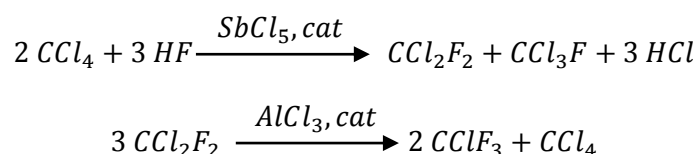
1.2.4.6. Control de corrosión durante el tiempo de vida de la planta

La planta está proyectada para tener un tiempo de vida útil, sin embargo muchos equipos tienen un tiempo de vida menor al de la propia planta incluso con mantenimiento y muchos otros que se espera que tengan un determinado tiempo de vida pueden degradarse tempranamente a causa de un déficit de mantenimiento. Si bien cada equipo tendrá un mantenimiento específico, en reglas generales el control de corrosión consiste en mantener la protección exterior en buenas condiciones (pinturas anticorrosión, etc), revisar y reponer anualmente equipos en condiciones altamente corrosivas que ya se prevé que se hayan degradado con el uso y estudiar si existen puntos donde la corrosión es mayor de lo que se había previsto.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de producción del CFC-13 está basado en la fluoración catalítica del CCl_4 con HF usando pentacloruro de antimonio (SbCl_5) como primer catalizador, proceso desarrollado por Swarts en 1982, y AlCl_3 como segundo.

Las reacciones que tienen lugar durante el proceso de fluoración son las siguientes:



Éstas se dan en dos etapas distintas. La primera que corresponde a la primera y segunda fluoración del CCl_4 y la segunda que corresponde a la tercera.

1.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

En la Figura 1-17, que se adjunta a continuación, se describe el proceso de fabricación para el CFC-13 propuesto por PS corporation mediante un diagrama de bloques.

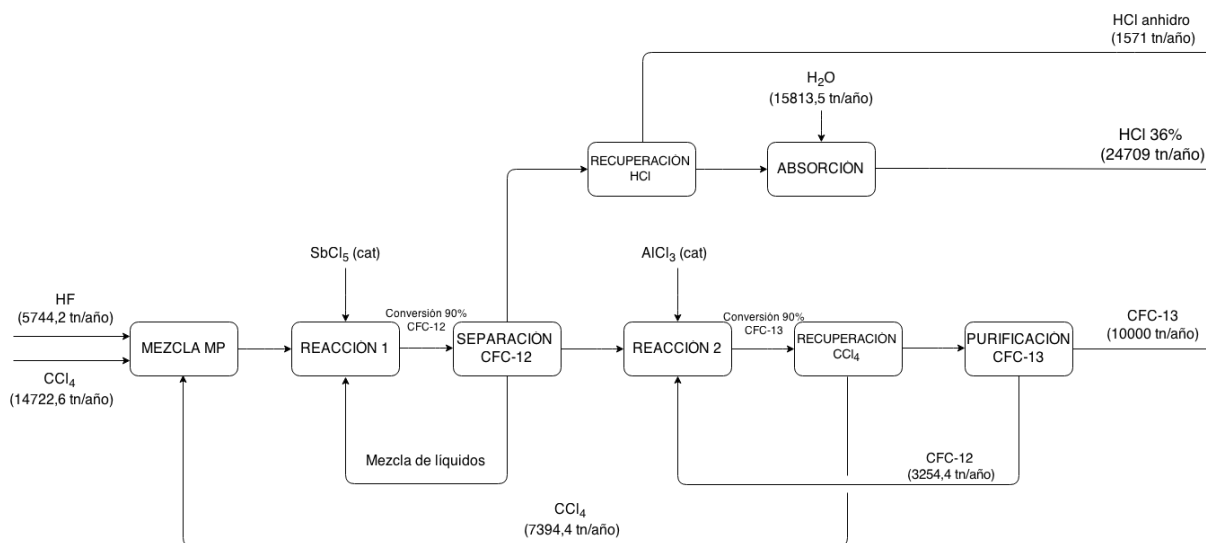


Figura 1-17 Diagrama de bloques del proceso de fabricación de CFC-13

Tal como se puede observar en la Figura 1-17 el proceso de fabricación del CFC-13 consta de seis etapas principales y dos auxiliares para la línea secundaria de recuperación del HCl.

Las materias primas: HF y CCl_4 son mezcladas previamente para evitar que el HF vaporice, puesto que se trabaja a una temperatura superior al punto de ebullición del compuesto. Una vez mezclados los reactivos se introducen en el primer reactor (Reactor Continuo de Tanque Agitado - RCTA), donde se lleva a cabo la primera y segunda fluoración del CCl_4 mediante la ayuda del SbCl_5 como catalizador. Los productos obtenidos de las mismas son: CFC-11, CFC-12 y HCl en forma gaseosa. Se alcanza una conversión del 90% respecto al CFC-12 en el primer reactor.

Estos compuestos junto al catalizador y a las materias primas que no hayan reaccionado se redirigen a la etapa posterior de separación. Dicha etapa consta de dos columnas empacadas en serie mediante las cuales se consigue separar el CFC-12 y el HCl del resto de compuestos que son retornados al primer reactor.

La purificación del HCl permite obtener un subproducto valioso para la empresa, puesto que su venta mejorará las condiciones económicas de la planta. Este proceso secundario de recuperación de HCl permite obtener una corriente de HCl anhidro (precio mucho mayor en el mercado, pero menor acogida) y otra de HCl comercial al 36% que se produce mediante una absorción con agua.

El segundo reactor es, a diferencia del primero, un Reactor Multitubular Catalítico de Lecho Fijo (RCLF) con el catalizador de AlCl_3 . A este reactor se introduce el corriente de CFC-12 procedente de la etapa de separación anterior previamente vaporizado. La conversión conseguida, al igual que en el reactor anterior, es del 90%. La reacción tiene lugar en fase gas y los productos generados son: CFC-13 y CCl_4 .

La corriente de productos de salida y el reactivo que no ha reaccionado se dirige a las siguientes columnas empacadas que pretenden separar el producto de interés (CFC-13) de las impurezas de CCl_4 y CFC-12. La primera de éstas permite la recuperación del CCl_4 , que es redirigido al inicio del proceso, y la segunda el CFC-12, el cual se introduce de nuevo al segundo reactor. De este modo se purifica el CFC-13, que será almacenado y embotellado a presión para proceder a su venta.

1.3.1. DIAGRAMA DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DETALLADA

En la Figura 1-18 se detalla el diagrama del proceso escogido para la producción de CFC-13. Este diagrama se adjunta en versión ampliada en el *Capítulo 10. DIAGRAMAS Y PLANOS*.

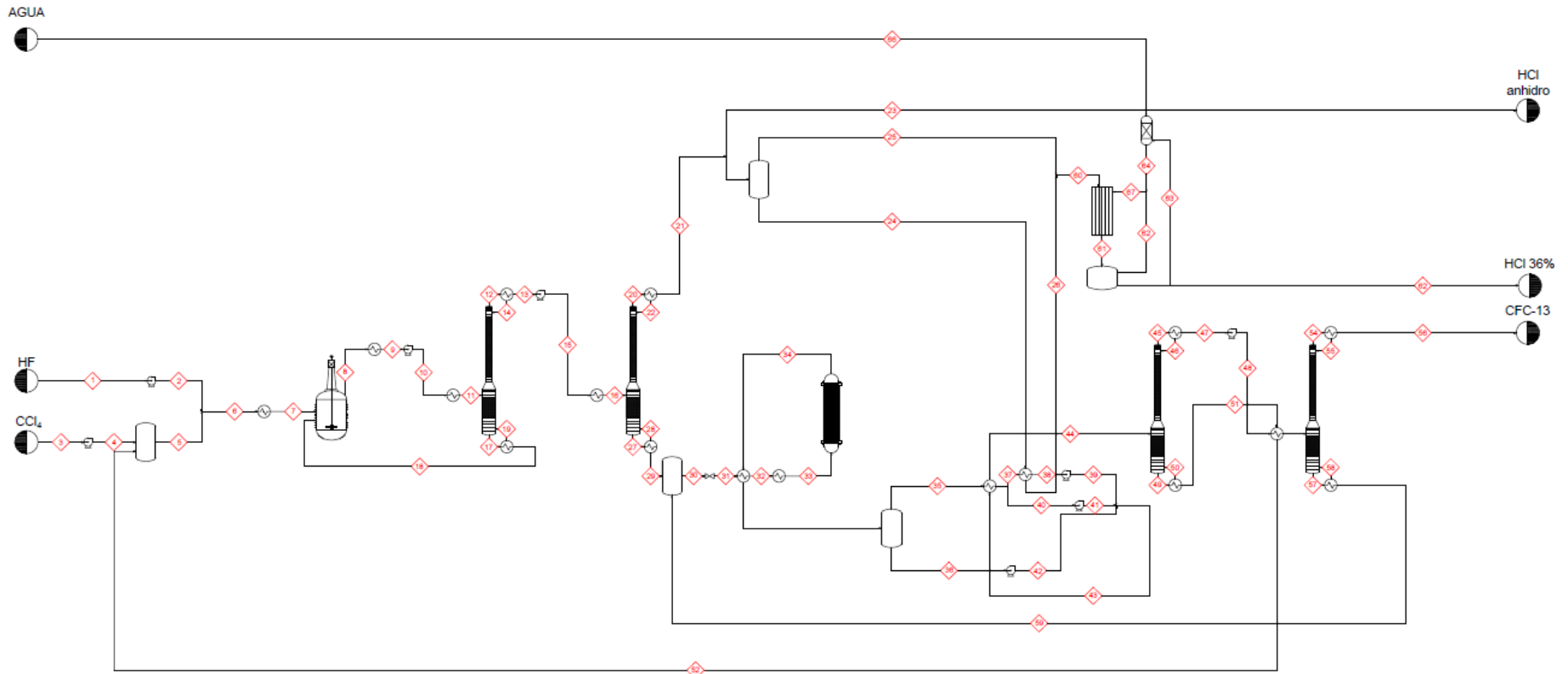


Figura 1-18 Diagrama de proceso de producción de CFC-13

El proceso de producción, como ya se ha comentado anteriormente, se inicia con la unión de los dos reactivos. El CCl_4 , que se encuentra almacenado en un tanque atmosférico, se mezcla previamente con un corriente recirculado de CCl_4 procedente del corriente de colas de la tercera columna, antes de ser unido al corriente de HF. Ambos corrientes se unen una vez aumentada la presión hasta 9 atm para evitar que el HF vaporice y así mantener los reactivos en estado líquido. Una vez unidos se precalientan hasta 95°C para alcanzar la temperatura deseada de operación en los reactores de la zona de reacción 1.

La zona de reacción 1 la componen tres reactores RCTA de idéntico volumen, de los cuales sólo dos estarán operativos y el tercero se usará en caso de avería de uno de los otros.

Así pues, cada reactor es un RCTA y las reacciones que tienen lugar (primera y segunda fluoración) requieren de un catalizador para producirse. Éste es el pentacloruro de antimonio (SbCl_5) que se encuentra en fase líquida. La reacción debe realizarse en exceso de HF, de este modo la ecuación cinética se corresponde a: $r = k \cdot [\text{SbCl}_5]_0 \cdot [\text{CCl}_4]$ (Meissner & Milchert, 2003). La reacción es exotérmica y, por lo tanto, los reactores se encuentran refrigerados para mantener la temperatura constante.

El catalizador utilizado sufre degradación térmica. Cuando la temperatura supera los 105°C el catalizador se disocia, por lo que la temperatura de operación tanto del primer reactor como de la primera columna no debe superar dicha temperatura. La degradación del catalizador que tiene lugar se produce ya que éste también sufre fluoraciones en su estructura química. El antimonio totalmente fluorado junto al HF se considera un superácido. Así pues, todos los equipos en contacto con esta mezcla será necesario recubrirlos con materiales especiales, tal como se indica en el apartado 1.2.4. Corrosión y materiales del presente capítulo.

Los productos generados se encuentran en fase gas, y son retirados por la parte superior del reactor. Esta corriente se condensa y se aumenta la presión hasta 14,5 atm, presión a la que opera la primera columna. En esta primera columna se separa por cabeza el HCl y el CFC-12 (componentes más volátiles) y por el corriente de colas el resto de componentes (HF, CCl_4 , CFC-11, SbCl_5 y parte del CFC-12 y HCl). Para evitar que la temperatura de condensación de los vapores de la parte superior de la columna sea excesivamente baja y esto encarezca el proceso de

refrigeración considerablemente, se ha decidido operar a presiones elevadas, disminuyendo de este modo la temperatura de condensación de los vapores. En todas las columnas de proceso se ha seguido este mismo principio, manteniendo un mínimo de temperaturas de condensación de las columnas de -10°C . Así pues, la corriente de colas de la primera columna se recircula hacia la zona de reacción 1 para que continúe la reacción, y la corriente de cabeza continuará el proceso hacia la segunda columna que opera a 21 atm, por lo que será necesario comprimir el corriente. La segunda columna permite la separación del HCl por cabeza y el CFC-12 por colas.

La corriente de HCl anhidra obtenida por cabeza se separa en dos líneas distintas: una que se dirige directamente a almacenamiento del producto obtenido a alta presión (HCl anhidro) y otra que se usará para obtener HCl comercial al 36%. La corriente de HCl comercial se descomprime hasta 2 atm, lo cual permite obtener dos corrientes una de vapor y otra líquida a una temperatura de aproximadamente de -70°C . La corriente líquida a -70°C se aprovecha para enfriar una corriente de proceso a la vez que la de HCl se vaporiza. Las dos líneas de HCl anhidro vaporizado a baja presión se juntan y dirigen a un sistema de absorción con agua que permite producir HCl al 36%.

El sistema utilizado para la producción del HCl comercial está compuesto por tres equipos: una columna de absorción adiabática, otra isoterma y un pequeño depósito que mantiene los caudales estables, tal como muestra la Figura 1-19.

Las corrientes unidas de HCl vapor anhidro entra a la columna isotérmica por la parte superior. Por la parte superior también entra el absorbente, que en este caso es una solución acuosa de HCl procedente de la columna adiabática superior. En la columna isotérmica el HCl es absorbido en el líquido que circula por los tubos.

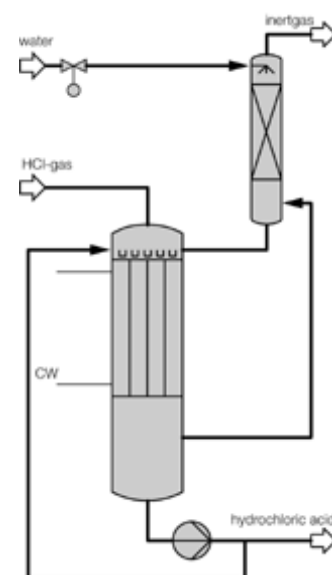


Figura 1-19 Esquema del sistema de producción de HCl 36%

Después de pasar por el absorbedor isotérmico, la corriente líquida resultante (HCl al 36%) se acumula en un depósito donde estará junto al HCl anhidro que no haya reaccionado. De este depósito se obtienen dos corrientes, una vapor y la otra líquida. La corriente vapor (HCl anhidro no reaccionado) se introduce en la columna de absorción adiabática por la parte inferior. En esta columna se absorbe totalmente el

HCl en agua pura desionizada, el absorbente en la segunda columna. El agua se alimenta por la parte superior y se obtiene por la parte inferior la solución de HCl que sirve de disolvente en la columna isotérmica.

Del depósito también se obtiene una corriente líquida de HCl al 36%. Esta corriente es apta para su comercialización, pero parte del caudal se redirige hacia la parte superior de la columna isotérmica para aumentar la concentración de ácido de la solución ácida que actúa como disolvente y así reducir la exotermicidad de la reacción.

La corriente de colas de la columna 2, que contiene CFC-12 en su totalidad, se debe descomprimir y vaporizar antes de entrar en el segundo reactor, puesto que este opera a 4 atm y 125°C, y ésta se obtiene a 75°C y 21 atm. Previo al tratamiento de la corriente, ésta se mezcla con el corriente de colas de la columna 4. La descompresión se hace antes que el calentamiento de la corriente, ya que la bajada de presión causa una disminución de la temperatura. La línea se precalienta y vaporiza completamente con la salida gaseosa del segundo reactor. Este aprovechamiento de otras corrientes de proceso en operaciones de transmisión de calor reduce la cantidad de fluido térmico necesario en la planta y a su vez mejora la economía global del proyecto.

Una vez alcanzada la temperatura óptima para la reacción, optimizada según la patente US 2426637, se introduce en el segundo reactor donde se realiza la tercera fluoración en fase gas. El reactor es un RCLF con AlCl_3 como catalizador y opera a 125°C y a 4 atm de presión. Bajo estas condiciones se pueden obtener grandes rendimientos de producción de CFC-13 de manera simple y económica, con una desactivación del catalizador menor (United States Patente nº 246637, 1947). Es importante mantener todos los reactivos anhidros (contenido en agua inferior al 0,001% en peso) para evitar la degradación excesiva del catalizador por hidrólisis y minimizar la acidez de los gases producidos. Los productos gaseosos obtenidos de la tercera fluoración son CFC-13, CCl_4 y CFC-12 no reaccionado. Estos son separados mediante dos columnas de fraccionamiento continuo.

El alimento de la primera columna se realiza en fase líquida a 1°C y 12,5 atm, por lo que será necesario aumentar la temperatura y presión del corriente de salida del reactor, ya que éste sale a 125°C y 3 atm.

Debido a que la temperatura de condensación de estos compuestos se sitúa alrededor de los -50°C, es necesario hacer un enfriamiento por etapas, en el cual será necesario ir condensando parcialmente la corriente para evitar un consumo elevado de

energía. Así pues, y después de aprovechar el corriente de salida del reactor para precalentar la entrada del mismo, se separan las dos fases obtenidas en un tanque flash. La corriente líquida se comprime hasta la presión deseada y dirige hacia un tanque donde se mezclará con el resto de corrientes líquidas a presión. La corriente en fase vapor se enfría y condensa parcialmente con el corriente procedente de la mezcla de corrientes líquidas a presión, obteniendo nuevamente dos fases vapor y líquida. La nueva fase líquida se comprime al igual que la anterior y mezcla con ésta en el mezclador estático del final de la condensación por etapas. La nueva fase gas se condensa totalmente en un último intercambiador que utiliza el corriente líquido de HCl a -70°C que debe vaporizarse. La condensación total de la nueva fase gas permite obtener una fase líquida total que se comprime y dirige hacia el mezclador en línea final junto al resto de corrientes líquidas a presión.

La tercera columna de rectificación permite la separación del CCl_4 de la mezcla de organoclorofluorados (CFC-13 y CFC-12). La corriente obtenida por cabezas contiene la mezcla de organoclorofluorados, la cual se debe comprimir y calentar hasta 20 atm y 2°C . La corriente de CCl_4 se obtiene por el corriente de colas y es redirigida, como se ha comentado anteriormente, al inicio del proceso. Antes de recircularse se utiliza para precalentar la corriente de entrada a la cuarta columna de rectificación, a la vez que se disminuye la temperatura de la corriente de colas lo que permite evitar la vaporización parcial que sufriría en unirse a la corriente de CCl_4 a esas condiciones.

La cuarta columna opera a 20 atm y permite purificar el corriente de CFC-13 al separarlo del CFC-12. La corriente de CFC-12 obtenida por las colas de la columna se reintroduce en el segundo reactor para mejorar el rendimiento de la reacción y así obtener más producto deseado. La corriente purificada de CFC-13 obtenida se almacena en botellones de gas licuado.

1.4. CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

1.4.1. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LA PLANTA

Tal como se ha comentado en el apartado *1.1.3 Localización de la planta*, la planta de producción de CFC-13 está proyectada sobre una parcela de 70.095 m^2 . La distribución de la planta comprenderá todos los elementos de la instalación, ya sean industriales o los auxiliares necesarios, como el lugar de trabajo de los empleados. Se debe tener en cuenta los espacios necesarios para los movimientos de material,

almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc.

La ubicación de las diferentes áreas y zonas de la planta se han diseñado para hallar una ordenación de las áreas y de los equipos que sea la más eficiente en costes (movimiento de material según distancias mínimas, circulación del trabajo a través de la planta y flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones), al mismo tiempo que sea la más segura y satisfactoria para los empleados de la planta.

Las ventajas que aporta una buena distribución se ven reflejadas en una reducción de costes de fabricación, así como en la reducción de riesgos de enfermedades y accidentes profesionales y de trabajo, mejora en la satisfacción del trabajador, incremento de la productividad, disminución de los retrasos, optimización del espacio, reducción del material de proceso y optimización de la vigilancia.

1.4.2. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS

La planta de producción está dividida en ocho áreas. Dos dedicadas al almacenamiento de materias primas y productos acabados, tres para la síntesis de los productos, dos auxiliares para los servicios, seguridad y medio ambiente y una última dónde se emplazarán las oficinas y las distintas zonas para el personal contratado. En la Tabla 1-11 se adjunta la descripción de las distintas áreas que constituyen la planta.

Tabla 1-11 Descripción de las áreas de la planta de producción CFC-13

ÁREA	DESCRIPCIÓN
100	Almacenaje Materias Primas
200	Producción
300	Purificación CFC-13
400	Purificación HCl
500	Almacenaje Productos
600	Servicios / Transformador Eléctrico
700	Oficinas, Laboratorios y Sala de control
800	Seguridad y Medio Ambiente

En la Figura 1-20 se esquematiza la proyección de las áreas en la parcela. Tal como se puede comprobar, éstas están dispuestas manteniendo la zona de producción y síntesis lo más alejada de las vías de acceso para preservar la instalación.

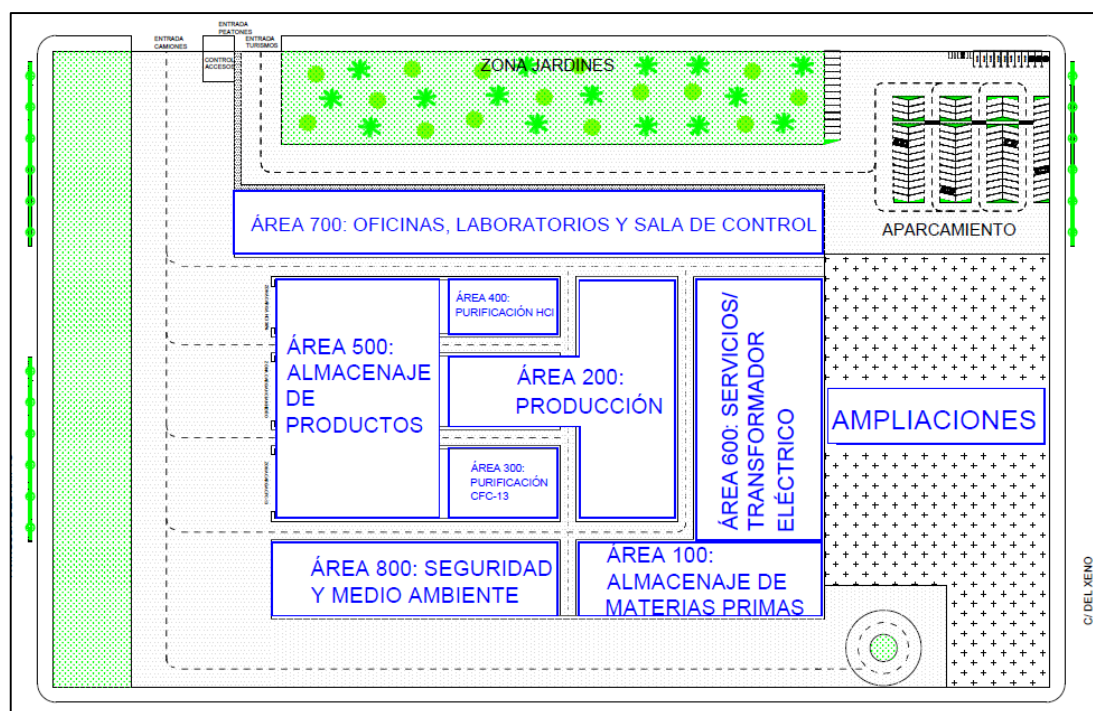


Figura 1-20 Proyección de las áreas en la parcela

ÁREA 100: ALMACENAMIENTO MATERIAS PRIMAS

En esta área se almacenan las dos materias primas del proceso: CCl_4 y HF. El CCl_4 se almacena en cuatro tanques atmosféricos de techo fijo cónico vertical y el HF en cuatro tanques horizontales a presión.

Esta zona además está provista de la zona de descarga correspondiente, accesible totalmente con vehículo terrestre, puesto que será con camión cisterna como se aprovisionará la planta de las materias primas. Los tanques de ambas materias primas se han diseñado para almacenar reactivo suficiente para 30 días de producción normal. Así pues, la frecuencia de camiones está establecida para abastecer reactivo nuevo cada 7 días. Se organizará para que la carga de ambas materias primas no se realice el mismo día, para evitar un gran flujo de camiones en planta.

El área 100 se sitúa en la parte posterior de la parcela, accesible fácilmente por la carretera habilitada, pero lejos del acceso del personal no cualificado por la peligrosidad que entraña el almacenamiento de reactivos químicos.

ÁREA 200: PRODUCCIÓN

La área 200 alberga la producción total del CFC-13. En esta área se sitúan las dos zonas de reacción necesarias, las tres primeras columnas de destilación y todos

los equipos auxiliares que son requeridos para la síntesis del producto de interés como tanques, intercambiadores de calor y mezcladores.

Se debe tener en cuenta que la parte inicial de la producción contiene una mezcla muy corrosiva, por lo que se han usado materiales resistentes a dicha corrosión. Aun así, será necesario su cambio y mantenimiento más frecuentemente que la parte final de la producción. Por ese motivo se han aumentado las distancias entre los equipos que la conforman para facilitar la operabilidad. A su vez, se han intentado mantener alejados los equipos que operan a temperaturas muy dispares para evitar el flujo de calor en esas áreas.

Se sitúa ocupando el área central de la parcela como núcleo del proceso que es. La proximidad hacia las otras áreas le confiere una situación privilegiada de fácil acceso para los operarios de la planta.

ÁREA 300: PURIFICACIÓN CFC-13

Esta área está compuesta por una columna de fraccionamiento que permite separar el CFC-12 del corriente de CFC-13.

La área 300 está ubicada al final del proceso de producción, junto a la de almacenamiento de productos, en la zona del CFC-13, de este modo se reducen las distancias de transporte de materia y minimiza el riesgo.

ÁREA 400: PURIFICACIÓN HCl

La purificación del HCl consta de dos líneas. La primera, que permite obtener HCl anhidro, es almacenada directamente después de su producción en planta, y la segunda, dónde se obtiene HCl comercial al 36%, se realiza mediante un sistema de absorción adiabática e isoterma con agua desionizada.

El sistema de absorción consta de una columna isotérmica de absorción de caída, un tanque de almacenamiento y un scrubber de agua adiabático.

La área 400, al igual que la 300, se sitúa al final de la línea de producción, junto a la de almacenamiento de productos (A 500).

ÁREA 500: ALMACENAMIENTO PRODUCTOS

Los productos almacenados son tres: CFC-13, HCl anhidro y HCl al 36%. Cada uno de ellos dispone de una parte del área diferenciada y de un sistema distinto para ser almacenado.

El CFC-13 se almacena en un tanque horizontal a presión, capaz de contener la cantidad equivalente a cinco días de producción normal (150 tn). Este tanque está conectado a un sistema de embotellamiento en discontinuo que se realizará cada dos días. Las botellas de gas CFC-13 licuado de 2150 L se mantendrán en el almacén para su posterior recogida. El almacenamiento se realizará según la normativa ITC MIE-APQ-5: *Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.*

El HCl anhidro se almacena directamente tal como es producido en planta en un tanque horizontal a presión, desde el que es dirigido hacia unos cilindros de gas licuado de 10.000 L a una presión de 613 psig. El sistema de almacenamiento propuesto se denomina *tube trailer*, el cual el llenado directo al remolque del camión que los transporta. El número de tubos en cada remolque es de 6, por lo cual se pueden almacenar hasta 60.000 L. Este sistema permite una carga fácil y cómoda del producto, ya que el propio remolque dispone de las conexiones y válvulas necesarias para su carga. En la Figura 1-21 se muestra el sistema propuesto para el almacenamiento del HCl anhidro.



Figura 1-21 Tube trailer utilizado para la carga de HCl anhidro

Por último, el HCl comercial al 36% proveniente del área de purificación del HCl, se almacena en dos tanques de 550 m³ para su posterior reenvase en

contenedores IBC de 1 m³ paletizados. Este sistema de almacenamiento permite el rápido y fácil manejo por parte de los operarios y transporte en trailer. Cada uno de estos últimos permite la carga de 33 palets europeos. La producción de HCl comercial es de 123 m³/día, por lo que cada tanque de almacenamiento puede contener la producción de 4 días. De este modo se deberá tener una zona de almacenamiento capaz de albergar 500 IBCs, ya que está previsto vaciar cada tanque cada cuatro días.

Toda la zona de expedición de productos terminados se sitúa cerca de la entrada para facilitar la logística de carga.

ÁREA 600: SERVICIOS Y TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Los servicios auxiliares necesarios para el proceso productivo se distribuyen desde el área 600. A partir de esta área, situada al noroeste de la zona de producción, son canalizados los servicios de fluidos y energía hacia los puntos de uso en la planta. Estos están compuestos por dos torres de refrigeración, una caldera de gas natural, dos chillers, un equipo de desionización del agua, un sistema de compresión de aire y una estación transformadora, así como un depósito de N₂ para mantener la presión a lo largo del proceso. Todos los servicios están detallados en el apartado *1.6 ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIOS A LÍMITE DE PLANTA*.

ÁREA 700: OFICINAS, LABORATORIO Y SALA DE CONTROL

El área 700 incluye todas las zonas dónde se realizará la gestión de la planta. Tanto la gestión administrativa como la gestión operacional y control se realizará desde el mismo edificio. Este tiene una extensión de 3800 m² y se distribuye en una única planta.

ÁREA 800: SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Todas las emisiones voluntarias o involuntarias son dirigidas hacia el área 800. Ésta se encuentra separada del proceso de producción y consta de distintas zonas según la tipología de residuo a tratar (gas, líquido o sólido). En esta área se incluyen el scrubber de CCl₄, el de KOH, el tanque para el almacenamiento de aguas residuales, los contenedores para los diferentes residuos sólidos y la balsa de agua para la prevención contra incendios.

Está situada en una zona cercana a la entrada de camiones para facilitar la recogida de los residuos necesarios.

1.4.3. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PLANTILLA DE TRABAJADORES

La planta de producción de CFC-13 estará operativa durante 300 días al año las 24 horas del día, es decir un total de 7.200 horas al año. La única parada prevista de la planta se realizará durante los meses de julio y agosto, favoreciendo la eficiencia y ahorro energético de la planta puesto que se trabaja a bajas temperaturas.

Para la planificación temporal de la planta, se han considerado tanto los días de operación continua como los dedicados a puesta en marcha y tareas de mantenimiento. A lo largo del año, se trabajarán 7200 horas. Según el XVII Convenio General de la Industria Química los trabajadores de este sector tendrán una jornada laboral máxima anual de 1.752 horas de trabajo efectivo. Así pues, para cubrir el total de horas de producción se distribuirá el trabajo de la planta en cuatro turnos: turno de mañana, tarde y noche y fines de semana.

Los trabajadores están divididos en diversos grupos cubriendo las áreas de producción, mantenimiento, servicios, investigación y laboratorios, administración e informática y comercial. Estos grupos son:

- **Directivos y Técnicos:** Los trabajadores pertenecientes a este grupo planifican, organizan, dirigen, coordinan y controlan las actividades propias al desarrollo de la empresa. Asumen la responsabilidad de alcanzar los objetivos planificados y son responsables de la toma de decisiones.
- **Jefes de sección o especialistas:** Las funciones de este grupo de trabajadores consisten en integrar, coordinar y supervisar las tareas en las diversas secciones de la planta. Se compondrá de 12 trabajadores.
- **Operarios y Obreros:** Serán los encargados de estar a pie de planta tanto en las secciones de producción como mantenimiento. En este grupo serán necesarios 54 trabajadores.
- **Administrativos:** Los 20 trabajadores de este grupo serán los encargados de los departamentos de contabilidad, marketing, informática, comercial y recursos humanos.
- **Personal externo:** Se contratarán de manera externa los servicios de limpieza, seguridad y mantenimiento de equipos especiales. Este grupo implicará un coste fijo al ser una subcontrata.

1.5. BALANCE DE MATERIA

A continuación se presentan los flujos volumétricos, molares y másicos de los diferentes corrientes que componen el proceso de producción, además de sus características principales. Estos se detallan para el estado de operación normal de la planta, es decir en estado estacionario. Todo ello permite configurar el balance de materia del proceso en general y de cada área o sistema, corroborando la producción deseada de CFC-13.

Las Tablas 1-12, 1-13, 1-14, 1-15, 1-16, 1-17, 1-18, 1-19 y 1-20 detallan la información de cada corriente en particular. La numeración de las corrientes corresponde al diagrama de proceso adjuntado en el *apartado 1.4.2. DIAGRAMA DE PROCESO*.

Tabla 1-12 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9							
Temperatura (°C)	25.0	25.3	25.0	25.8	74.1	53.3	95.0	95.0	-11.1							
Presión (kPa)	304	912	101	912	912	912	910	912	885							
Fracción vapor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0							
CÓDIGO FLUIDO	A	A	B	B	P4	P6	P6	P1	P1							
Densidad (kg/m ³)	968	968	1579	1579	1487	1447	1335	21.61	1385							
Flujo molar (kmol/h)	39.88	39.88	13.29	13.29	19.98	59.86	59.86	79.17	79.17							
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0.82	0.82	1.29	1.29	2.07	2.67	2.90	261.41	4.08							
Flujo másico (kg/h)	798	798	2045	2045	3072	3870	3870	5649	5649							
Flujo másico individual (kg/h) y % peso																
HF	798	1	798	1			797.8	0.206	797.8	0.206	217.3	0.038	217.3	0.038		
CCl ₄			2045	1	2045	1	3068	1	3068	0.793	3068	0.793	2.63	5E-04	2.63	5E-04
CFC-11													234.3	0.041	234.3	0.041
CFC-12						3.97	0.001	3.973	0.001	3.973	0.001	2878	0.509	2878	0.509	
CFC-13						0.042	0.000	0.042	1E-05	0.042	1E-05	0.042	7E-06	0.042	7E-06	
HCl													1455	0.258	1455	0.258
SbCl ₅													862.1	0.153	862.1	0.153
H ₂ O																

Tabla 1-13 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	10	11	12	13	14	15	16	17
Temperatura (°C)	-10.7	7.5	19.9	-7.2	-7.2	-6.6	0.0	80.3
Presión (kPa)	1469	1469	1469	1469	1469	2128	2128	1469
Fracción vapor	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CÓDIGO FLUIDO	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1
Densidad (kg/m ³)	1325	1325	33.09	1225	1225	1225	1199	1414
Flujo molar (kmol/h)	79.17	79.17	107.80	59.88	47.90	59.88	59.88	345.94
Caudal volumétrico (m ³ /h)	4.26	4.26	210.56	3.16	2.53	3.16	3.23	18.01
Flujo másico (kg/h)	5649	5649	6967	3871	3097	3871	3871	25467
Flujo másico individual (kg/h) y % peso								
HF	217.3	0.038	217.3	0.038				3482 0.137
CCl ₄	2.63	5E-04	2.63	5E-04				11.21 4E-04
CFC-11	234.3	0.041	234.3	0.041				2831 0.111
CFC-12	2878	0.509	2878	0.509	4349	0.624	2416	0.624 1933 0.624 2416 0.624 2416 0.624 17652 0.693
CFC-13	0.042	7E-06	0.042	7E-06	0.076	1E-05	0.042	1E-05 0.034 1E-05 0.042 1E-05 0.042 1E-05 4E-04 2E-08
HCl	1455	0.258	1455	0.258	2619	0.376	1455	0.376 1164 0.376 1455 0.376 1455 0.376 10.55 4E-04
SbCl ₅	862.1	0.153	862.1	0.153				1481 0.058
H ₂ O								

Tabla 1-14 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	18	19	20	21	22	23	24	25
Temperatura (°C)	100.0	100.0	-7.9	-7.9	-7.9	-7.9	-71.9	-71.9
Presión (kPa)	1469	1469	2128	2128	2128	2128	203	203
Fracción vapor	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
CÓDIGO FLUIDO	P1	P1	H	H	H	H	H	H
Densidad (kg/m ³)	1414	38.09	43.29	967.10	967	967	1160	4.57
Flujo molar (kmol/h)	19.29	326.60	65.84	39.90	25.94	5.99	24.68	9.24
Caudal volumétrico (m ³ /h)	1.26	621.92	55.45	1.50	0.98	0.23	0.78	73.65
Flujo másico (kg/h)	1778	23689	2400	1455	946	218	900	337
Flujo másico individual (kg/h) y % peso								
HF	217.3	0.122	3264	0.138				
CCl ₄	2.63	0.001	8.58	4E-04				
CFC-11	234.3	0.132	2596	0.11				
CFC-12	461.9	0.26	17190	0.726	5E-02	2E-05	3E-02	2E-05
CFC-13			0.0	2E-08	7E-02	3E-05	4E-02	3E-05
HCl	0.104	6E-05	10.45	4E-04	2400	1	1455	1
SbCl ₅	862.1	0.485	619.0	0.026				
H ₂ O								

Tabla 1-15 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	26	27	28	29	30	31	32	33								
Temperatura (°C)	-43.6	75.3	75.3	75.3	73.5	7.9	30.3	125.0								
Presión (kPa)	190	2128	2128	2128	2128	405	405	375								
Fracción vapor	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0								
CÓDIGO FLUIDO	H	F2	F2	F2	P5	P5	P5	P5								
Densidad (kg/m ³)	4.40	1089	130	1089	1093	48.91	13.54	13.74								
Flujo molar (kmol/h)	24.68	102.60	82.66	19.98	23.76	23.76	23.76	23.76								
Caudal volumétrico (m ³ /h)	204.50	11.40	76.88	2.22	2.62	58.64	211.82	208.72								
Flujo másico (kg/h)	900	12410	9994	2416	2868	2868	2868	2868								
Flujo másico individual (kg/h) y % peso																
HF																
CCl ₄																
CFC-11																
CFC-12	3E-02	3E-05	12410	1	9994	1	2416	1	2838	0.989	2838	0.989	2838	0.989	2839	0.99
CFC-13	3E-02	3E-05							28.6	0.01	28.6	0.01	28.6	0.01	28.81	0.01
HCl	899.7	1	3E-01	2E-05	3E-01	3E-05	2E-02	1E-05	2E-02	8E-06	2E-02	0.00	2E-02	8E-06	2E-02	8E-06
SbCl ₅																
H ₂ O																

Tabla 1-16 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	34	35	36	37	38	39	40	41								
Temperatura (°C)	125.0	53.4	53.4	35.7	-60.0	-59.0	35.7	36.5								
Presión (kPa)	340	325	325	300	319	1267	300	1267								
Fracción vapor	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
CÓDIGO FLUIDO	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4								
Densidad (kg/m ³)	12.58	14.19	1496	14.37	1492	1492	1516	1516								
Flujo molar (kmol/h)	23.76	19.06	4.69	16.70	16.70	16.70	2.36	2.36								
Caudal volumétrico (m ³ /h)	227.97	153.22	0.46	130.96	1.26	1.26	0.19	0.19								
Flujo másico (kg/h)	2868	2174	694	1882	1882	1882	292	292								
Flujo másico individual (kg/h) y % peso																
HF																
CCl ₄	1023	0.357	402	0.185	621.7	0.896	154	0.082	154	0.082	154	0.082	247.8	0.847	247.8	0.847
CFC-11																
CFC-12	425.9	0.148	396	0.182	29.68	0.043	376	0.2	376	0.2	376	0.2	20.28	0.069	20.28	0.069
CFC-13	1419	0.495	1376	0.633	42.5	0.061	1352	0.718	1352	0.718	1352	0.718	24.32	0.083	24.32	0.083
HCl																
SbCl ₅																
H ₂ O																

Tabla 1-17 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	42	43	44	45	46	47	48	49
Temperatura (°C)	54.3	-26.0	1.0	6.6	-8.8	-8.8	-7.9	182.1
Presión (kPa)	1267	1267	1261	1267	1267	1267	2026	1267
Fracción vapor	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CÓDIGO FLUIDO	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4
Densidad (kg/m ³)	1492	1494	1421	72.81	1254	1254	1256	1219
Flujo molar (kmol/h)	4.69	23.76	23.76	27.31	10.24	17.07	17.07	28.91
Caudal volumétrico (m ³ /h)	0.47	1.92	2.02	40.45	0.88	1.47	1.47	3.63
Flujo másico (kg/h)	694	2868	2868	2945	1104	1841	1841	4426
Flujo másico individual (kg/h) y % peso								
HF								
CCl ₄	621.7	0.896	1023	0.357	1023	0.357		4349 0.983
CFC-11								
CFC-12	29.68	0.043	426	0.148	426	0.148	675.0 0.229 253.1 0.229 421.9 0.229 421.9 0.229	75.21 0.017
CFC-13	42.5	0.061	1419	0.495	1419	0.495	2270 0.771 851.2 0.771 1419 0.771 1419 0.771	1.72 4E-04
HCl								
SbCl ₅								
H ₂ O								

Tabla 1-18 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	50	51	52	53	54	55	56	57
Temperatura (°C)	188.4	188.4	167.0	2.1	0.7	0.6	0.6	56.6
Presión (kPa)	1267	1267	1260	2026	2026	2026	2026	2026
Fracción vapor	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
CÓDIGO FLUIDO	P4	B, F2	B, F2	P5	F3	F3	F3	P5
Densidad (kg/m ³)	62.63	1219	1282	1199	136	1114	1114	1122
Flujo molar (kmol/h)	22.22	6.69	6.69	17.07	26.62	13.31	13.31	25.01
Caudal volumétrico (m ³ /h)	54.27	0.84	0.80	1.54	20.38	1.25	1.25	2.64
Flujo másico (kg/h)	3399	1027	1027	1841	2780	1390	1390	2962
Flujo másico individual (kg/h) y % peso								
HF								
CCl ₄	3326	0.979	1023	0.996	1023	0.996		
CFC-11								
CFC-12	71.24	0.021	3.97	0.004	3.97	0.004	421.9	0.229
CFC-13	1.68	5E-04	4E-02	4E-05	4E-02	4E-05	1419	0.771
HCl							5E-02	2E-05
SbCl ₅								
H ₂ O								

Tabla 1-19 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	58	59	60	61	62	63	64					
Temperatura (°C)	64.8	65.0	-51.3	45.0	45.0	45.0	56.0					
Presión (kPa)	2026	2026	200	120	103	103	103					
Fracción vapor	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0					
CÓDIGO FLUIDO	P5	P5	H	H,W	H,W	H	H,W					
Densidad (kg/m ³)	119	1122	1.49	1180	1160	1490	1050					
Flujo molar (kmol/h)	21.25	3.78	33.92	177.80	16.00	2.97	124.90					
Caudal volumétrico (m ³ /h)	21.18	0.40	278.15	4.09	0.36	0.12	2.32					
Flujo másico (kg/h)	2512	450	1237	3883	343	108	2305					
Flujo másico individual (kg/h) y % peso												
HF												
CCl ₄												
CFC-11												
CFC-12	2147	0.855	421.7	0.937								
CFC-13	365	0.145	28.6	0.063								
HCl			1237	1	1345	0.346	108.3	0.316	108.3	108.3	0.047	
SbCl ₅												
H ₂ O					2538	0.654	235	0.684			2196	0.953

Tabla 1-20 Balance de materia de la planta de producción de CFC-13

Número de corriente	65	66	67
Temperatura (°C)	45.0	25.0	54.6
Presión (kPa)	103	103	103
Fracción vapor	0.0	0.0	0.0
CÓDIGO FLUIDO	H,W	W	H,W
Densidad (kg/m ³)	1180	1000	1000
Flujo molar (kmol/h)	155.80	122.02	140.90
Caudal volumétrico (m ³ /h)	3.62	2.20	2.68
Flujo másico (kg/h)	3432	2196	2648
Flujo másico individual (kg/h) y % peso			
HF			
CCl ₄			
CFC-11			
CFC-12			
CFC-13			
HCl	1237 0.36		216.6 0.082
SbCl ₅			
H ₂ O	2196 0.64	2196 1	2431 0.918

1.6. ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIOS A LÍMITE DE PLANTA

Se entiende por servicios de planta todas aquellas operaciones auxiliares al proceso de producción principal encargados de hacer funcionar y regular dicho proceso. Los servicios requeridos por la planta pueden ser tanto constantes como intermitentes. El objetivo básico de los servicios es realizar un trabajo o aportar/retirar materia y energía al proceso.

Los servicios representan la mayor parte de los costes de operación de la planta y son imprescindibles para ésta, por tanto deben ser fiables, de calidad constante y estar siempre disponibles en exceso.

1.6.1. SERVICIOS REQUERIDOS POR LA PLANTA

Los servicios de la planta se pueden clasificar en dos grupos: fluidos y energías. Generalizando, las energías son servicios primordiales que se obtienen fuera de la planta, mientras que los fluidos se suelen elaborar en la propia planta a partir de las energías y son los que le dan vida al proceso.

La Tabla 1-21 describe los servicios, divididos en fluidos y energías, requeridos por la planta de producción de CFC-13 proyectada.

Tabla 1-21 Servicios requeridos por la planta

SERVICIO	TIPO	FUENTE
Electricidad	Energía	Externa e interna
Gas natural	Energía	Externa
Aceite térmico (-20°C)	Fluido	Interna
Aceite térmico (35°C)	Fluido	Interna
Aceite térmico (200°C)	Fluido	Interna
Agua de torre (35°C)	Fluido	Interna
Agua de incendios	Fluido	Externa
Agua de red	Fluido	Externa
Agua desionizada	Fluido	Interna
Nitrógeno	Fluido	Externa
Aire comprimido	Fluido	Interna

1.6.2. FLUIDOS

1.6.2.1. Aceite térmico (-20°C)

Utilidad en planta: Enfriar corrientes hasta un mínimo de -15°C.

Requisitos: Electricidad.


Equipo necesario: Grupo de frío o “chiller”.

Este servicio acepta aceite térmico a -10°C y lo entrega a -20°C para refrigeración. Se ha elegido un aceite térmico, DOWTHERM J, como transmisión de calor por la incompatibilidad del proceso con el agua. En caso de fugas el contacto del aceite con la corriente de proceso no tendría mayores consecuencias que la contaminación del producto.

El aceite térmico frío se consigue con un grupo de frío, comúnmente denominado chiller, que se basa en un ciclo de compresión para refrigerar un circuito secundario de aceite. En operación el equipo requiere energía eléctrica para el funcionamiento del compresor del ciclo de refrigeración y para las bombas que hacen circular el aceite térmico.

La Tabla 1-22 recoge los consumidores de este servicio en planta. Estos consumos están sobreestimados, valorados para las peores condiciones de la planta.

Tabla 1-22 Lista de consumidores de aceite frío

		LISTADO DE CONSUMIDORES DE SERVICIO CHILLER		Hoja 1 de 1	Planta de producción de CFC-13
				Fecha: 05-06-2015	Localidad: Sabadell
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CAUDAL MÁSICO (kg/h)	CAUDAL VOLUMÉTRICO	POTENCIA (kW)	TEMP. SALIDA (°C)
E-202	Condensación vapor salida R-201	120000	134.83	635.5	-9.33
E-204	Condensador total C-201	125000	140.45	719	-9.11
E-207	Condensador total C-202	58800	66.07	267.4	-10.67
E-213	Condensador total C-203	25000	28.09	122.9	-10.02
E-302	Condensador total C-301	16800	18.88	85.6	-9.58
E-501	Mantener baja temperatura en almacenamiento HCl	813	0.91	1.6	-15
E-502	Mantener baja temperatura en almacenamiento CFC-13	1500	1.69	3	-15
TOTAL	5	345600	388.31	1830.4	-9.64

Sobreestimando, el requisito de potencia de enfriamiento es de 1850 kW. A continuación la Tabla 1-23 especifica la solución comercial elegida.

Tabla 1-23 Modelo de chiller elegido para baja temperatura.

Equipo	Chiller
Proveedor	BUDZAR
Modelo	LTW-625
Capacidad de enfriamiento a -20°C [kW]	1195
Compresores/Potencia por compresor [hp]	5 / 125
FLA [A]	1082
Conexión eléctrica	460 V; 3 Ph; 50Hz
Largo/ancho/alto estimado [m]	12 / 3 / 3
Peso/Peso en operación estimado [tn]	10 / 12
Precio estimado [USD]	200000



Figura 1-22 Chiller del proveedor BUDZAR, gama LTW.

Teniendo en cuenta las especificaciones de un solo equipo visto en la Tabla 1-23, la configuración de equipos final para cubrir los requisitos será la detallada en la Tabla 1-24.

Tabla 1-24 Configuración de chillers

Número de equipos	2
Potencia en operación	75%
Energía eléctrica consumida [kWh]	746
Coste total equipos [USD]	400000

El aceite térmico frío se distribuirá mediante una red de tuberías térmicamente aisladas, con un espesor mínimo de 60 mm de espuma de poliuretano.

1.6.2.2. Aceite térmico (35°C)

Utilidad en planta: Enfriar corrientes hasta un mínimo de 40°C.

Requisitos: Agua de red, electricidad.

Equipo necesario: Torre de refrigeración de agua.

Este servicio acepta aceite térmico a 45°C y lo entrega a 35°C para refrigeración. Se ha elegido un aceite térmico, DOWTHERM J, como transmisión de calor por la incompatibilidad del proceso con el agua. En caso de fugas el contacto del aceite con la corriente de proceso no tendría mayores consecuencias que la contaminación del producto.

El aceite térmico frío se consigue con una torre de refrigeración por agua, que se basa en el enfriamiento de una corriente que circula por un serpentín mediante la pulverización de agua, que evapora al contacto con el serpentín.



Figura 1-23 Torre de refrigeración marca EWC.

El sistema requerirá purgas periódicas para eliminar las sales concentradas por la evaporación y por consiguiente, una entrada constante de agua.

El modelo comercial elegido y el consumo en operación para el servicio requerido de 21 kW es el descrito en la Tabla 1-25.


Tabla 1-25 Datos torre de refrigeración

Equipo	Torre de refrigeración
Proveedor	EWK© EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, S.A.
Modelo	EWK-C 144/2
Largo/ancho/alto [mm]	1220/1220/2320
Peso/peso en operación [kg]	650/1190
Consumo de agua [l/h]	58,4
Consumo eléctrico [kWh]	2,95
Calor disipado [kW]	21
Precio estimado [USD]	2000

El aceite térmico frío se distribuirá mediante una red de tuberías térmicamente aisladas, con un espesor mínimo de 30 mm de lana de roca mineral.

El único consumidor en planta de este tipo de servicio es el reactor R-204, tal como se detalla en la Tabla 1-26.

Tabla 1-26 Listado de consumidores de aceite de torre

		LISTADO DE CONSUMIDORES DE SERVICIO AGUA DE TORRE		Hoja 1 de 1	Planta de producción de CFC-13	
				Fecha: 05-06-2015	Localidad: Sabadell	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	FLUIDO TÉRMICO	CAUDAL MÁSICO (kg/h)	CAUDAL VOLUMÉTRICO (m ³ /h)	POTENCIA (kW)	TEMP. SALIDA (°C)
R-204	Reactor tercera fluoración	Dowtherm J	4000	4.71	21	45

1.6.2.3. Aceite térmico (200°C)

Utilidad en planta: Calentar corrientes hasta un máximo de 195°C.

Requisitos: Gas natural, electricidad.

Equipo necesario: Caldera de fluido térmico.

Este servicio acepta aceite térmico a aproximadamente 175°C y lo entrega a 200°C para aporte de energía. Se ha elegido un aceite térmico, DOWTHERM J, como transmisión de calor por la incompatibilidad del proceso con el agua. En caso de fugas

el contacto del aceite con la corriente de proceso no tendría mayores consecuencias que la contaminación del producto.


El aceite térmico caliente se consigue con una caldera de fluido térmico, que se basa en quemar un combustible y poner en contacto los gases de combustión con un serpentín por el que circula un aceite térmico. A diferencia de una caldera de vapor, una caldera de fluido térmico trabaja a baja presión y sin cambio de fase, por eso también se le suele llamar calentador de fluido térmico. Debido a la disponibilidad de servicio de gas natural la caldera funcionará con dicho combustible, que además es menos contaminante que otras opciones como el carbón o el gasoil.



Figura 1-24 Calentador de fluido térmico del proveedor Fulton.

La lista de equipos consumidores en planta de este servicio se detalla en la Tabla 1-27. Estos consumos están sobreestimados, valorados para las peores condiciones de la planta.

Tabla 1-27 Listado de equipos consumidores de aceite térmico de caldera

		LISTADO DE CONSUMIDORES DE SERVICIO CALDERA		Hoja 1 de 1	Planta de producción de CFC-13	
				Fecha: 05-06-2015	Localidad: Sabadell	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CAUDAL MÁSICO (kg/h)	CAUDAL VOLUMÉTRICO (m ³ /h)	POTENCIA (kW)	TEMP. SALIDA (°C)	
E-201	Precalentar entrada R-201, R-202 y R-204	6000	8.39	63.8	188.86	
R-201	Reactor 1 primera y segunda fluoración	46578	65.14	231.1	190	
R-202	Reactor 2 primera y segunda fluoración	46578	65.14	231.1	190	
R-203	Reactor 3 primera y segunda fluoración	46578	65.14	231.1	190	
E-203	Precalentamiento reactivos C-201	4000	5.59	41.7	186.98	
E-205	Evaporación total colas C-201	93750	131.12	2536.2	169.23	
E-206	Precalentar mezcla C-202	1250	1.75	12.4	188.41	
E-208	Evaporación total colas C-202	39900	55.80	267.4	189.99	
E-210	Precalentar entrada R-204	7500	10.49	59.9	189.97	
E-214	Evaporación total colas C-203	21000	29.37	175.3	189.54	
E-303	Evaporación total colas C-301	10500	14.69	92.5	189.37	
TOTAL	10	317634	444.24	3878.6	183.77	

El servicio requiere 3312 kW de potencia y 328 m³/h de aceite térmico en circulación a 2 bar. Para cubrir esta demanda se ha elegido el equipo descrito en la Tabla 1-28.

Tabla 1-28 Especificaciones básicas de la caldera HOPKINS 1200S

Equipo	Caldera de aceite térmico
Proveedor	Fulton
Modelo	HOPKINS 1200S
Aporte de calor [kW]	3516
Caudal estándar/mínimo [m³/min]	205/103
Potencia bombas Qstd/Qmin [kW]	45/29,8
Consumo de gas a plena carga [m³/h]	448
Largo/ancho/alto [mm]	9144/2617/2667
Peso/peso en operación [kg]	12156/15368
Precio estimado [USD]	25000

Teniendo en cuenta las especificaciones de la caldera y el servicio requerido por la planta los datos en operación son los especificados en la Tabla 1-29.

Tabla 1-29 Consumo de la caldera para el servicio requerido

Aporte de calor [kW]	3312
Consumo eléctrico [kWh]	25
Consumo de gas natural [m³/h]	422

El aceite térmico caliente se distribuirá mediante una red de tuberías térmicamente aisladas, con un espesor mínimo de 60 mm de lana de roca mineral.

1.6.2.4. Agua de torre (35°C)

Utilidad en planta: Enfriar corrientes hasta un mínimo de 40°C.

Requisitos: Agua de red, electricidad.

Equipo necesario: Torre de refrigeración de agua.

Este servicio es utilizado en su totalidad por el absorbedor de película descendente, por tanto no es necesaria la utilización de un aceite térmico ya que el agua es compatible con esta parte del proceso.


El servicio acepta agua desionizada a 45°C y la entrega a 35°C para refrigeración. Se ha elegido agua desionizada en vez de agua de red enfriada en torre de aire para evitar incrustaciones en el equipo de absorción.

El agua fría se consigue en una torre de refrigeración por agua. Ésta se basa en el enfriamiento de una corriente que circula por un serpentín cerrado mediante la pulverización de agua que evapora al contacto con el serpentín.

El sistema requerirá purgas periódicas para eliminar las sales concentradas por la evaporación y por consiguiente, una entrada constante de agua.

La Tabla 1-30 resume el consumo de agua de torre de refrigeración que se dará en la planta de producción de CFC-13.

Tabla 1-30 Listado de consumidores de agua de torre de refrigeración

		LISTADO DE CONSUMIDORES DE SERVICIO AGUA DE TORRE		Hoja 1 de 1	Planta de producción de CFC-13	
				Fecha: 05-06-2015	Localidad: Sabadell	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	FLUIDO TÉRMICO	CAUDAL MÁSICO (kg/h)	CAUDAL VOLUMÉTRICO (m ³ /h)	POTENCIA (kW)	TEMP. SALIDA (°C)
C-401	Absorbedor producción HCl al 36%	Agua desionizada	55200	55.3	641	45

El modelo comercial elegido y el consumo en operación para el servicio requerido de 641 kW es el siguiente:

Tabla 1-31 Datos torre de refrigeración

Equipo	Torre de refrigeración de agua
Proveedor	EWK© EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, S.A.
Modelo	EWK-C 441/6
Largo/ancho/alto [mm]	2140/2140/3540
Peso/peso en operación [kg]	2850/5010
Consumo de agua [l/h]	1784
Consumo eléctrico [kWh]	8
Calor disipado [kW]	641
Precio estimado [USD]	4000

El agua fría se distribuirá mediante una red de tuberías térmicamente aisladas, con un espesor mínimo de 30 mm de lana de roca mineral.

1.6.2.5. Agua de incendios

Utilidad en planta: Suministrar a los equipos antiincendios y llenar la balsa de reserva.

Requisitos: Agua de incendios (conexión), electricidad.

Equipo necesario: Estación de bombeo, balsa de reserva.

El servicio de agua de incendios se encarga de proveer con agua a presión a todos los elementos de protección activa anti-incendios que requieran suministro de agua. Se dispone de una conexión al exterior a una presión de 4 kg/cm².

En esencia el servicio requiere de una balsa de agua como reserva para abastecer la gran demanda de agua que se produciría en caso de incendio. Además es necesaria una estación de bombeo para suministrar agua a presión a los elementos antiincendios. Dicha estación de bombeo debe ser fiable, por consiguiente el equipo requerido está diseñado para tal efecto, como por ejemplo un sistema doble de bombas o un control de respuesta rápida.



Figura 1-25 Estación de bombeo modelo KYWF

La opción comercial elegida para el bombeo se detalla en la Tabla 1-32:

Tabla 1-32 Estación de bombeo elegida.

Equipo	Estación de bombeo
Proveedor	KAIYUAN
Modelo	KYWF
Presión de operación máxima [MPa]	2,7
Caudal de operación máxima [m ³ /h]	500
Tiempo de respuesta [s]	>15
Combustible	Electricidad
Precio [USD]	20000

Se estima que la balsa de reserva no sobrepasará los 4000 euros si se construye con tela impermeable, o 12000 euros si se realiza de hormigón.

1.6.2.6. Agua de red

Utilidad en planta: Suministrar agua potable a los equipos y servicios que lo requieran y suministrar agua potable para las instalaciones civiles y jardines.

Requisitos: Agua de red (conexión).

Equipo necesario: Red de distribución.

El servicio de agua de red se encarga de abastecer con agua potable cualquier demanda requerida, mediante la conexión de la red de agua interna de la planta con la red de abastecimiento de agua potable. Se dispone de una conexión al exterior de 200mm de diámetro a una presión de 4 kg/cm².

El servicio únicamente requerirá una red de tuberías de distribución adecuada, sin aislar, i las válvulas de regulación que sean necesarias. Las bombas no serán necesarias, pues el agua ya viene a una presión adecuada para las necesidades de este servicio. En operación el consumo de agua se ha estimado en 4 m³/h.

1.6.2.7. Agua desionizada

Utilidad en planta: Suministrar agua pura para la obtención de HCl acuoso al 36% de gran pureza.

Requisitos: Agua de red, electricidad.

Equipo necesario: Sistema de osmosis inversa, sistema de resinas iónicas.

El servicio de agua desionizada de encarga de producir agua prácticamente pura a partir de agua de red para abastecer continuamente la operación de absorción de HCl para producirlo acuoso al 36%, además de abastecer, de forma puntual, equipos y circuitos que requieran agua desionizada.

El servicio consta principalmente de tres equipos, que efectúan las tres etapas con las que se llevará a cabo la desionización. Los equipos son:

1. Prefiltro: se encarga de eliminar una parte de las impurezas del agua para extender el tiempo de vida de las membranas de osmosis inversa.
2. Membranas de osmosis inversa: elimina la mayor parte de las sales y otras sustancias presentes en el agua.
3. Columnas de intercambio iónico: intercambia los iones que quedan en el agua por iones H^+ i OH^- .

Para cubrir el requerimiento de agua desionizada de 2,196 m³/h se han elegido los equipos descritos en las Tablas 1-33 y 1-34.

Tabla 1-33 Especificaciones equipo de osmosis inversa.

Equipo	Sistema integrado de osmosis inversa
Proveedor	CHIWATEC
Modelo	DELTA-6
Capacidad [m³/h]	6
Recuperación de diseño	65%
Motor	7,5 kW; 50Hz 380V
Otros	Incluye prefiltro de ultrafiltración

Tabla 1-34 Especificaciones equipo de intercambio iónico.

Equipo	Sistema de intercambio iónico
Proveedor	CHIWATEC
Modelo	MSB-400×2
Capacidad [m³/h]	3-4
Conexión [mm]	DN32
Calidad de desionización [MΩ]	5-15
Otros	Incluye tanques de ácido y base para la regeneración de las resinas.

Se ha establecido el consumo total de agua por el equipo de desionización mediante el valor límite de vertido de conductividad, tal como se establece en el

apartado 6.3.1.2. *Emisiones líquidas del Capítulo 6. MEDIO AMBIENTE.* De este modo, el porcentaje de agua desionizada obtenido respecto al consumo del equipo es de 65%.

El consumo del equipo de desionización y los caudales obtenidos tanto de agua desionizada como concentrada se detallan en la Tabla 1-35.

Tabla 1-35 Consumo total del sistema osmosis inversa e intercambio iónico.

Consumo de agua total [m³/h]	3,378
Salida de agua desionizada [m³/h]	2,196
Salida de agua concentrada [m³/h]	1,182
Consumo eléctrico [kWh]	3

1.6.2.8. Nitrógeno

Utilidad en planta: Presurizar los equipos que lo requieran, desplazar la humedad del sistema tras cada parada.

Requisitos: Suministro de nitrógeno.

Equipo necesario: Tanque criogénico, evaporador.

El servicio de nitrógeno se encarga de abastecer con gas inerte presurizado a todos los sistemas de control de presión del proceso, además de servir para la presurización inicial de los equipos. Este nitrógeno también se usará antes de cada puesta en marcha para desplazar el aire dentro del sistema y, sobretodo, eliminar la humedad.

Los equipos de la planta de CFC-13 están presurizados a un máximo de 22 bar. En consecuencia, el nitrógeno estará almacenado como mínimo a 24 bar para así asegurar la presión de servicio.

En operación la planta necesita 40 kg/h de nitrógeno (144 m³/h a condiciones estándar), por lo tanto para asegurar el suministro, para al menos una semana, se requiere un almacenamiento mínimo de 8,5 m³ de nitrógeno líquido.



Figura 1-26 Varios modelos de tanques criogénicos del fabricante Linde

Debido a las necesidades de requerimiento de este servicio en la planta de producción de CFC-13, el equipo escogido se resume en la Tabla 1-36.

Tabla 1-36 Especificaciones del equipo escogido para el servicio de Nitrógeno

Equipo	Tanque criogénico de nitrógeno
Proveedor	Linde
Modelo	LIN 300
Presión de operación [bar]	36
Capacidad [m³]	27
Perdida por vaporización [%/d]	0,3
Capacidad de descarga [m³/h]	280
Diámetro/altura [mm]	2400/11550
Peso [kg]	17090
Precio estimado [EUR]	20000

1.6.2.9. Aire comprimido

Utilidad en planta: Accionar válvulas.

Requisitos: Electricidad.

Equipo necesario: Compresor, tanque a presión.

El servicio de aire comprimido se encarga de abastecer con aire a presión a todas las válvulas neumáticas que lo requieran.

En esencia este servicio requerirá de un filtro de aire, un compresor, un tanque de almacenamiento de aire comprimido y una red de distribución.



Figura 1-27 Compresor de aire elegido.

En la Tabla 1-37 se detalla el modelo de compresor escogido que se adecua mejor a las necesidades de la planta.

Tabla 1-37 Detalles del compresor elegido.

Equipo	Compresor de aire de tornillo
Proveedor	PUSKA
Modelo	RTD 75/8
Presión de operación [bar]	8
Potencia [kW]	55
Caudal de aire [m³/h]	611
Ruido [dB]	69
Largo/ancho/alto [mm]	1100/1930/1765
Peso [kg]	1075
Conexión de salida	1 ½"
Precio [EUR]	30400

Otro de los elementos que compone el sistema de aire comprimido de la planta es el depósito de aire comprimido, el cual permite cubrir los picos de demanda de aire

superiores al caudal del compresor. En la Tabla 1-38 se describen las características del depósito escogido.

Tabla 1-38 Especificaciones del depósito de aire comprimido elegido.

Equipo	Depósito para aire comprimido
Proveedor	PUSKA
Modelo	D-200
Presión de operación [bar]	8
Capacidad [m ³]	0,9
Largo/Ancho/Alto [mm]	1500/600/700
Precio [EUR]	530

1.6.3. ENERGÍA

1.6.3.1. Electricidad

Utilidad en planta: Alimentar los equipos eléctricos.

Requisitos: Disponibilidad de servicio externo (conexión), gasóleo.

Equipo necesario: Transformador, red eléctrica, grupo electrógeno.

El servicio de electricidad se clasifica como una energía y se encarga de abastecer todos los equipos que la requieran. Se dispone de una conexión a una línea eléctrica de 20.000V. La planta opera en su mayoría a 380V y 50 Hz, por lo tanto se requiere de un transformador para disponer del voltaje de trabajo.

En operación los servicios consumen 837 kWh de energía eléctrica, que sumados a los 200 kWh del resto de la planta nos dan un total de 1037 kWh.

En caso de fallo en el suministro eléctrico la planta debe tener un grupo electrógeno que mantenga los servicios funcionando. Este grupo funcionara con gas natural y se encenderá automáticamente en caso de corte eléctrico, abasteciendo a la totalidad de la demanda eléctrica de la planta.

1.6.3.2. Gas natural

Utilidad en planta: Alimentar la caldera de aceite térmico.

Requisitos: Disponibilidad de servicio externo, conexión.

Equipo necesario: Red de gas natural.

El servicio de gas natural se clasifica como una energía y se utiliza para abastecer la caldera de aceite térmico. Se dispone de gas natural a media presión: 1,5 kg/cm³.

El servicio de gas natural se requiere en su totalidad para tres consumidores: la caldera de aceite térmico, el grupo electrógeno y el agua sanitaria del edificio de oficinas. En operación el consumo de gas de la caldera es de 422 m³/h, y en caso de corte del servicio eléctrico el consumo del grupo electrógeno sería del orden de los 400 m³/h.

1.7. PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA

A continuación se presenta un modelo esquemático de la planificación temporal y montaje de la planta de CFC-13 una vez sea aceptado el presente proyecto. Para ello es necesario definir previamente las tareas necesarias para llevar a cabo la obra, su duración y orden de ejecución. En la Tabla 1-39 se resume la información necesaria para el montaje de la planta.

Tabla 1-39 Duración de las tareas a realizar durante la construcción y montaje de la planta de CFC-13

Número de tarea	Descripción Tareas	Duración	Precedencia
1	Ingeniería del detalle	4 meses	0:01
2	Licencia de obras y actividades	6 meses	0:02
3	Pedido de equipos	6 meses	1:03
	Urbanización	5 meses	
4	Limpieza de terrenos	1 mes	1:04
5	Excavaciones y cimientos	2 meses	4:05
6	Instalación de suministros	1 mes	5:06
7	Viales y aceras	1 mes	5:07
	Edificación de oficinas y aparcamientos	4 meses	
8	Edificio de oficinas	3 meses	6:08
9	Aparcamiento	1 mes	5,7:9
	Instalación de equipos	9 meses	
10	Área de almacenaje MP	1 mes	3,6:10
11	Área de producción	3 meses	3,6:11
12	Área de purificación	1 mes	11:12
13	Área de almacenaje de Productos	1 mes	3,6:13
14	Área de servicios	1 mes	6:14
15	Área de Seguridad y Medioambiente	1 mes	12:15
16	Soportes, escaleras, plataformas y barandillas	1 mes	10-15:16
	Instalación de tuberías	3 meses	
17	Instalación de tuberías del proceso	1.5 meses	10-15:17
18	Instalación de tuberías de servicio	1.5 meses	14:17
	Instrumentación	1.5 meses	
19	Instalación instrumentación	1 mes	17,18:19
20	Conexión instrumentos-equipos	0.5 meses	19:20
	Aislamientos	2 meses	
21	Aislamiento equipos	1 mes	20:21
22	Aislamiento tuberías	1 mes	20:22
	Acabados	1 meses	
23	Pintura	0.5 meses	21,22:23
24	Limpieza	0.5 meses	23:24

El diagrama de Gantt, presentado a continuación (Figura 1-28), es la representación gráfica del tiempo dedicado al montaje de la planta detallado anteriormente. Este método permite visualizar la duración total que tendrá la ejecución del proyecto. Según el esquema temporal propuesto, esta duración es de aproximadamente 2 años.

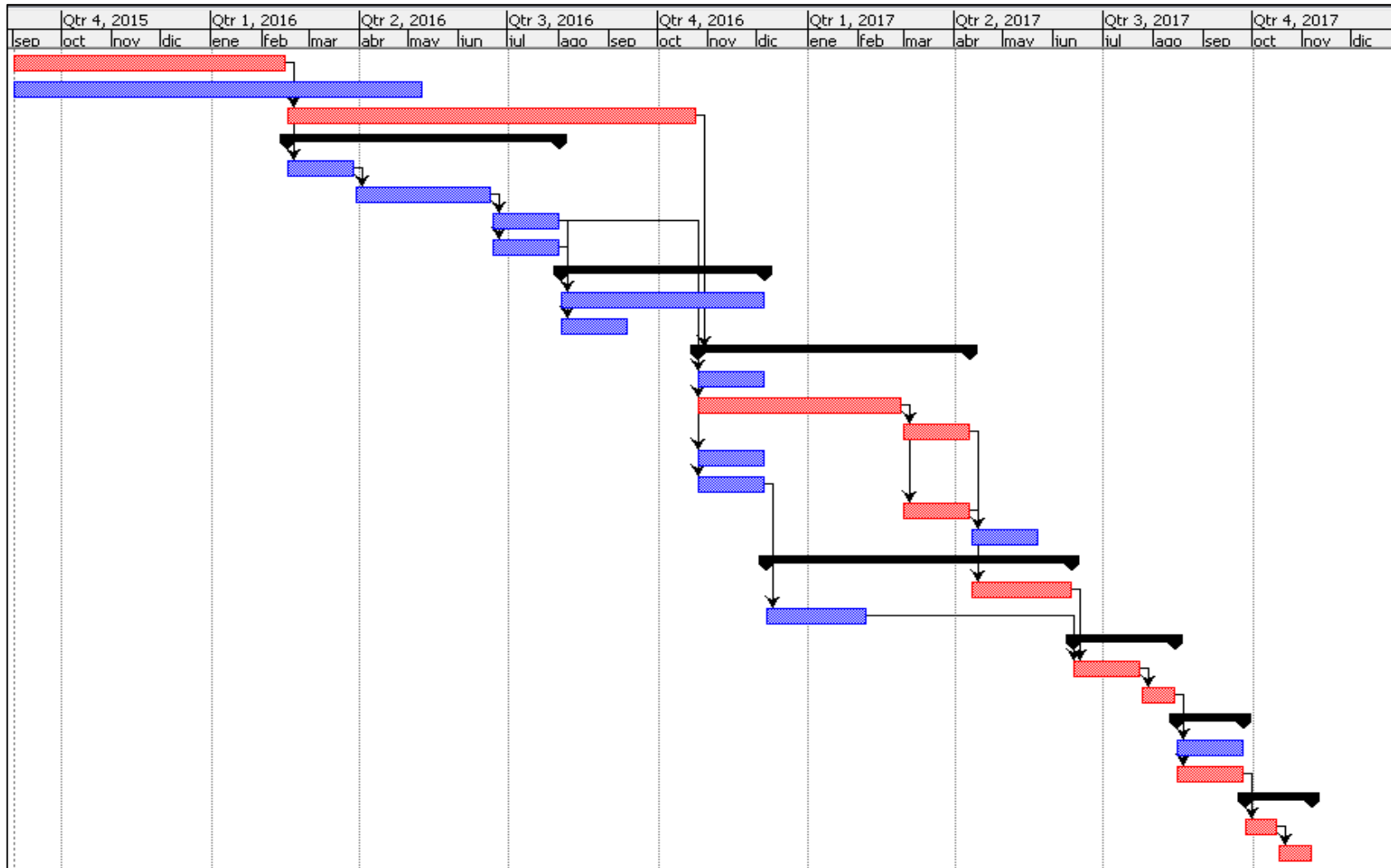


Figura 1-28 Diagrama de Gantt de la planta de producción de CFC-13



1.8. BIBLIOGRAFÍA

- CCVOC. (Abril de 2008). Descubreix el Vallès Occidental.
- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 57-70.
- IGC. (2015). *Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya*. Recuperado el Abril de 2015, de http://www.igc.cat/web/es/sismologia_atles_risc.html
- Martín Vide, J. (1992). *El clima, Geografía General dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopedia Catalana.
- Meissner, E., & Milchert, E. (2003). Kinetics of tetrachloromethane fluorination by hydrogen fluoride in the presence of antimony pentachloride. *119*.
- Murray, W. S. (1947). *United States Patente nº 246637*.