



industriales
e1318

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Viabilidad y diseño de una planta química para la obtención de trifluoruro cloro

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN: Ingeniería Química Industrial

Autor: David Rodríguez Cano
Director: Beatriz Miguel Hernández

En Cartagena a 5 de Julio de 2017



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

Objetivo.....	3
Resumen.....	3
Antecedentes.....	5
-Características generales del CIF₃.....	6
-Estructura de Lewis.....	7
-Reactividad y peligrosidad.....	8
-Aplicaciones principales.....	11
Definición del proceso.....	13
Diseño del proceso.....	14
- Flujograma completo del proceso de producción.....	20
Diseño de equipos.....	21
-Reactor1.....	21
-Reactor2.....	24
-Decantador1.....	30
-Decantador2.....	32
-Columna1.....	33
-Reactor3.....	36
-Reactor4.....	39
-Decantador3.....	40
-Decantador4.....	41
Reactores ultravioleta.....	43
Equipos de intercambio de calor.....	45
-Equipos de intercambio de calor 1), 5) y 6).....	45
-Equipo de intercambio de calor 2).....	47
-Equipos de intercambio de calor 3) y 4).....	49
Generación de vacío.....	51
Atmósfera inerte.....	54
Flujograma de actividad de la planta.....	56
Medidas preventivas.....	59

Medidas de protección colectiva.....	60
-Tratamiento de los compuestos químicos.....	62
-Almacenamiento.....	63
-Epis referidas al laboratorio.....	63
-Epis referidas al la planta.....	64
Características técnicas de la planta.....	64
-Climatización.....	64
-Bomba de calor.....	65
-Conducto de aire acondicionado.....	66
-Iluminación.....	67
-Instalación eléctrica.....	71
-Materiales de diseño.....	71
-Recepción de material.....	73
-Comprobación y limpieza de equipos.....	73
Diseño de la planta.....	74
Situación de la planta.....	79
Conclusiones.....	82
Anexos1: Fichas de seguridad.....	84
Anexos2: Legislación utilizada.....	92
Bibliografía.....

Objetivo

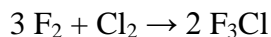
A partir de los conocimientos obtenidos en las diferentes asignaturas del Grado en Ingeniería Química Industrial, elaborar una planta para la producción de trifluoruro de cloro uno de los compuestos más peligrosos existentes, centrando el estudio en la parte química del proceso, elaborando ésta de la manera más precisa posible para posteriormente realizar una valoración de la viabilidad de la planta en el caso de que sea posible crearla.

Resumen

El trifluoruro de cloro es un producto con una alta peligrosidad cuyo uso militar fue abordado durante la segunda guerra mundial. Actualmente el compuesto se emplea principalmente como componente de combustibles para cohetes, en las operaciones industriales de limpieza y decapado en la industria de semiconductores, en el procesamiento de combustible nuclear de reactores, y otras operaciones industriales. En la actualidad pocas empresas internacionales se dedican a su obtención, por lo que es interesante proponer la simulación y dimensionamiento de una pequeña planta química que permita su fabricación donde se vean involucrados el diseño de equipos como reactores, columnas, decantadores, etc. Además, y debido a la alta peligrosidad de la sustancia y de los reactivos utilizados para obtenerla, hay que desarrollar el estudio del nivel de riesgo y proponer las medidas preventivas a utilizar, tanto en los equipos de protección individual hasta de un sistema contraincendios.

Antecedentes

La primera mención histórica que se conoce del F₃Cl se debe a Ruff y Krug, quienes en 1930 obtuvieron este compuesto por fluoración de cloro, obteniéndose además ClF separándose de la mezcla por destilación:



Siendo este compuesto muy inestable, conservándose a 180°C en un recipiente de cuarzo.

No fue hasta 1938, meses antes del comienzo de la Segunda Guerra Mundial, cuando se elaboró un complejo industrial secreto (un túnel de ferrocarril central y cuartos búnker subterráneos) para la fabricación del trifluoruro de cloro o como los nazis lo llamaron "N-Stoff" situado en los bosques de Falkenhagen . El emplazamiento estaba cerca de los laboratorios experimentales de la Wehrmacht en Kummersdorf, a 45 km de Berlín y a 17 km de Fráncfort del Óder; este complejo acabarcaba unos 30 km². El complejo se encontraba enterrado para conseguir una mayor estabilidad térmica, y la producción pensada era de 50 toneladas mensuales. Pero ese objetivo no se alcanzó y cuando el complejo fue abandonado por la llegada del Ejército Rojo a finales de 1944, no se había producido más de 50 toneladas.

Su producción se utilizó solamente para hacer bombas incendiarias dado que no se desconocía el alcance de su poder, por eso se investigó su acción sobre la respiración, la utilización como combustible de torpedos (que no hubieran dejado rastro en el agua), como material explosivo en todas las bombas, en los lanzallamas (probado en ellos se obtuvieron temperaturas de más de 2400 °C), etc.

Para demostrar su acción, se incendió con el material el Castillo de Falkenhagen, y se comprobó que el material destruía el ladrillo y componentes estructurales y que no era posible apagar el fuego.

Al comprobar sus resultados, Hitler decidió que debía ser puesta bajo control científico de las SS y no ser usada durante la guerra como arma, solo como combustible. Fue a raíz de esto que entre junio y julio 1944, Hitler traspaso el control del N-Stoff a las SS y decidió mantener su investigación en secreto. En el momento del abandono la planta estaba constituida por el túnel de ferrocarril, dos naves de producción y una extensión para el almacenamiento del producto final. Un poco antes de su conquista por el Ejército Rojo se construyeron unas instalaciones de fabricación del gas sarín a en la zona sur del búnker. Lo que produjo ciertas fricciones entre las SS y IG Farben

encargada de la construcción, por tanto las instalaciones se completaron pero no entraron en producción.

Debido al secreto que envuelve a esta sustancia y al programa de gases de guerra como el sarín, algunos autores opinan que N-Stoff se quis utilizar como un gas de guerra pero no existen pruebas concluyentes de que el N-Stoff fuera utilizado por los alemanes en los campos de batalla de la Segunda Guerra Mundial. De haberse usado adecuadamente como arma masiva en la Segunda Guerra Mundial hubiera sido un arma muy letal y peligrosa.

Características generales del ClF₃

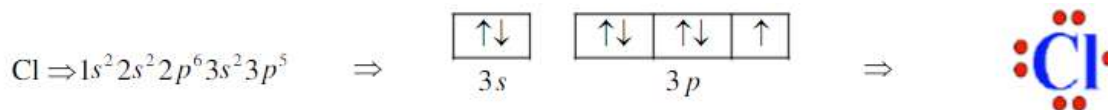
El trifluoruro de cloro es un compuesto interhalógeno de fórmula ClF₃. Es un gas incoloro y tóxico, corrosivo y extremadamente reactivo que se condensa en un líquido de color amarillo pálido-verdoso. El trifluoruro de cloro puro es estable hasta 180-220°C, pero se descompone en F₂ y Cl₂ por encima de esta temperatura.

Tabla 1. Propiedades generales del ClF₃

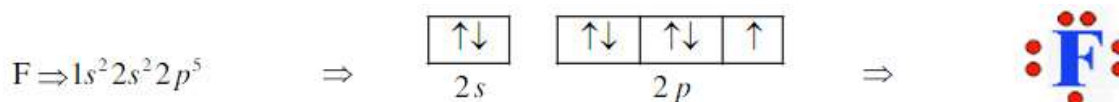
Densidad	4000 kg/m ³ ; 4 g/cm ³
Masa molar	92.45 g/mol
Punto de Fusión	-76,34 °C (197 K)
Punto de ebullición	11,75 °C (285 K)
Presión de vapor	175 kPa
Densidad	4000 kg/m ³ ; 4 g/cm ³
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-158.87 kJ/mol
$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	281.59 J K ⁻¹ mol ⁻¹ [3] J·mol ⁻¹ ·K

Estructura de Lewis

Configuración electrónica del cloro (átomo central):



Configuración electrónica del flúor:



Número de electrones de valencia

$$n_{ev} = 1 \cdot 7(\text{Cl}) + 3 \cdot 7(\text{F}) = 28$$

Número de enlaces:

$$n = \frac{34 - 28}{2} = 3 \text{ (tres pares de electrones enlazantes)}$$

Número de pares de electrones no enlazantes:

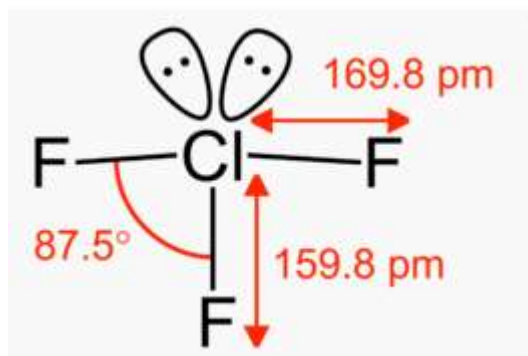
$$n'e = \frac{n_{ev} - 2 \cdot n}{2} = \frac{28 - 2 \cdot 3}{2} = 11 \text{ (Once pares de electrones no enlazantes)}$$

Nºestérico = 5 (nº de pares de electrones del átomo central)

Nº de pares solitarios = 2

Enlaces: Tres simples. Como el número estérico es 5, la forma de la molécula predicha de acuerdo con la teoría de la repulsión de pares de electrones de valencia dirigida es: Bipiramidal trigonal

Geometría: El número de pares solitarios (no enlazantes) del átomocentral es dos, luego la configuración más estable es: Forma de T con un enlace corto (1.598 Å) y dos enlaces largo (1.698 Å).



Reactividad y peligrosidad

El ClF_3 es un fuerte oxidante. Es extremadamente reactivo con compuestos inorgánicos y orgánicos, incluso plásticos, e inicia la combustión de muchos materiales no inflamables, sin ninguna fuente de ignición. Estas reacciones son a menudo violentas, y en algunos casos explosivas. Prácticamente y de forma general es capaz de provocar la ignición de cualquier sustancia, las pocas sustancias con las que no reacciona es el N_2 , el aire sin presencia de vapor de agua y el Flúor, por esto para trabajar con este compuesto se deben pretratar los equipos con los que se vaya a trabajar con una corriente de Flúor que recubra los equipos para evitar el deterioro de estos, otra manera para tratarlo es en estado sólido, donde su reactividad es casi nula.

La capacidad para superar la capacidad oxidante del oxígeno conduce a la corrosividad extrema de este compuesto, oxidando sustancias teóricamente incombustibles como los óxidos de metales. En un accidente industrial, un derrame de 900 kg de trifluoruro de cloro fue capaz de quemar 30 cm de espesor de hormigón y 90 cm de grava por debajo del depósito. Cualquier equipo que entra en contacto con el trifluoruro de cloro debe ser cuidadosamente revisado y limpiado, ya que cualquier contaminación arde explosivamente al contacto. Además, sólo los más poderosos agentes de extinción de incendios puede apagar un fuego de ClF_3 , y muchos otros medios de control / supresión de fuegos o bien son incapaces de suprimir esta oxidación o puede la pueden agravar; hay casos donde el trifluoruro de cloro y sus gases han prendido arena de asbesto y otros materiales altamente ignífugos. Reacciona violentamente con compuesto con base de agua, y se oxida en la ausencia de oxígeno atmosférico, lo que hace a los supresores de desplazamiento atmosférico tales como CO_2 y halón completamente ineficaz. Hace arder el vidrio por contacto, las siliconas, la arena y el caucho.

La reacción de hidrólisis con agua es violenta da como resultado ácido fluorhídrico y ácido clorhídrico, generalmente se libera en forma de vapor debido a la naturaleza altamente exotérmica de la reacción. El ácido fluorhídrico es corrosivo para los tejidos humanos, se absorbe a través de la piel, ataca selectivamente hueso y estimula los nervios del dolor, y el envenenamiento por flúor es a menudo fatal. El ácido clorhídrico tiene un peligro secundario para los organismos vivos, pero es varias veces más corrosivos para los materiales inorgánicos que el ácido fluorhídrico.

Tiene el siguiente diamante de materiales peligrosos:



Nivel de riesgo (azul) = mortal

Inflamabilidad (rojo) = Ninguna (inflama al resto)

Reactividad (amarillo) = Puede explotar en caso de choque o calentamiento

Riesgo específico (blanco) = Oxidante/No usar agua

Tabla 2. Frases de seguridad del ClF_3

Frases R	Frases S
R5- Peligro de explosión en caso de calentamiento	S1- Consérvese bajo llave
R6- Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire	S2- Manténgase fuera del alcance de los niños
R7- Puede provocar incendios	S4- Manténgase lejos de locales habilitados
R8- Peligro de fuego en contacto con materias combustibles	S15- Conservar alejado del calor
R14- Reacciona violentamente con el agua	S17- Manténgase lejos de materiales combustibles
R26- Muy tóxico por inhalación	S23- No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles
R27- Muy tóxico en contacto con la piel	S24- Evítese el contacto con la piel
R28- Muy tóxico por ingestión	S25- Evítese el contacto con los ojos

R35- Provoca quemaduras graves	S29- No tirar los residuos por el desagüe
R45- Puede causar cáncer	S30- No echar jamás agua a este producto
R46- Puede causar alteraciones genéticas hereditarias	S36- Úsese indumentaria protectora adecuada
R48- Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada	S38- En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado
R60- Puede perjudicar la fertilidad	S41- En caso de incendio o de explosión no respire los humos
R61- Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto	S43- En caso de incendio, utilizar ... <i>(los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir: «No usar nunca agua»)</i>
	S45- En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrole la etiqueta)
	S50- No mezclar con ... <i>(a especificar por el fabricante)</i>
	S52- No usar sobre grandes superficies en locales habitados
	S53- Evítese la exposición-recábense instrucciones especiales antes del uso
	S60- Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos
	S61- Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de

	seguridad
--	-----------

Ficha técnica del ClF_3

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Desprende humos altamente tóxicos en caso de incendio. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con agua.	En caso de incendio en el entorno: AGENTES NO ACUOSOS.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con agua o materiales orgánicos.		En caso de incendio: mantener fría la botella por pulverización con agua pero NO en contacto directo con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION		EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Tos, dolor de garganta, dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	Sensación de quemazón, graves quemaduras cutáneas. EN CONTACTO CON EL LIQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío, traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa y solicitar atención médica.
• OJOS	Pérdida permanente de visión, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION			

Ficha técnica completa en anexos

Aplicaciones principales

Aplicaciones militares

Bajo el nombre de código N-Stoff ("sustancia N"), el trifluoruro de cloro se investigó para aplicaciones militares en el Instituto Kaiser Wilhelm de la Alemania nazi desde un poco antes del inicio de la Segunda Guerra Mundial.

Comburente para cohetes

Se investigó la posibilidad de emplear trifluoruro como comburente almacenable de alto rendimiento en sistemas de propulsión con cohetes. Sin embargo, la dificultades y

precauciones impidieron su uso. John D. Clark desarrollador de combustibles para cohetes, químico y escritor estadounidense resume las dificultades que se encontraron siendo bastante irónico:

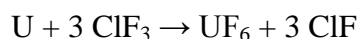
"Es, por supuesto, extremadamente tóxico, pero es el menor problema. Es hipergólico con cada combustible conocido, y tan rápidamente que no ha sido medido el retraso de la ignición. También es hipergólicos con cosas tales como tela, madera, y los ingenieros de prueba, por no hablar de asbesto, arena y agua - con el cual reacciona explosivamente. Se puede conservar en algunos de los metales estructurales comunes - acero, cobre, aluminio, etc. - a causa de la formación de una fina película de fluoruro de metal insoluble que protege la mayor parte del metal, al igual que la capa invisible de óxido de aluminio evita que se quemara en la atmósfera. Si, sin embargo, esta capa desaparece, derretida o borrada, y no tiene la oportunidad de volverse a formar, el operador se enfrenta con el problema de hacer frente a un incendio de metal-flúor. Para hacer frente a esta situación, siempre he recomendado un buen par de zapatillas de correr "

Industria de semiconductor

En la industria de los semiconductores, el trifluoruro de cloro se utiliza para limpiar cámaras de deposición química de vapor. Tiene la ventaja de que puede ser utilizado para eliminar el material semiconductor de las paredes de la cámara sin tener que desmontar la cámara. A diferencia de la mayoría de los productos químicos alternativos utilizados en este papel, no necesita ser activado por el uso de plasma ya que el calor de la cámara es suficiente para hacer que se descomponen y reaccionan con el material semiconductor.

Producción de hexafluoruro de uranio (UF₆)

Como parte del procesamiento de combustible nuclear y el reprocesamiento, mediante la fluoración del metal de uranio:



Definición del proceso

Una vez visto el producto principal de nuestra planta, vamos a elaborar nuestro proceso, eligiendo un mecanismo de reacción concreto, abarcando este un conjunto de reacciones totalmente válidas cada una con sus condiciones de presión y temperatura determinadas.

En este flujograma se muestra el proceso completo de producción de F_3Cl además del resto de subproductos en la planta supuesta. Se ha realizado de esta manera por simplicidad, ya que el proceso completo es engorroso.

Primeramente describiremos la leyenda del flujograma

Colores:

- El color Azul representa la línea de proceso donde se encuentra el producto principal de la planta, y sus precursores (F_3Cl , F_2Cl y FCl).
- El color Negro representa los productos o subproductos que contengan Flúor (F_2 , HF , $F\cdot$).
- El color Violeta representa los productos o subproductos que contengan Cloro (Cl_2 , HCl , $Cl\cdot$).
- El color Verde representa los productos o subproductos que contienen Hidrógeno obviando los ácidos ya mencionados (H_2 y $H\cdot$).

Tipo de línea:

- Las líneas formadas por la sucesión continua de puntos representan las corrientes de entrada en la primera fase de reacción y la primera fase de separación que abarcan tanto al reactor 1 y 2 como la columna 1 y 2 y el decantador 1 donde se obtiene finalmente FCl , HF , H_2 y HCl .
- Las líneas continuas representan las corrientes que entran en la segunda fase de reacción y separación, estas abarcan las alimentaciones del reactor 3, 3' y 4 además de la columna 3 y el decantador 2 donde se obtiene finalmente el F_3Cl y de nuevo H_2 y HF .
- Las líneas discontinuas representan las corrientes de salida de los equipos de separación (decantadores y columnas) estas corrientes convergen en los equipos de electrólisis donde el HF y el HCl son disociados obteniéndose H_2 , Cl_2 y F_2 . Además hay

otras dos líneas discontinuas que no convergen en los equipos de electrólisis, una es la corriente de H_2 que va directamente al tanque de almacenamiento de hidrógeno y la corriente de F_3Cl que va directamente al tanque de almacenamiento específico de éste compuesto.

Equipos:

Hay 7 equipos diferenciados que serán definidos en la descripción de equipos en éste documento, diferenciamos 4 reactores (R1, R2, R3-3' y R4), 3 columnas de destilación (C1,C2 y C3), 2 decantadores industriales (D1 y D2), 4 tanques de almacenamiento (tanque de flúor, cloro, hidrógeno y trifluoruro de cloro), grupo de reactores ultravioleta (R.U.), 3 compresores de vacío a la salida de los tanques de almacenamiento y los equipos de electrólisis.

Válvulas:

Las válvulas se encuentran en las líneas de salida de los reactores, nombradas desde V1 hasta V7. La actuación de éstas válvulas se explican a continuación.

Controladores y equipos de medición:

Se encuentran representados como triángulos amarillos situados en los equipos que lo precisan, aunque sean representados de la misma manera depende de cada equipo hay un sensor determinado, estos se definen a continuación.

Diseño del proceso

Para explicar el proceso se diferenciarán dos zonas en el proceso, la primera zona abarca el primer sistema de reacción y el segundo sistema de reacción presentados en el flujograma de actividad, el primer sistema de reacción abarca los reactores 1 y 2, y el primer sistema de separación abarca los decantadores 1 y 2 y la columna de destilación.

Primer sistema de reacción

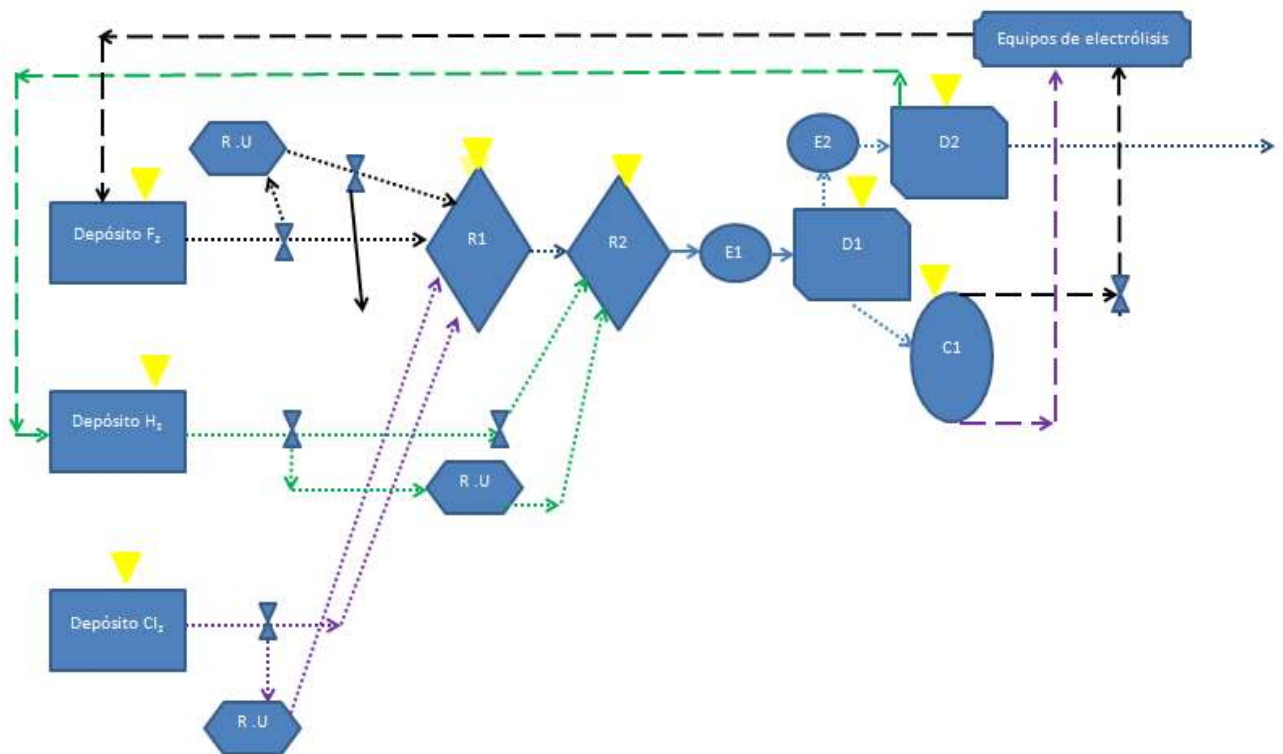


Fig1. Representación gráfica de la primera fase del proceso

Primera fase de reacción: Se abren las válvulas de salida de los depósitos de Flúor y Cloro, de tal manera que la mitad del caudal saliente pasa a los reactores ultravioleta (que después continuarán hasta el reactor1) y la otra mitad pasa al reactor1 entrando al reactor

corrientes equimolares de F·, Cl·, F₂ y Cl₂ y produciéndose así la primera reacción, obteniéndose FCl, y los compuestos que quedan sin reaccionar (F·, Cl·, F₂ y Cl₂). En resumen las válvulas a la salida de los reactores se encontrarán entreabiertas para asegurar que el caudal se divida a la mitad, y el resto de válvulas totalmente abiertas para asegurar que los caudales continúen en dirección al reactor1.

Segunda fase de reacción: En esta fase las válvulas de las corrientes de Flúor y Cloro se mantienen cerradas, y se abre la del depósito de Hidrógeno, de tal manera que divida el caudal a la mitad, enviando la mitad de la corriente de Hidrógeno directamente al reactor2 y pasando la otra mitad por un reactor ultravioleta produciendo H· como en el caso anterior y acabando ésta en el reactor2. En este reactor se forman HCl y HF quedando además el FCl que no interviene en esta reacción y el H₂ sobrante (además de H· que se tratará de igual manera que el H₂).

Primera fase de separación: En esta fase se mantendrán cerradas todas las válvulas y se hará circular la corriente saliente del reactor 2 al decantador1, en este decantador se separarán las compuestos gaseosos formados por Hidrógeno tanto atómico como molecular y el FCl y los compuestos líquidos formados por el HCl y HF de esta manera obtendremos por la parte superior del decantador los elementos gaseoso y por la parte inferior los compuestos líquidos.

Segunda fase de separación: En esta fase hay involucrados dos equipos; Los productos obtenidos en la parte superior del decantador1 se envían al decantador2 ya que una vez que se ha hecho pasar la corriente obtenida por la cabeza del decantador1 por un intercambiador el H_2 el $H\cdot$ se encuentra en fase gas y el FCl en fase líquida, enviándose el H_2 y el $H\cdot$ al depósito directamente para su almacenamiento y enviándose el FCL a la siguiente fase del proceso. En cambio los ácidos resultantes de la parte inferior del decantador1 se envían a la columna donde se separarán obteniéndose por la cabeza de esta columna el HF y por la cola el HCl, enviándose ambas corrientes a sus respectivos equipos de electrólisis para obtener de nuevo tanto H_2 como F_2 o Cl_2 dependiendo del ácido y almacenándose para posteriormente ser utilizados de nuevo en otro ciclo del proceso.

Segundo sistema de reacción

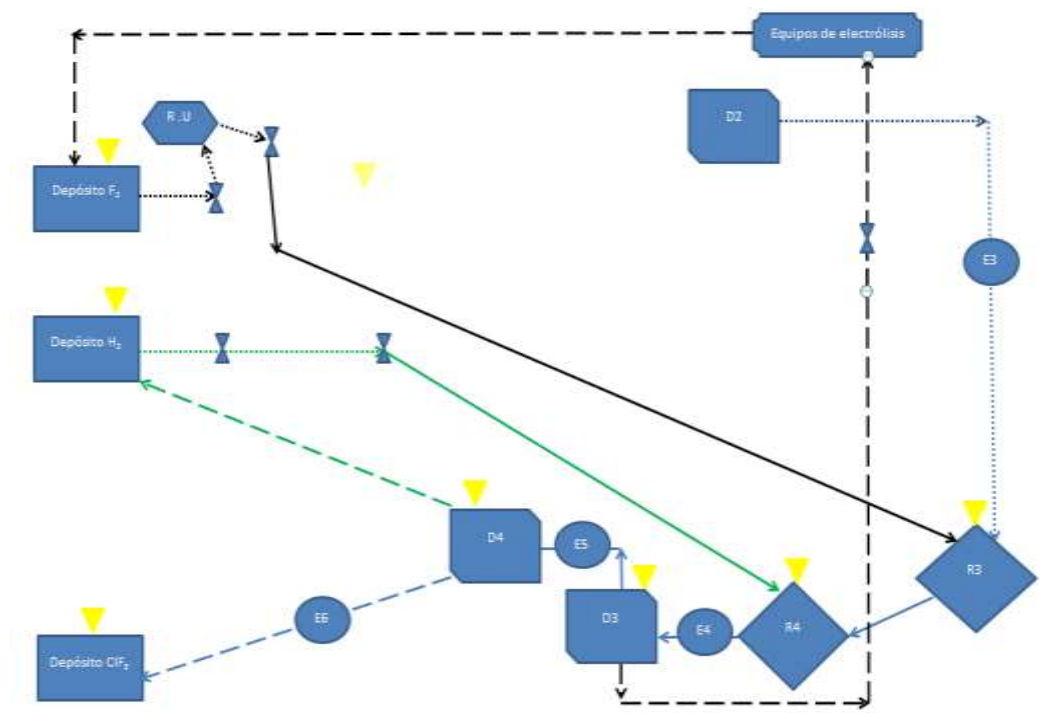


Fig2. Representación gráfica de la segunda fase del proceso

Primera fase de reacción:

Se abre la válvula de salida del depósito de Flúor, pero de manera diferente a la primera parte del proceso asegurando que todo el caudal saliente pasa al reactor ultravioleta y derivando esta corriente de $F\cdot$ al reactor3', además de esto, la corriente de FCl obtenida del decantador también se envía al reactor3-3' comenzando aquí la primera fase de reacción. En esta primera fase reacciona el FCl con los átomos de Flúor, esta reacción forma un intermedio F_2Cl que hipotéticamente se forma pero que rápidamente se combina con otro átomo de Flúor para obtener el F_3Cl , la corriente que se introducirá de Flúor en esta parte del proceso será en exceso para asegurar que todo el FL se transforme a F_3Cl .

Segunda fase de reacción:

En esta fase las válvulas de las corrientes de Flúor se mantienen cerradas, y se abre la del depósito de Hidrógeno, enviándose una corriente pura de H_2 al reactor4. En este reactor se forma HF quedando además el F_3Cl (proveniente del reactor3) que no interviene en esta reacción y el H_2 sobrante (además de $H\cdot$ que se tratará de igual manera que el H_2).

Primera fase de separación:

En esta fase se mantendrán cerradas todas las válvulas y se hará circular la corriente saliente del reactor 4 al decantador3, en este decantador separaremos los elementos líquidos de los gaseosos como en los decantadores anteriores, obteniéndose así una corriente pura de HF la cual se enviará directamente a los equipos de electrólisis como en la segunda fase de separación de la primera parte del proceso. Las corrientes gaseosas de ClF_3 , H_2 y $H\cdot$ se enviarán al último equipo de separación del proceso el decantador4.

Segunda fase de separación:

En esta fase hay involucrado un equipo únicamente; Los productos gaseosos obtenidos del decantador3 se envían a un último decantador (decantador4), ya que el H_2 y el $H\cdot$ se encuentra en fase gas y el F_3Cl en fase líquida (por el previo paso de esta corriente por un intercambiador), enviándose el H_2 y el $H\cdot$ al depósito directamente para su almacenamiento y enviando el F_3Cl a su depósito de almacenamiento previo paso por

un equipo de intercambio de calor para bajar la temperatura de este compuesto evitando problemas innecesarios de reactividad; Terminando así el proceso de producción

Se asume, aunque no hayan sido representadas en el flujograma que tanto a la misma entrada como a la misma salida cada equipo va provisto de una válvula propia, ya sean tanques, equipos de electrólisis, reactores, columnas o decantadores, en el diagrama solo se han representado las válvulas que se encuentran en cada una de las líneas para asegurar la buena dirección de las corrientes.

Controladores y equipos de medición

Los controladores están representados el diagrama como triángulos amarillos sin diferenciación ya que como ahora veremos cada equipo prácticamente los mismos controladores que los demás, ya que las variables a cuantificar son las mismas.

Dado que todo el proceso se produce a una presión de vacío debemos colocar tanto en los tanques como en los reactores y columnas reguladores y controladores de presión, además de esto se situarán al comienzo y al final de cada línea manómetros para tener controlada la presión en todo momento ya que es extremadamente importante para la seguridad de la planta que no suba.

Tanto en los depósitos de almacenamiento, como en los reactores y en los decantadores industriales vendrán equipados con un controlador de caudal para poder tener constancia del nivel que se alcanzan en los equipos.

Todos los equipos irán equipados con controladores e temperatura y termopares de tipo J ya que es extremadamente importante mantener el proceso a bajas temperaturas.

Todos estos controladores, reguladores y e instrumentos de medida están conectados con el panel de control de la planta donde se mantendrán monitorizados todas las variables y equipos.

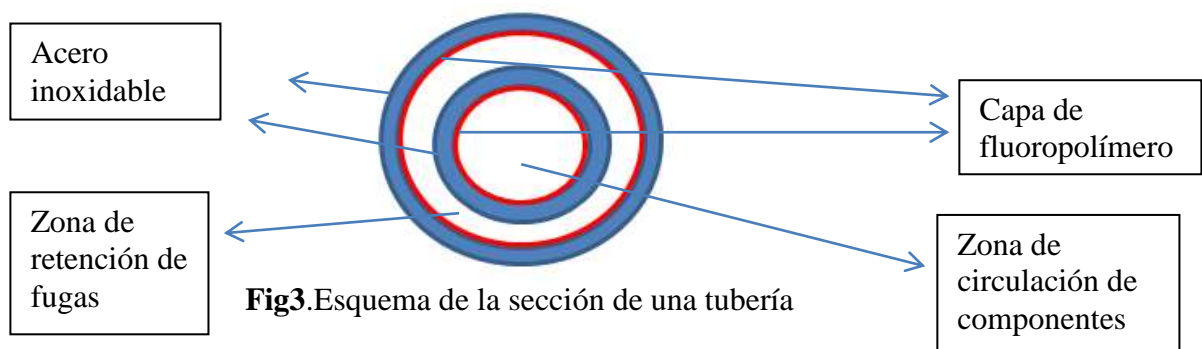
Además de esto, gradualmente se irán cogiendo muestras y analizándolas en el laboratorio anexo a la zona de reacción donde se comprobarán que las concentraciones de los componentes se mantienen constantes y no hay una variación significativa que pueda desencadenar en algún tipo de problema grave.

Estilo de las líneas

Las tuberías están construidas con acero inoxidable pero al ser este reactivo a los componentes que se circulan por el interior de las tuberías éste se encuentra recubierto por su cara interior por una capa de caucho fluorado (FKM) que es una goma sintética del grupo de los elastómeros termoestables. Se ha escogido este polímero porque ya que además de no ser reactivo con ningún componente (muy inerte químicamente) que vayamos a circular por las tuberías (ni con el ClF_3 ni precursores), tiene una alta tolerancia térmica en el rango de -30°C hasta 240°C que es el rango de temperaturas en el que nos encontramos en este proceso salvo en la línea que va desde el decantador1 al decantador2 que no estará provista de este fluoropolímero ya que esta corriente se encuentra a -120°C .

Diseño de los conductos

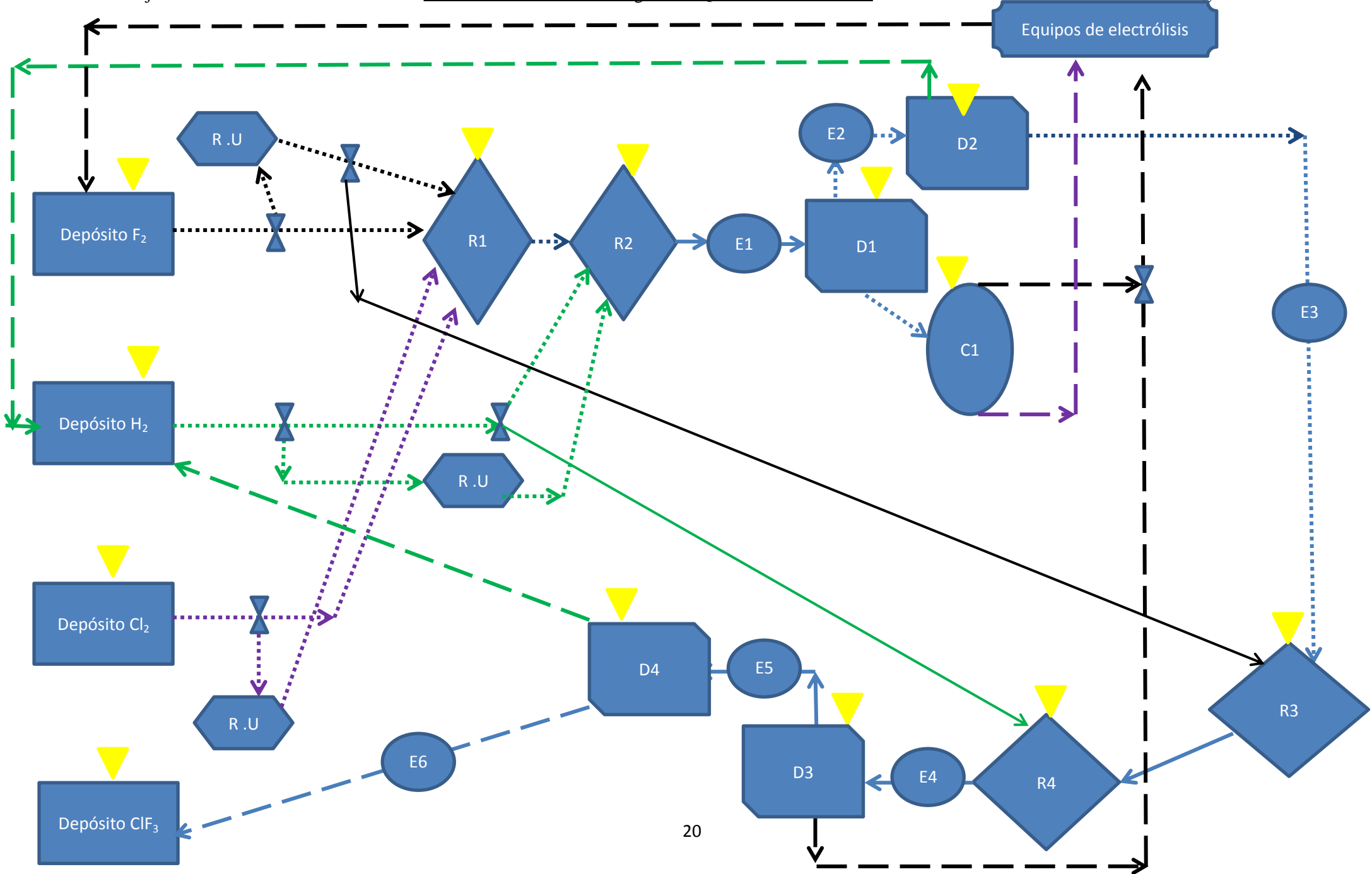
Las tuberías están diseñadas de tal manera que eviten las posibles fugas, de esta manera habrá dos tuberías concéntricas, la interior por donde circularán las sustancias químicas (con su respectiva capa de fluoro polímero en la capa interior de esta tubería), y la exterior por la que no circulará nada, encontrándose esta para la retención de cualquier tipo de fuga, esta también se encuentra cubierta de la capa de fluoropolímero para evitar que los componentes degraden el acero inoxidable de la tubería y ocasionen alguna fuga.



Flujograma completo del proceso de producción

Trabajo Fin de Estudios

David Rodríguez Cano



Diseño de equipos

Posteriormente se diseñarán todos los equipos involucrados en el proceso de producción centrándose sobre todo en la parte química, y dejando alternativas para el resto de equipos (salvo los equipos de electrólisis).

Reactor1

El reactor1 es el primero de nuestro proceso, en él, formamos CIF que es el precursor de nuestro producto principal a partir de un mecanismo de reacción muy concreto. Este reactor es alimentado por corrientes gaseosas de Cl_2 , F_2 y por corrientes de radicales $\text{Cl}\cdot$ y $\text{F}\cdot$. Al producirse la reacción con todas las especies en estado gaseoso se ha escogido un reactor tipo PFR, ya que se obtienen rendimientos mayores para reacciones en esas condiciones.

Tabla3. Condiciones del reactor1

Temperatura	303K
Presión	0,0128bar
Conversión propuesta	70%
Tipo	PFR
Condición	Adiabática

Llevada con flujo de calor=0, siendo necesario para esto una camisa por la que circula agua que absorbe el calor de la reacción.

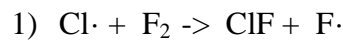
Alimentación

Compuesta por 4 corrientes equimolares de 400 moles para el F_2 , Cl_2 , $\text{F}\cdot$ y $\text{Cl}\cdot$.

Balance de materia**Tabla4.**

	Inicial	Reacciona	Final	Final' (mol)
F ₂	Fa	-Fa*Xr	Fa(1-Xr)	120
Cl ₂	Fa	-Fa*Xr	Fa(1-Xr)	120
CIF	0	2*Fa*Xr	2*Fa*Xr	560
F·	Fa	-Fa*Xr+Fa*Xr	Fa	400
Cl·	Fa	-Fa*Xr+Fa*Xr	Fa	400
TOTAL	4*Fa	0	4*Fa	1600

A partir de esto vemos que el balance global es : H₂ + F₂ -> 2CIF siendo los radicales cloro y flúor, radicales que actúan en el mecanismo pero no intervienen en la cinética ya que entra y sale del reactor la misma cantidad de estas especies.

Condiciones cinéticas

Ecuación cinética:

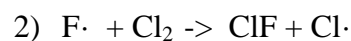
$$r_1 = K_1 * (\text{PpF}_2)^2$$

$$K_1 = (1,6 * 10^{-3}) * (e^{(-5853/(R*T))})$$

Tabla5. Valores de la ecuación cinética 1)

A	0,0016
Ea	5853 KJ/mol
Presión	0,07-0,008 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 303 K



Ecuación cinética:

$$r_2 = K_2 * (\text{PpCl}_2)^2$$

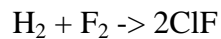
$$K_2 = (4,15 * 10^{-4}) * (e^{(14630/(R*T))})$$

Tabla6. Valores de la ecuación cinética 2)

A	0,000415
Ea	14630 J/mol
Presión	0,0267 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para $T = 303 K$

Ecuación de velocidad de la reacción



$$r_{\text{CIF}}: \text{K}_1 \cdot \text{P}_{\text{Cl}_2}^2 + \text{K}_2 \cdot \text{P}_{\text{F}_2}^2 \text{ como } n_{\text{Cl}_2} = n_{\text{F}_2}$$

$$r_{\text{CIF}}: \text{K}_1 \cdot \text{P}_{\text{F}_2}^2 + \text{K}_2 \cdot \text{P}_{\text{F}_2}^2$$

$$r_{\text{CIF}}: (\text{K}_1 + \text{K}_2) \cdot \text{P}_{\text{F}_2}^2$$

Balance de energía (base de cálculo para el CIF)

$$\frac{dT}{dV} = \frac{Q + r_{\text{CIF}} \cdot \Delta H_r}{F_o \cdot (C_{p_o} + X_a \cdot \Delta C_p)}$$

Siendo:

Q	Calor intercambiado en la reacción
r_{CIF}	Ecuación de la velocidad de generación de CIF
C_{p_o}	Capacidad calorífica de la alimentación
ΔC_p	Variación de la capacidad calorífica
F_o	Corriente de alimentación

Dimensionado del Reactor1

$$C_{p_o} = \sum o_i \cdot C_{p_i} = 61,015 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$$

$$\Delta C_p = n_{\text{CIF}} \cdot C_{p_{\text{CIF}}} - (n_{\text{F}_2} \cdot C_{p_{\text{F}_2}} + n_{\text{Cl}_2} \cdot C_{p_{\text{Cl}_2}}) = 5,005 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$$

$$\Delta H_r = \Delta H_{298} + \int_{298}^{400} \Delta C_p dT = -113510 \text{ J/mol}$$

$$F_0 = 800 \text{ moles}$$

$$dV = \frac{800 \cdot (61,015 + 0,7 \cdot 5,005)}{0 + \left(\left((1,6 \cdot 10^{-3}) \cdot \left(e^{-\frac{5853}{8,31 \cdot T}} \right) \right) + \left((4,15 \cdot 10^{-4}) \cdot \left(e^{-\frac{14630}{8,31 \cdot T}} \right) \right) \right) \cdot 0,0128^2 \cdot (-113510)} dT$$

$$\int_0^V dV = \int_{298}^{400} \frac{51642,8}{18,6 \left((1,6 \cdot 10^{-3}) \cdot \left(e^{-\frac{5853}{8,31 \cdot T}} \right) \right) + \left((4,15 \cdot 10^{-4}) \cdot \left(e^{-\frac{14630}{8,31 \cdot T}} \right) \right)} dT$$

A partir de un programa ofimático o una página web especializada o algún método matemático resolvemos la integral:

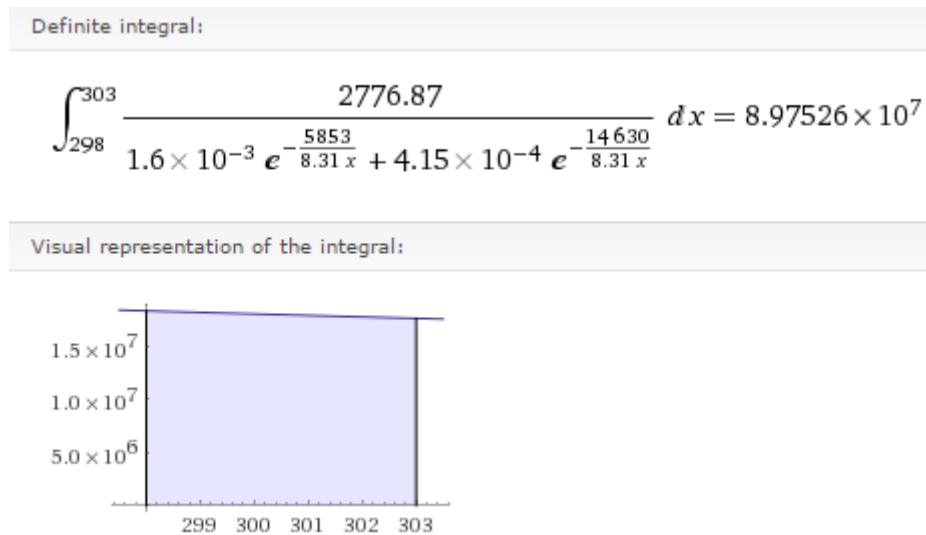


Fig4. Resolución de la integral a partir de un programa informático

Obteniéndose así un volumen del primer reactor de $9 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ un volumen, descomunal para un reactor.

Reactor2

El reactor2 se encuentra a continuación del reactor1, en este reactor se producen simultáneamente varias reacciones donde los radicales $F\cdot$ y $Cl\cdot$ se convierten en HF y HCl respectivamente por la acción de H_2 y H que entran al reactor. Esta parte del

proceso tiene como finalidad el aprovechamiento de los radicales que ya no son necesarios y el poder separar posteriormente la corriente de CIF del resto de componentes.

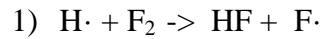
Tabla7. Condiciones del reactor2

Temperatura	400K
Presión	0,0128bar
Conversión propuesta	Total
Tipo	PFR
Condición	Isoterma

Alimentación

Compuesta por 3 corrientes, la primera es la corriente de salida del reactor1 y las dos restantes son corrientes de H₂ y H·.

Condiciones cinéticas



Ecuación cinética:

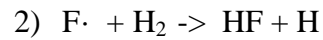
$$r_1 = K_1 \cdot (P_{pF_2}) \cdot (P_{pH\cdot})$$

$$K_1 = (2 \cdot 10^{-4}) \cdot (e^{(-10061/(R \cdot T))})$$

Tabla8. Valores de la ecuación cinética 1)

A	0,0002
Ea	10061 J/mol
Presión	0,04-0,007 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 400K



Ecuación cinética:

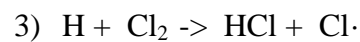
$$r_2 = K_2 \cdot (P_{\text{H}_2}) \cdot (P_{\text{F}\cdot})$$

$$K_2 = (2,26 \cdot 10^{-4}) \cdot (e^{(-4947/(R \cdot T))})$$

Tabla9. Valores de la ecuación cinética 2)

A	0,000226
Ea	4947 J/mol
Presión	0,052-0,0069 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 400K



Ecuación cinética:

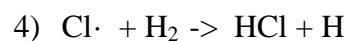
$$r_3 = K_3 \cdot (P_{\text{Cl}_2}) \cdot (P_{\text{H}\cdot})$$

$$K_3 = (6,2 \cdot 10^{-4}) \cdot (e^{(-7525/(R \cdot T))})$$

Tabla10. Valores de la ecuación cinética 3)

A	0,00062
Ea	7525 J/mol
Presión	0,07-0,008 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 400K



Ecuación cinética:

$$r_4 = K_4 \cdot (P_{\text{Cl}_2}) \cdot (P_{\text{Cl}\cdot})$$

$$K_4 = (3,65 \cdot 10^{-5}) \cdot (e^{(-19206/(R \cdot T))})$$

Tabla11. Valores de la ecuación cinética 4)

A	0,0000365
Ea	19206 J/mol
Presión	0,0267-0,093 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para $T = 400\text{ K}$

Funcionamiento

El reactor actuará en dos etapas en primera instancia se producirán las reacciones 1) y 3) para ello se alimentará al reactor con una corriente proveniente desde el reactor ultravioleta con Hidrógeno atómico (esta corriente será en exceso para asegurar la total conversión del F_2 y Cl_2), posteriormente, la corriente de salida del reactor se recirculará de nuevo, esta vez alimentando al reactor con una corriente de H_2 (esta corriente también se encontrará en exceso para eliminar todos los radicales $Cl\cdot$ y $F\cdot$).

Balance de materia

Tabla 12.

	Inicial	Reacciona Primera etapa	Final primera etapa, inicial de la segunda	Reacciona Segunda etapa	Final
F_2	120	-120	0	0	0
Cl_2	120	-120	0	0	0
ClF	560	0	560	0	560
$F\cdot$	400	120	520	-520	0
$Cl\cdot$	400	120	520	-520	0
H_2	0	0	0-2200(introducido posteriormente)	-1040	1160
$H\cdot$	500	-240	260	1040	1300
HCl	0	120	120	520	640
HF	0	120	120	520	640
Total	2100	0	2100-4300	0	4300

Para el dimensionado del reactor, al producirse simultáneamente la generación de dos productos (HCl y HF), se estudiará el reactor necesario para producir los 640 moles de HCl y similar para el HF una vez realizado esto, se sumarán los volúmenes y obtendremos el volumen del reactor buscado, asumiéndose que la selectividad del proceso es 0,5, es decir, ningún producto se producirá de manera prioritaria.

Dimensionado del reactor de HF:

-Primera etapa (reacción 1):

$$r_1 = (k_1) \cdot P_{pH} \cdot P_{pF_2}$$

$$P_{pH} = 0,0024 \text{ bar}$$

$$P_{pF_2} = 0,00115 \text{ bar}$$

$$T^a = 400 \text{ K}$$

$$k_1 = 9,6 \cdot 10^{-6}$$

El volumen de un PFR sigue la siguiente ecuación:

$$V = F_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A}$$

Aplicada a nuestro caso, teniéndose una r_1 constante, un caudal de alimentación constante y asumiendo una conversión del 100 quedaría:

$$V_1 = F_0 / r_1 = (120 + 250 + 400 + 560) / (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00115 \cdot 0,0024) = 5,007 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$$

Los cálculos de volumen realizados en las etapas posteriores, serán a partir del mismo razonamiento aplicándose así la misma ecuación para el cálculo de volúmenes.

-Segunda etapa (reacción 2):

$$r_2 = (k_2) \cdot P_{pH_2} \cdot P_{pF}$$

$$P_{pH_2} = 0,002739 \text{ bar}$$

$$P_{pF} = 0,00579 \text{ bar}$$

$$T^a = 400 \text{ K}$$

$$K_2 = 5,1 \cdot 10^{-5}$$

$$V_2 = F_0/r_2 = (120+130+1100+520+560)/(5,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,00579 \cdot 0,002739) = 3,00445 \cdot 10^{12} \text{ m}^3.$$

Volumen total del mecanismo del HF:

Como la reacción se produce en dos partes, primero se produciría la reacción 1) y posteriormente después de la recirculación de los productos de la primera reacción y la adición de nuevos reactivos se produce la reacción 2) solo necesitamos un reactor lo suficientemente grande para que se puedan dar las dos reacciones pero no por separado, cogiendo para esto el volumen obtenido de la reacción 1) ya que es la que nos limita las dimensiones de diseño del mismo.

$$V_{T1} = 5,007 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$$

Dimensionado del reactor de HCl:

-Primera etapa (reacción 3):

$$r_3 = k_3 \cdot P_{\text{PpCl}_2} \cdot P_{\text{PpH}}$$

$$P_{\text{PpH}} = 0,0024 \text{ bar}$$

$$P_{\text{PpCl}_2} = 0,00115 \text{ bar}$$

$$T^a = 400 \text{ K}$$

$$K_3 = 6,4 \cdot 10^{-5}$$

$$V_3 = F_0/r_3 = (120+250+560+400)/(6,4 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0024 \cdot 0,00115) = 7,529 \cdot 10^{12} \text{ m}^3.$$

-Segunda etapa (reacción 4):

$$r_4 = k_4 \cdot P_{\text{PpCl}} \cdot P_{\text{PpH}_2}$$

$$P_{\text{PpH}_2} = 0,0024 \text{ bar}$$

$$P_{\text{PpCl}} = 0,00115 \text{ bar}$$

$$T^a = 400 \text{ K}$$

$$K_4 = 1,1296 \cdot 10^{-7}$$

$$V_4 = F_o/r_4 = (120+130+1100+520+560)/(1,1296*10^{-7}*0,00579*0,002739) = 1,3563*10^{15} \text{ m}^3.$$

Volumen total del mecanismo del HCl:

(Mismo razonamiento que para el mecanismo de HF)

$$V_{T2} = 1,3563*10^{15} \text{ m}^3$$

Volumen del reactor total:

Como observamos para obtener el HF, según las condiciones impuestas necesitamos un reactor de $5,007*10^{13} \text{ m}^3$ y para obtener el HCl necesitamos un reactor de $1,3563*10^{15} \text{ m}^3$ de volumen, eso quiere decir que necesitamos un reactor lo suficientemente grande como para poder englobar las dos reacciones:

$V_T = V_{T1} + V_{T2} = 1,4*10^{15} \text{ m}^3$ como en el caso del primer reactor, un volumen descomunal.

Decantador1

Utilizado para separar las corrientes de salida del reactor2, esta corriente está formada por ClF y H₂ (y radicales H·) en estado gaseoso, y HF y HCl en estado líquido. Se pretenderá obtener por la parte superior del decantador una corriente con los componentes gaseosos y por la parte inferior una corriente con los componentes líquidos.

Para esto, vamos a realizar el diseño de un decantador típico del tipo vertical, con las proporciones típicas de esto, teniendo en cuenta un criterio muy importante, que es que el diámetro del recipiente debe de ser lo suficientemente grande como para lentificar la salida del gas por debajo de la velocidad con que las gotas se depositan en la malla; la malla antivaho es un filtro que se dispondrá en la parte superior del decantador cuya función será recoger las gotas de líquido que sean arrastradas por el gas evitando que estas se mezclen y así asegurar una eficiencia total del proceso (se obtienen eficiencias superiores al 99%).

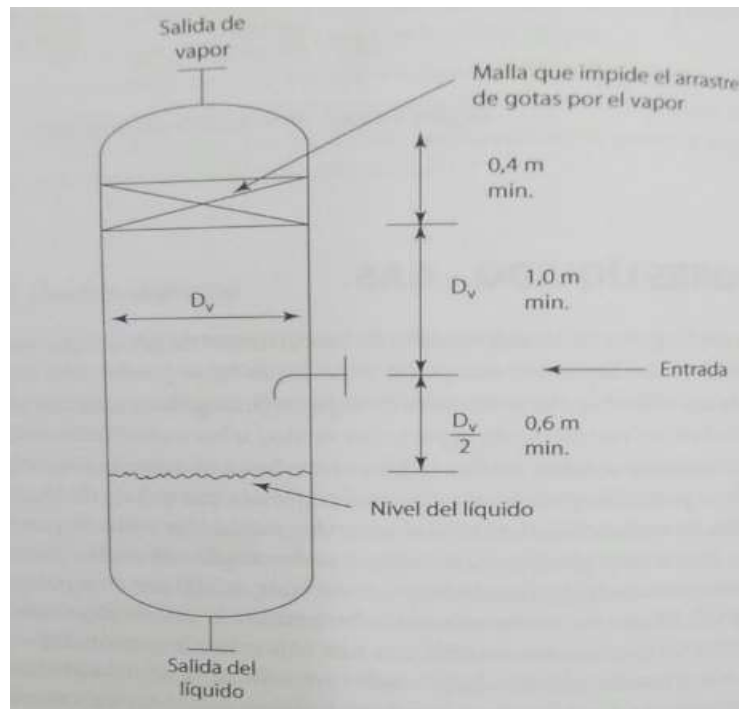


Fig6. Diseño de un decantador vertical estándar

Distribución y proporciones típicas de un separador (decantador) gas-líquido

Teniendo en cuenta las condiciones antes citadas que debe de tener el diámetro de nuestro equipo, usaremos la fórmula para obtener el diámetro mínimo admisible:

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot Vv}{\pi \cdot U_s}}$$

Donde:

D_v = Es el diámetro mínimo del recipiente (m).

Vv = Es el caudal volumétrico de entrada al equipo (m^3/s).

U_s = Se determina dependiendo si el equipo tiene una malla antivaho o no, en nuestro caso, si tenemos malla, y toma el valor de U_t que sigue la siguiente ecuación:

$$U_t = 0,07 \cdot (\delta_L - \delta_v) / (\delta_v)^{0,5}$$

Siendo δ_L y δ_v la densidad del líquido y del vapor.

Tabla 13. Elementos involucrados en el decantador1

Compuesto	Densidad (g/cm ³)	Cantidad (moles)
H ₂	0,0838	1160
ClF	0,0838	560
HF	1,15	640
HCl	1,31	640
H·	0,0899	1300

Líquidos	HF, HCl
Gaseosos	H·, H ₂ , ClF

δ_v	0,0864
δ_L	1,23

Con estos datos calcularemos el diámetro del decantador:

$$U_t = 0,07 * (\delta_L - \delta_v) / (\delta_v)^{0,5}$$

$$U_t = 0,07 * (1,23 - 0,0864) / (0,0864)^{0,5} = 0,2723 \text{ m/s}$$

$$D_v = \sqrt{\frac{4 * Vv}{\pi * U_s}}$$

Asumiendo un diámetro de conducto de 1,5m, y una velocidad del fluido de 3m/s, se consigue un caudal de 5,301m³/s.

$$D_{v1} = \sqrt{\frac{4 * 3}{\pi * 0,2723}} = 3,74 \text{ m de diámetro tendrá el decantador1.}$$

La altura del decantador se determinará a partir de los criterios de diseño propuestos:

$$H_1 = (D_v + D_v/2 + 0,8 + 0,4) = 6,818 \text{ m de altura.}$$

Decantador2

La función del decantador 2 es la de separar el producto principal CIF, del hidrógeno gaseoso (tanto el diatómico, como el monoatómico). Para ello se hace pasar la corriente por un intercambiador previo donde se bajará la temperatura de esta corriente a -120°C de esta manera el CIF se encontrará en fase líquida y el H_2 en fase gas, haciendo posible la separación.

El tipo de decantador, razonamiento, y cálculos sobre el diseño del decantador2 es similar al decantador1'

Tabla 14. Elementos involucrados en el decantador2

Compuesto	Densidad(g/cm^3)	Cantidad(mol)
CIF	1,62	560
H·	0,0899	1300
H_2	0,0838	1160

Líquidos	CIF
Gaseosos	H·, H_2 ,

δ_v	0,087
δ_L	1,67

$$U_t = 0,07 * (1,62 - 0,087) / (0,087)^{0,5} = 0,36381 \text{ m/s}$$

Asumiendo un diámetro de conducto de 1,5m, y una velocidad del fluido de 3m/s, se consigue un caudal de 5,301m³/s.

$$D_{v2} = \sqrt{\frac{4 * 3}{\pi * 0,36381}} = 3,24 \text{ m de diámetro tendrá el decantador2.}$$

Y tomando los mismos criterios de dimensionamiento que con el decantador1:

$$H_2 = 6,06 \text{ m de altura.}$$

Columna de destilación

El único proceso de destilación involucrado en este proyecto se sitúa a la salida del decantador1, este equipo divide la corriente de salida del reactor2 en dos corrientes, una de cabeza de H_2 , H y ClF en estado gaseoso, y una corriente de cola de HF y HCl en estado líquido a $0^\circ C$. Esta corriente de cola se hace pasar por una columna de destilación y aprovechando la diferencia de puntos de ebullición (19,5 y $48^\circ C$ respectivamente) de ambos compuestos se consigue una buena destilación con una eficiencia más que aceptable. El proceso se encuentra diseñado en Chemcad:

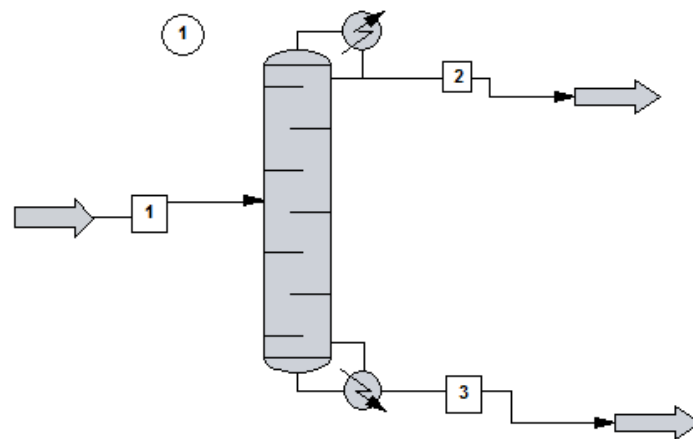


Fig 7.

Condiciones de la alimentación:

Temp K	273
Pres Pa	1124797
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	-214515.7
Total flow	1040
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen Fluorid	520
Hydrogen Chlorid	520

Fig 8.

Condiciones de la columna de destilación impuestas:

Top pressure	<input type="text" value="10130"/>	Pa
No. of stages	<input type="text" value="22"/>	
Feed stages:		
Feed stage for stream 1	<input type="text" value="5"/>	
Condenser mode:		
3 Distillate temperature	<input type="text" value="295"/>	K
Select reboiler mode:		
3 Bottom product temperature	<input type="text" value="310"/>	K

Fig 9.

Condiciones de la corriente del destilado:

Temp K	228.6075
Pres Pa	10130
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	-160493.3
Total flow	520.0001
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen Fluorid	520
Hydrogen Chlorid	8.580252e-005

Fig 10.

Condiciones de la corriente del residuo:

Temp K	155.7656
Pres Pa	10130
Vapor Fraction	0
Enthalpy MJ/h	-59151.05
Total flow	519.9999
Total flow unit	kmol/h
Comp unit	kmol/h
Hydrogen Fluorid	1.600441e-013
Hydrogen Chlorid	519.9999

Fig 11.

Dimensiones de la columna:

Diametro: 3.3528 m.

Espaciado entre platos: 0.6096 m.

Longitud de la columna: 14,61m

Material: Acero al carbono.

Numero de platos: 22.

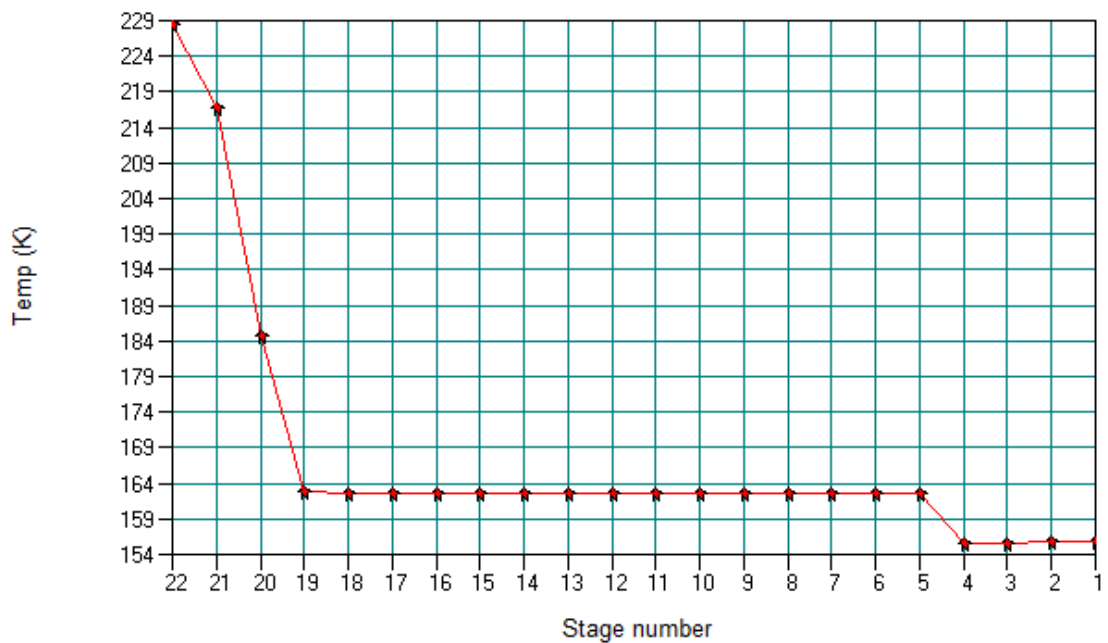
Perfil de temperaturas de la columna:

Fig 12.

Como vemos el proceso de destilación transcurre desde la etapa 4 a la etapa 19.

Resultado:

Como se puede comprobar en las condiciones de las corrientes tanto de cabeza como de cola de la columna se observa que la eficiencia de la columna es del 100% obteniéndose unos productos completamente puros que son enviados a los equipos de electrólisis para obtenerse de ellos el H_2 , Cl_2 y F_2 puros para su reutilización.

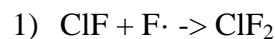
Reactor3**Tabla15.** Condiciones del reactor3

Presión	0,0128 bar
Temperatura	300K
Conversión	Total
Tipo	PFR
Condición	Isotérmica

En el reactor 3 se producirán dos reacciones, habiendo en ella un intermedio muy inestable que teóricamente se forma pero en la práctica no ocurre, formándose en este reactor el producto principal de esta planta.

Condiciones cinéticas

La cinética de esta reacción se obtiene a partir de los datos obtenidos de la tesis doctoral en la que en gran parte está basada este proyecto donde se cita textualmente: *“A presiones mayores de 40mm Hg comienza a observarse formación de ClF₃, existiendo indicios de que la velocidad de formación es independiente de la concentración de Flúor”*.



Ecuación cinética:

$$r_1 = k_1 * (P_{\text{ClF}}) * (P_{\text{F}})^2$$

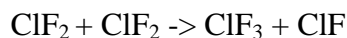
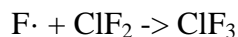
$$k_1 = 5,5 * 10^{-11} * (e^{(-5852/(R * T))})$$

Tabla16. Valores de la ecuación cinética 1)

A	$5,5 * 10^{-11}$
Ea	5852
Presión	vacío

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 300K

Una vez formado el ClF_2 hay dos rutas alternativas:



La segunda reacción es más favorable tanto termodinámicamente como en términos de molecularidad, ya que el orden de reacción de la primera reacción es de 3 orden y el de la segunda es de 2 orden, será por tanto más favorable un choque bimolecular que uno trimolecular; pero para nuestro proceso no nos conviene que se produzca ese supuesto por tanto necesitamos asegurar que las condiciones son adecuadas para la primera reacción, por tanto necesitaremos para esto, que la reacción se produce en exceso de $\text{F}\cdot$ evitando así el choque entre moléculas de ClF_2 y aprovechando también su alta inestabilidad.



Las condiciones cinéticas de esta última reacción son exactamente las mismas que en la primera cinética antes mencionada.

Balance de materia

Tabla 17.

Compuesto	Inicial	Reacciona	Final
$\text{F}\cdot$	2800	-1120	1680
ClF	560	-560	0
ClF_3	0	560	560

Consideraremos que el ClF_2 se llegará a formar tan solo de forma hipotética, y rápidamente se recombinará hasta el ClF_3 por tanto no lo tendremos en cuenta en el balance de materia.

Como no hay datos de cual es la cantidad aproximada de Flúor atómico que se necesita para considerar en exceso la reacción, calcularemos la cantidad teórica y lo

multiplicaremos por 2,5, aumentando casi por 3 la cantidad de Flúor a añadir asumiendo como suficiente esta cantidad.

Diseño del reactor

El cálculo de este reactor se realizará de la misma manera que el reactor2 ya que es también un reactor isoterma:

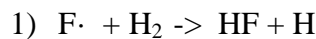
$$V_1 = F_0/r_1 = (2800+560)/(6,34 \cdot 10^{-11}) \cdot (e^{(-5852/(8,31 \cdot 300))}) \cdot (0,01066)^2 \cdot (0,00213) = 2,64 \cdot 10^{21} \text{ m}^3. \text{ De nuevo un volumen descomunal.}$$

Reactor4

Tabla18. Condiciones del reactor4

Presión	0,0128 bar
Temperatura	300K
Conversión	Total
Tipo	PFR
Condición	Isotérmica

Condiciones cinéticas



Ecuación cinética:

$$r_2 = K_2 \cdot (PpH_2)(PpF \cdot)$$

$$K_2 = (2,26 \cdot 10^{-4}) \cdot (e^{(-4947/(R \cdot T))})$$

Tabla19. Valores de la ecuación cinética 1)

A	0,000226
Ea	4947 J/mol
Presión	0,052-0,0069 bar

Ecuación cinética y condiciones de presión para T = 400K

Balance de materia**Tabla 20.**

Componente	Inicial	Reacciona	Final
F·	1680	-1680	0
ClF ₃	560	0	560
H ₂	2500	-1680	840
H·	0	1680	1680
HF	0	1680	1680

Dimensionado del Reactor4

$$V_1 = F_0/r_1 = (2500+560+1680)/((2,26 \cdot 10^{-4}) \cdot (e^{(-4947/(8,31 \cdot 400))} \cdot (0,00675)^2)) = 1,04 \cdot 10^{11} \text{ m}^3.$$

Decantador3

La función del decantador 3 es la de separar el ácido fluorhídrico, del hidrógeno gaseoso (tanto el diatómico, como el monoatómico) como del producto principal ClF₃. La corriente que llega al decantador3 se encuentra a temperatura ambiente, que es la temperatura a la que se lleva a cabo la reacción en el reactor4. En estas condiciones sólo el HF se encuentra en estado líquido.

El tipo de decantador, razonamiento, y cálculos sobre el diseño del decantador3 es similar al decantador1.

Tabla 21. Elementos involucrados en el decantador3

Compuesto	Densidad(g/cm ³)	Cantidad(mol)
ClF ₃	0,0389	560
H·	0,0899	1680
H ₂	0,0838	840
HF	1,15	1680

Líquidos	HF
Gaseosos	H·, H ₂ , ClF

δ_V	0,0665
δ_L	1,15

$$U_t = 0,07 * (1,15 - 0,0665) / (0,0665)^{0,5} = 0,294 \text{ m/s}$$

Asumiendo un diámetro de conducto de 1,5m, y una velocidad del fluido de 3m/s, se consigue un caudal de 5,301m³/s.

$$D_{v3} = \sqrt{\frac{4 * 3}{\pi * 0,294}} = 3,6 \text{ m de diámetro tendrá el decantador3.}$$

Y tomando los mismos criterios de dimensionamiento que con el decantador1:

$$H_3 = 6,606 \text{ m de altura.}$$

Decantador4

La función del decantador 4 es la de separar el producto principal ClF₃, del hidrógeno gaseoso (tanto el diatómico, como el monoatómico). Para que se produzca esto en un decantador necesitamos pasar la corriente que contiene estos componentes en estado gaseoso por un intercambiador (intercambiador4), en este equipo se bajará la temperatura de la corriente hasta 0°C asegurando que todo el ClF₃ pase a estado líquido y dejando el hidrógeno en estado gaseoso.

El tipo de decantador, razonamiento, y cálculos sobre el diseño del decantador4 es similar al decantador1'

Tabla 22. Elementos involucrados en el decantador4

Compuesto	Densidad(g/m ³)	Cantidad(mol)
ClF ₃	4	560
H·	0,0899	1680
H ₂	0,0838	840

Líquidos	ClF
----------	-----

Gaseosos	H·, H ₂
----------	--------------------

δ_V	0,0878
δ_L	4,0

$$U_t = 0,07 * (4 - 0,0878) / (0,0878)^{0,5} = 0,9242 \text{ m/s}$$

Asumiendo un diámetro de conducto de 1,5m, y una velocidad del fluido de 3m/s, se consigue un caudal de 5,301m³/s.

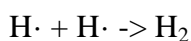
$$D_{v4} = \sqrt{\frac{4 * 3}{\pi * 0,9242}} = 2,033 \text{ m de diámetro tendrá el decantador 4.}$$

Y tomando los mismos criterios de dimensionamiento que con el decantador 1:

$$H_4 = 4,25 \text{ m de altura.}$$

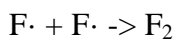
Nota:

Las reacciones propuestas a continuación se producen en todos los reactores en los que haya presentes radicales, pero en ninguno de ellos se toman en consideración debido a sus bajos valores de las constantes de velocidad que permiten despreciar estos procesos de alta lentitud en favor de aumentar la facilidad de resolución de los problemas, involucrando menos reacciones en los reactores.



$$k_H = 6,62 * 10^{-33} * (e^{(1515/(R * T))})$$

Orden 3



$$k_F (300K) = 6,09 * 10^{-34}$$

Orden 3



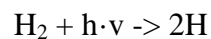
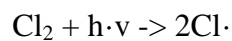
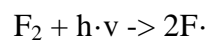
$$k_{Cl} = 6,04 * 10^{-34} * (e^{(7483/(R * T))})$$

Orden 3

Reactores ultravioleta

Por las necesidades del mecanismo de reacción de nuestro proceso, es necesaria la presencia de radicales $\text{Cl}\cdot$, $\text{F}\cdot$, $\text{H}\cdot$. La formación de estos radicales es producida en tres reactores ultravioleta situados cada uno a la salida de los tanques de almacenamiento de Cl_2 , F_2 y H_2 .

El funcionamiento del reactor es sencillo, se hará pasar una corriente del compuesto químico a través del reactor, éste estará provisto de unas lámparas que lanzarán destellos provocando la disociación de los componentes de la siguiente forma:



Siendo $h \cdot \nu$ la cantidad de radiación emitida por los destellos de las lámparas interiores del reactor (o el absorbido por el compuesto).

El rendimiento propuesto para estos reactores es de 1, ya que, de por sí, estos reactores tienen rendimientos elevados y podemos recircular la corriente varias veces para asegurarnos que la conversión es total.

El reactor, fabricado en acero servirá de alojamiento para las lámparas UV, cada una a su vez instalada dentro de un tubo de cuarzo de alojamiento y protección. El sistema estará proyectado de manera que el personal encargado del mantenimiento, pueda sustituir las lámparas sin tener que drenar el sistema. El reactor tendrá dos cabezales desmontables para su inspección y mantenimiento. Estará provisto además de dos válvulas para realizar tomas de muestras, una válvula de drenaje y un sensor de control UV. Los cabezales desmontables permiten al personal de mantenimiento poder acceder al interior del reactor en caso de cualquier avería. Cada cabezal estará provisto de orificios para permitir sustituir los tubos de cuarzo y las lámparas desde cada una de las extremidades. Los dos cabezales desmontables, permitirán al personal de mantenimiento, cierta flexibilidad en determinar cómo instalar y operar sobre el sistema. El reactor estará conectado directamente desde una caja de conexiones al centro de potencia con una conducción impermeable.

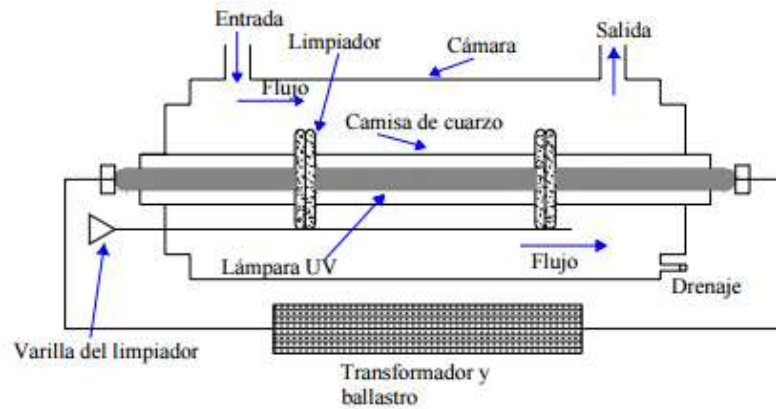


Fig 13. Esquema de un reactor ultravioleta básico.

El mecanismo que usa la lámpara ultravioleta es sencillo: dentro de la lámpara, que es un tubo hecho de cuarzo, un arco eléctrico golpea una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en el interior. Cuando la corriente eléctrica golpea la mezcla, el argón no participa, ya que su función es solo ayudar a arrancar la lámpara, extender la vida del electrodo y reducir las pérdidas, pero las moléculas del mercurio se excitan y cuando los electrones de las órbitas externas descienden a órbitas de menor nivel energético, emiten la energía sobrante en forma de radiación ultravioleta. Los arrancadores tienen la misión de producir una descarga fuerte que genera la primera ionización del gas. Establecen un cortocircuito sobre la lámpara, que precalienta los electrodos, interrumpe luego bruscamente la corriente, lo que origina en la reactancia inductiva del balastro un pico de alta tensión que inicia el arco. Los balastos fijan la corriente de operación (y por consiguiente la tensión) de la lámpara, presentan una alta impedancia hacia la red en el momento de arranque y producen una resistencia óhmica baja, de manera que las pérdidas de potencia (calor generado) sean mínimas. En una palabra, el balastro es un elemento que ordena el flujo de electrones dentro del tubo. Es como un policía ordenando el tránsito.



Fig 14. Imagen de un reactor ultravioleta real.

Equipos de intercambio de calor

Uno de los problemas que tiene el proceso, es la separación de los productos intermedios para obtener el producto prioritario (ClF y ClF₃ dependiendo de la parte del proceso en la que nos encontremos), esto nos obliga a trabajar con las temperaturas de los productos llevándolas a valores de hasta -120°C para así ofrecer una buena separación, el problema de esto es que se necesita diseñar una serie de equipos de transferencia de calor bastante diversos dependiendo de la parte del proceso en la que nos encontremos, por el diseño propuesto de este proceso serán necesarios 5 equipos de intercambio de calor. Como en este trabajo no nos centramos en el diseño de estos equipos se propondrán una serie de equipos, que teóricamente y sin cálculos aparentes tan solo con las condiciones de diseño y el rendimiento que aportan en otras instalaciones de requerimientos similares aparentemente son viables.

Equipos de intercambio de calor 1), 4), 5) y 6)

Estos equipos se encuentran:

1) En la salida del reactor 2 y entrada del decantador 1. Necesitamos que la corriente que salga de este equipo se encuentre a 0°C.

4) En la salida del reactor 4 y a la entrada del decantador 3. Necesitamos que la corriente se encuentre a 15°C

5) En salida del decantador 3 y entrada del decantador 4. Necesitamos que la corriente que salga de este equipo se encuentre a 0°C.

6) En la salida del decantador 4 y previo al almacenaje final del ClF₃. Necesitamos que la corriente que salga de este equipo se encuentre a -10°C.

En estos 3 equipos se usará el mismo sistema, La refrigeración por compresión. Se logra evaporando un gas refrigerante (en este caso el R407C) en estado líquido a través de un

dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante -y producir el subenfriamiento del mismo- es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante. De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

Estamos ante un ciclo de refrigeración de la siguiente forma:

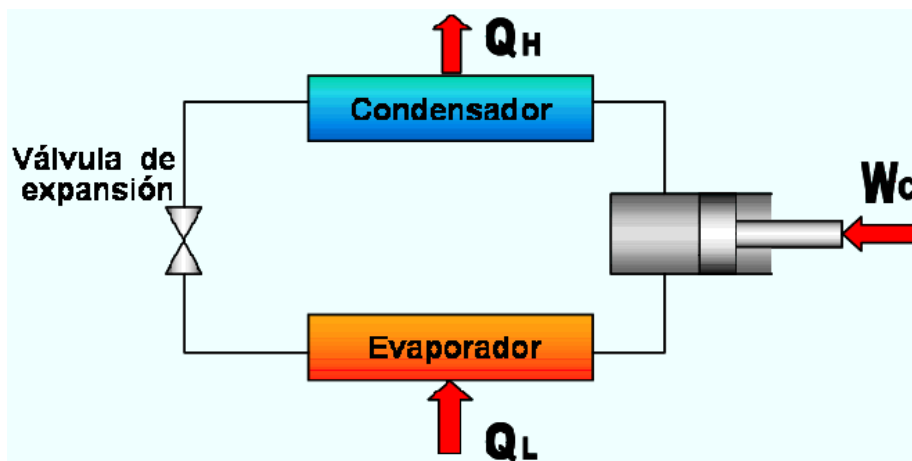


Fig 14. Esquema sencillo de un ciclo de refrigeración

Donde el calor que pasa al evaporador es cedido o absorbido de nuestra corriente de proceso, descendiendo así la temperatura de nuestros compuestos y elevando así la del refrigerante. Aunque se presente el diseño de un sistema de refrigeración simple, para

favorecer el rendimiento y teniendo en cuenta que no se toma en consideración el aspecto económico, se pueden instalar equipos en serie para que la corriente pase por varios ciclos de refrigeración antes de continuar hasta el siguiente equipo alcanzando así la temperatura requerida. Llevada a cabo en un equipo de refrigeración industrial.



Fig 15. Equipo de refrigeración industrial para R22-R407C

Se ha escogido como refrigerante el R407C dado que tiene propiedades muy similares al R22 que es el más idóneo para nuestro caso, pero al estar este en desuso se ha escogido a su sustituto. El R407C permite bajar la temperatura del fluido hasta -40°C .

Equipo de intercambio de calor 2)

Este equipo se encuentra:

A la salida del decantador1 y a la entrada del decantador2.

El equipo de intercambio de calor2 es el más complejo ya que necesitamos descender la corriente compuesta por H_2 y CIF a -120°C , la manera más viable encontrada es a través de líquidos criogénicos son líquidos que se transforman de gas a líquido por debajo de los -100°C como el oxígeno, argón y nitrógeno (-183°C , -186°C y -196°C respectivamente). Estos líquidos criogénicos además de tener una normativa especial y

unas normas y requerimientos de seguridad especiales se encuentran almacenados en tanques especiales llamados tanques criogénicos. La idea es que la línea pase a través del tanque criogénico donde se encontraría el fluido a baja temperatura y por conducción de calor se bajará la temperatura de nuestro fluido hasta los -120°C , para conseguir esto la tubería que atraviese el tanque puede tener varios giros y cambios de sentido para favorecer este intercambio dependiendo del rendimiento que se consiga, un diseño básico de estos tanques sería:

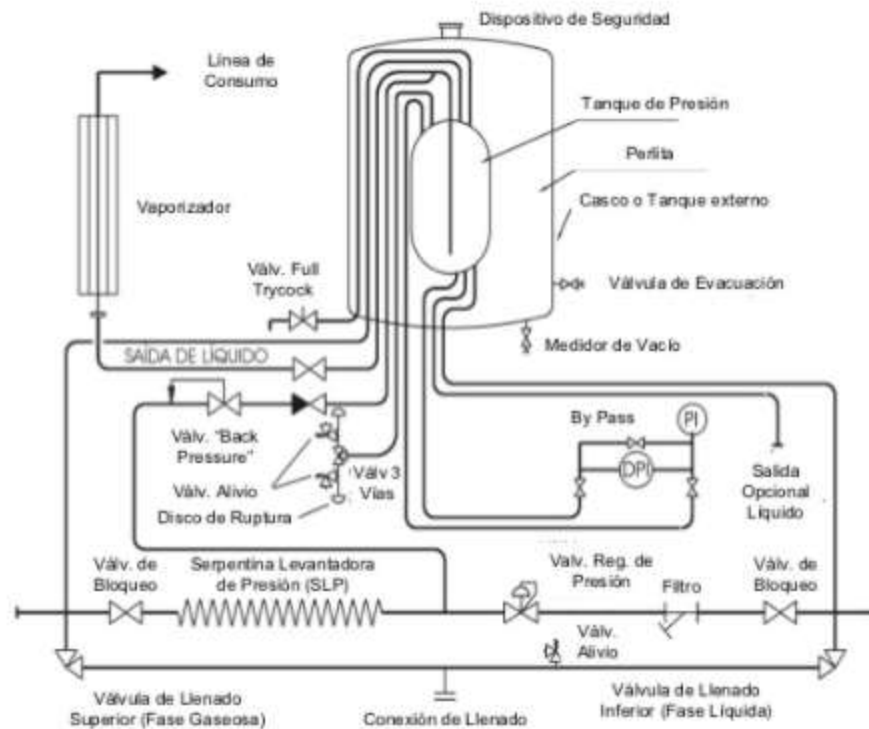


Fig 16. Esquema de las partes de un tanque criogénico

A este diseño le faltaría la corriente que atraviesa el depósito donde aprovechamos la baja temperatura de estos fluidos en las condiciones de almacenamiento para bajar nuestra temperatura a las condiciones de diseño requeridas.



Fig 17. Ejemplo real de un tanque criogénico

Equipo de intercambio de calor 3)

Estos equipos se encuentran:

3) A la salida del decantador² y a la entrada del reactor³.

La corriente que tenemos en este caso, es la que obtenemos de la base del decantador², esta corriente es pura en CIF a una temperatura de -120°C , como la reacción en el reactor³ es a temperatura ambiente necesitamos elevar esta temperatura unos $140-150^{\circ}\text{C}$.

Se utilizará para esto calentador por combustión (horno industrial). Un horno de proceso es un equipo constituido por un cerramiento metálico revestido interiormente por una pared refractaria aislante, dentro del cual se dispone de un serpentín tubular por el que circula un producto que se desea calentar y/o evaporar a través del calor liberado por un combustible sólido, líquido o gaseoso que reacciona en el quemador liberando gases de combustión calientes que entregan calor por radiación al serpentín. Un mazo tubular ubicado por encima de de la zona radiante, en el camino de salida de los gases a la chimenea, recupera calor de los humos, mediante un mecanismo de convección. Esta sección se denomina zona convectiva.

La utilización de estos equipos puede tener distintos propósitos como precalentamiento de una corriente previo a su fraccionamiento o reacción, evaporar la corriente de fondo de una columna de destilación o disminuir la viscosidad de un fluido para facilitar su manipuleo.

Pueden utilizarse también como reactores, en este caso proveen el calor de reacción. La cantidad de combustible alimentado al horno se regula normalmente en función de la temperatura de salida de la corriente de proceso.

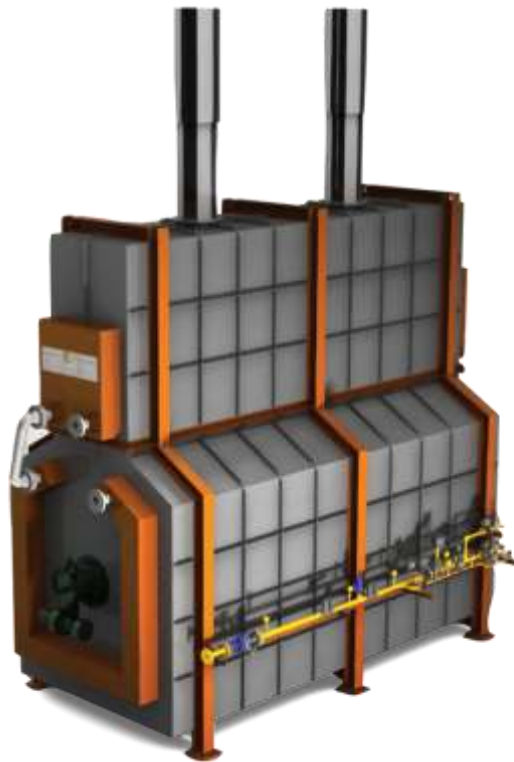


Fig 18. Ejemplo esquemático de un horno industrial

En el horno el fluido de proceso fluye dentro de tubos y se calienta por radiación procedente de una llama de combustión y por convección desde los gases calientes de esta. Otra solución alternativa podría haber sido la utilización de algún tipo de caldera, algún sistema de bomba de calor, o algún otro tipo de intercambiador, se ha escogido el horno por la sencillez del diseño y la rapidez de calentamiento, pudiendo trabajar con el horno a muy altas temperaturas reduciendo el número de pasos que tiene la corriente por el horno y reduciendo el tiempo de paso de la corriente por el horno. La temperatura de diseño de estos hornos varía des de 150-1350°C.

Sistema de generación de vacío

La planta estará equipada con 3 compresores especiales para la generación de vacío y bombear las corrientes de H_2 , F_2 y Cl_2 a los reactores que correspondan según la etapa del proceso.

La presión de operación de todo el sistema será de 0,04bar, una vacío elevado, esta presión es necesaria tanto por la cinética del proceso, como por la seguridad de la planta, ya que a vacío la reactividad del ClF_3 se vuelve prácticamente nula.

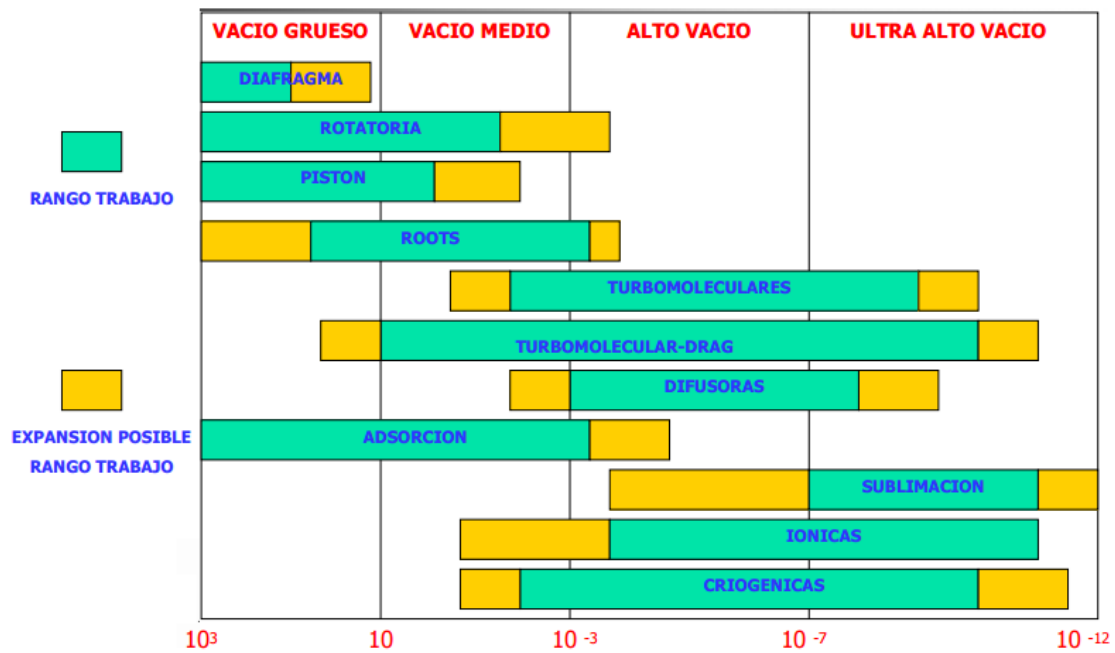
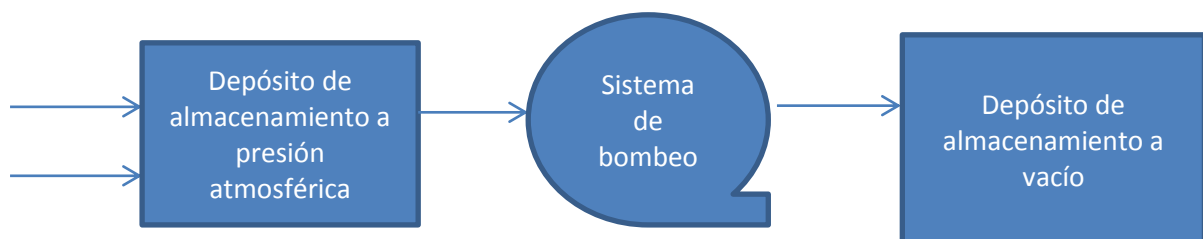


Fig 19. Rangos de vacío y maquinaria equipo adecuado para cada caso

La generación de vacío se producirá antes del almacenamiento en los tanques, para mantenerlos así presurizados y arrastrar el vacío en todo el sistema. Como observamos el equipo adecuado para generar el vacío dentro de nuestro rango sin tener problema de expansión, son bombas del tipo ‘root’.

Al salir de la planta de electrólisis los reactivos puros se encuentran en un tanque con los reactivos de reposición, seguido de esto se circulan a otro tanque y es en este tramo donde se genera el vacío a partir del tipo de bomba antes mencionado:



El sistema de bombeo está formado por dos tipos de bombas, las generadoras de vacío (bombas roots) y una bomba auxiliar que necesarias por el diseño de las primeras (compresor de rotor guiado).

Bomba root (bomba generadora de vacío): son bombas de desplazamiento positivo donde 2 rotores simétricos de sección en forma de ocho, giran sin contacto entre ellos y ni con el cuerpo, el uno en sentido contrario al otro, engranados regularmente, y alojados dentro del cuerpo de la bomba. El accionamiento de los pistones es a través de un juego de engranajes que sincronizan su movimiento de rotación y que garantizan la ausencia de roces entre ellos. Estas bombas se usan habitualmente para incrementar la velocidad de bombeo de un sistema o para alcanzar un vacío final más bajo. El eje de accionamiento de la bomba Roots es accionado directamente por el eje del motor por medio de un acoplamiento elástico. El paso del eje es sellado por medio de retenes con cámara de aceite como medio sellador. Incorpora una cámara de refrigeración al paso del eje para eliminar el calor producido por el cierre. La válvula de by-pass se monta entre la aspiración y el escape y controla la diferencia de presión abriendo y cerrando la válvula de by-pass por gravedad. Cuando la diferencia de presión entre aspiración y escape es demasiado alta, se abre la válvula de by-pass protegiendo a la bomba Roots de un sobrecalentamiento. Así es posible hacer funcionar la bomba Roots al mismo tiempo que la bomba primaria se enciende. Se encuentran en un ancho rango de aplicaciones en el campo del vacío. Se emplean preferentemente en combinación con bombas previas (bombas de anillo líquido, bombas rotativas de paletas, bombas de tornillo en seco, bombas de émbolos rotativos de uña en seco, bombas rotativas de pistón en baño de aceite, etc.). Su aplicación está muy extendida en el rango del bajo vacío. Con una adecuada graduación entre la bomba primaria y diversas etapas se alcanzan grandes capacidades de bombeo a vacíos muy bajos. La aplicación de las bombas de vacío Roots, formando grupo con bombas primarias, es muy variada y extensa, estando indicadas donde se precisen altas velocidades de bombeo a baja presión. Son ideales para ciclos de bombeo extremadamente cortos sobre grandes cámaras o bien para el bombeo de vapores que se desean recuperar lo más puros posible.

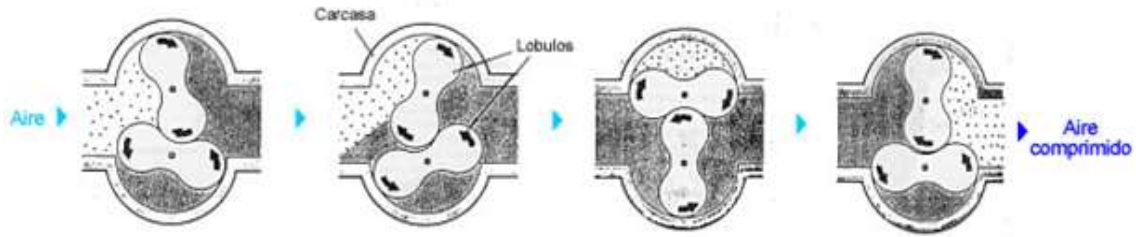


Fig 20. Funcionamiento por etapas de un compresor tipo root

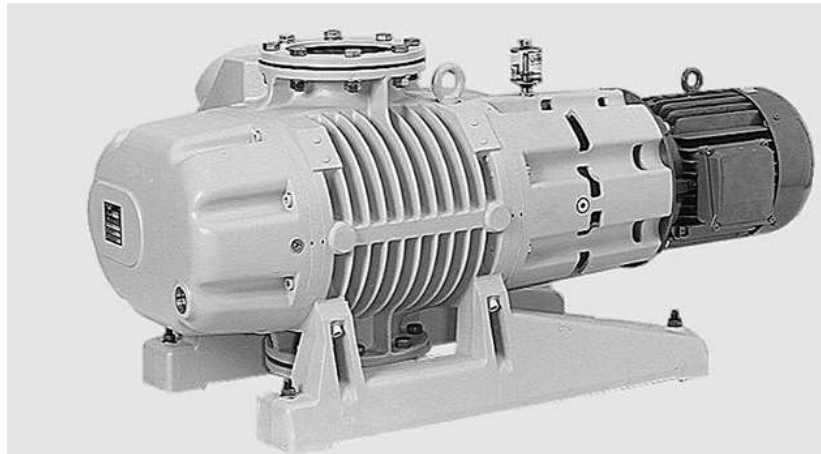


Fig 21. Compresor tipo root real

Compresor de rotor guiado (bomba auxiliar): La bomba root es complementaria a un equipo de bombeo principal pero no de cualquier tipo, en este caso se ha escogido un tipo de bomba rotativa de uña en seco.

Es compresor gas rotativo de desplazamiento positivo El volumen de compresión está definido por un rotor de giro trocoidal montado en un fuste de sección excéntrica con una eficacia adiabática típica 80 a 85%, además esta bomba es perfecta para nuestra especificaciones ya que el compresor de rotor guiado es debajo búsqueda como compresor de hidrógeno para estaciones de hidrógeno y transporte de hidrógeno por tubería.

Cuando el compresor de rotor guiado gira alrededor del fuste excéntrico, el rotor central bombea fluido

Generación de atmósfera inerte

Debido a los problemas de ventilación y reactividad de los compuestos almacenados en la planta, y para prevenir accidentes que puedan deberse a posibles fugas de estos compuestos, se ha diseñado un sistema de almacenamiento y aislamiento específico que se aplica de igual manera a cada uno de los tanques de almacenamiento de los compuestos almacenados.

Ya que dimensionando los reactores se han obtenido dimensiones imposibles de realizar debidas al mecanismo escogido, se ha tomado un método de seguridad y aislamiento concreto sin tener en cuenta las limitaciones económicas, ya que este método no sería viable por el excesivo valor económico.

Vamos a llamar equipo de almacenamiento al depósito o conjunto de depósitos en el cual/los cuales se almacena un tipo determinado de producto, tendremos cuatro tanques de almacenamiento para los cuatro reactivos/productos con los que se trabajarán ClF_3 , F_2 , Cl_2 y H_2 .

Cada producto se encuentra almacenado a vacío en su respectivo depósito, como primera medida preventiva, además de esto, las temperaturas de almacenamiento de todos los compuestos será la temperatura ambiente, salvo el ClF_3 este tendrá un tratamiento previo para mantenerlo en estado sólido a 300 K.

Cada equipo de almacenamiento se encuentra situado en una habitación especial, construida de hormigón armado y en el caso del ClF_3 con paredes recubiertas de fluoropolímero. Cada una de estas habitaciones estarán provistas de dos equipos:



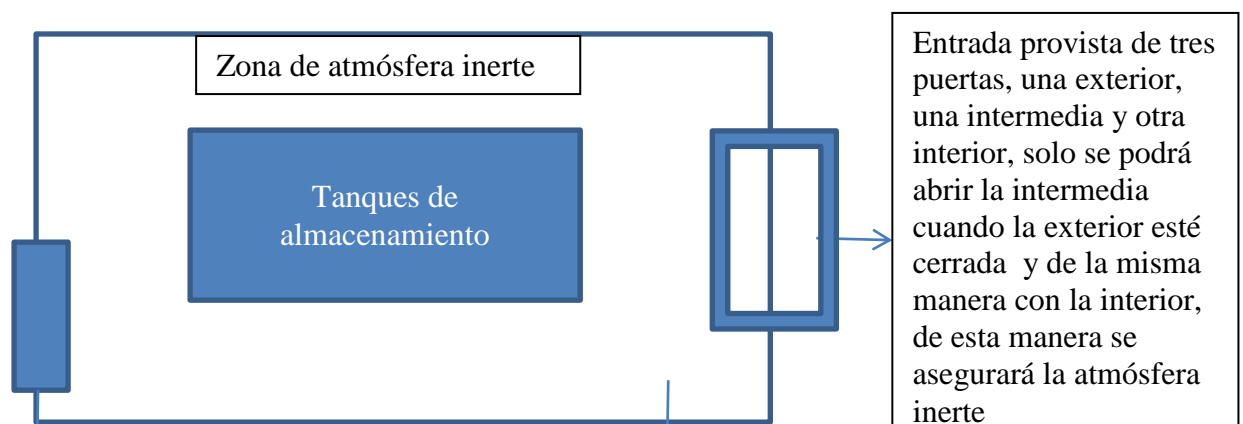
Fig 22. Equipos de generación de atmósfera inerte

Estos equipos estarán encargados de generar nitrógeno y crear atmósfera inerte a partir de la Filtración del gas presente en la habitación. Dependiendo del tamaño de la habitación se necesitará un determinado generador, aquí se muestra el catálogo de equipos que nos ofrece “www.interempresas.net”.

Modelos Generador + Tanque N2	Caudales N2 Salida Aire Entrada	Pureza 95%	Pureza 97%	Pureza 98%	Pureza 99%	Pureza 99,5%	Pureza 99,9%	Pureza 99,99%
N 040 ECO 150 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	4,67 9,00	4,03 8,40	3,62 7,80	2,94 7,20	2,49 7,20	1,67 5,40	0,78 3,60
N 075 ECO 150 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	12,00 22,80	10,36 21,60	9,30 20,40	7,56 19,20	6,40 18,60	4,30 14,40	2,00 9,60
N 150 ECO 320 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	25,33 48,00	21,87 46,20	19,63 43,20	15,96 40,20	13,51 39,00	9,08 30,60	4,22 20,40
N 225 ECO 470 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	38,67 73,20	33,38 70,20	29,97 66,00	24,36 61,20	20,62 60,00	13,86 47,40	6,44 31,20
N 350 ECO 470 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	60,00 114,00	51,80 108,60	46,50 102,60	37,80 94,80	32,00 93,00	21,50 73,20	10,00 48,00
N 600 ECO 470 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	85,33 162,00	73,67 154,80	66,13 145,20	53,76 134,40	45,51 132,00	30,58 103,80	14,22 68,40
N 800 ECO 1.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	113,00 214,80	105,00 220,80	88,00 193,80	73,00 182,40	63,00 183,00	45,00 153,00	19,80 94,80
N 1000 ECO 1.500 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	181,59 345,00	168,73 354,60	141,41 311,40	117,31 293,40	101,24 293,40	72,31 246,00	31,62 153,00
N 1850 ECO 3.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	239,70 456,00	198,90 420,00	173,60 384,00	144,70 360,00	122,00 354,00	91,00 312,00	43,80 210,00
N 2650 ECO 4.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	387,50 738,00	321,50 678,00	280,70 618,00	233,90 582,00	197,20 570,00	147,00 498,00	70,80 342,00
N 3150 ECO 5.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	525,70 996,00	436,10 918,00	380,70 840,00	317,30 792,00	267,40 774,00	199,40 678,00	96,00 462,00
N 4500 ECO 7.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	675,00 1284,00	560,00 1176,00	488,90 1074,00	407,00 1020,00	343,40 996,00	256,10 870,00	123,30 594,00
N 5500 ECO 8.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	812,60 1542,00	674,20 1416,00	588,60 1296,00	490,50 1224,00	413,40 1200,00	308,30 1050,00	148,40 714,00
N 6500 ECO 10.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	1139,70 2166,00	945,60 1986,00	825,50 1818,00	687,90 1722,00	579,80 1680,00	432,40 1470,00	208,20 1002,00
N 3150 ECO X2 15.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	1051,40 1998,00	871,20 1830,00	761,50 1674,00	634,60 1584,00	534,90 1554,00	398,90 1356,00	192,00 924,00
N 4500 ECO X2 20.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	1350,00 2568,00	1120,00 2352,00	977,80 2154,00	814,80 2040,00	686,80 1992,00	512,20 1740,00	246,60 1182,00
N 5500 ECO X2 25.000 litros	N2 Nm3/h Aire Nm3/h	1625,30 3090,00	1348,40 2382,00	1177,20 2592,00	980,90 2454,00	826,80 2400,00	616,60 2094,00	296,90 1428,00

Fig 23. Catálogo de generadores de N₂

Estas habitaciones tendrán una seguridad especial para evitar fugas de nitrógeno o pérdida de esta atmósfera inerte. Las puertas exteriores tendrán un sistema de autocierre en el caso de que se haya dejado abiertas. Las puertas estarán provistas de un sensor conectado con los tanques de almacenamiento, por tanto en caso de fuga se cerrarán completamente, y solo se dejará una trampilla por la parte superior para entrar a esta habitación.



Flujograma de actividad de la planta

Aquí se presenta el flujograma de actividad de la industria con una leyenda específica donde se describen las etapas por las que pasan los productos desde que llegan a la planta hasta que se obtiene el producto principal:

-Siendo los rectángulos los sistemas de reacción. El sistema de reacción 1 corresponde al reactor 1, el sistema de reacción 2 corresponde al reactor 2 y así sucesivamente, además de esto el sistema de reacción abarca además de lo ya señalado, también los reactores ultravioleta cuando son necesarios. Teniendo estos las líneas de operación de color negro.

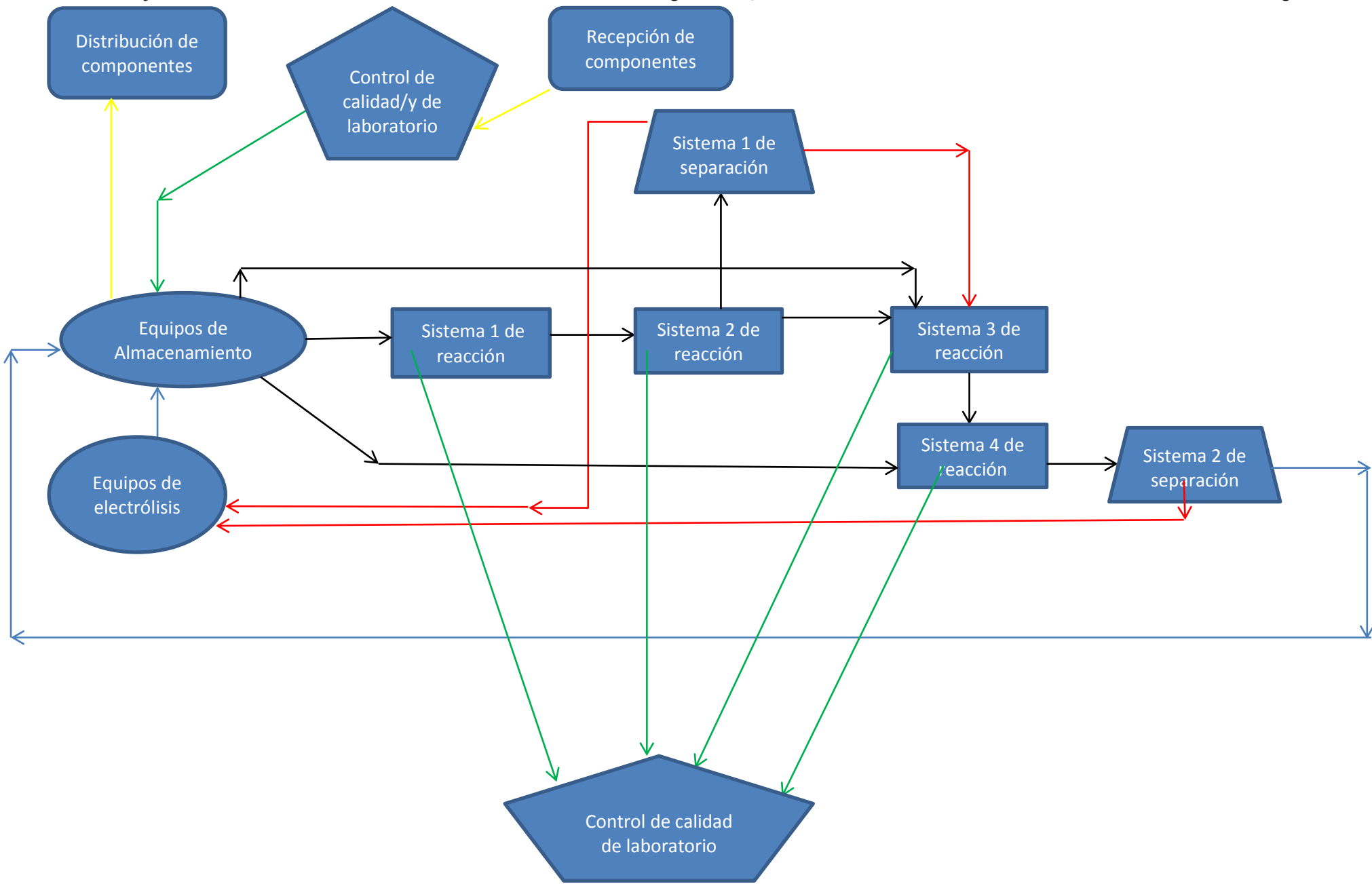
-Siendo los trapecios los sistemas de separación. El primer sistema abarca los dos primeros decantadores y la columna de destilación, y conteniendo el segundo sistema los decantadores restantes. Teniendo estos las líneas de operación de color rojo.

-Siendo los pentágonos los controles de calidad. Hay dos controles de calidad el primero abarca tanto el referente a la recepción de material comprobando que todo esté acorde a las especificaciones, y comprobando que además el producto tenga las propiedades necesarias y que no venga con algún defecto. El segundo control es el realizado cogiendo muestras a la salida y entrada de los reactores comprobando así que no hay fallo ni en los equipos, ni en el proceso. Estas líneas son de color verde.

-Siendo las elipses dos equipos muy diferentes, en primer lugar equipos de almacenamiento donde se incluyen tanto los tanques de almacenamiento como las zonas de atmósfera inerte donde se encuentran estos tanques y en segundo lugar tenemos las

dos plantas de electrólisis una primera de obtención de flúor/hidrógeno y una segunda de obtención de cloro/hidrógeno. Estos bloques tienen líneas de color azul claro.

-Siendo los rectángulos de bordes redondeados el comienzo y final de la actividad, constituyendo la recepción y distribución de componentes. Estos dos sistemas están caracterizados con líneas de color amarillo.



Medidas preventivas

De entre las medidas preventivas y de protección a aplicar, las más usuales en nuestra industria son las siguientes:

-Identificación de los riesgos de cada uno de los productos químicos utilizados, atendiendo al etiquetado y la ficha de datos de seguridad.

-Separación de los diferentes grupos de productos que puedan dar lugar a incompatibilidades químicas.

-Disponer y conocer el plan de actuación en caso de emergencia química (incendio, fuga o derrame).

-De efectuar operaciones que entrañen riesgo, (trasvases, mantenimiento, limpieza) se analizarán los métodos de trabajo, las situaciones de riesgo que se pueden ocasionar y se implantará un procedimiento de trabajo seguro.

-Utilizar los equipos de protección individual necesarios en función de los productos y operaciones a efectuar.

-Conocer la ubicación de las duchas de emergencia y/o lavaojos, mantenerlos accesibles y en buenas condiciones.

-Disponer de cubetos de retención, drenajes dirigidos a lugares seguros u otros dispositivos que ayuden a controlar un posible derrame. Conviene disponer de absorbentes.

-Etiquetar todo recipiente informando de los riesgos del producto.

-Separar los ácidos fuertes, bases fuertes, oxidantes fuertes y reductores fuertes. Si alguno de éstos fuera inflamable, almacenarlo junto a ellos, tomando las medidas preventivas oportunas.

-Deberá permanecer totalmente cerrado cualquier lugar de almacenamiento con sistema de atmósfera inerte.

- Se trabajará en el laboratorio, de manera segura con procedimientos de prevención de accidentes: Pelo recogido, uso de campana extractora, etc.

-Respeto de las zonas de circulación con maquinaria pesada, y respeto del horario de carga y descarga, evitándose la libre circulación del personal por las zonas señaladas.

-Prohibido fumar en toda la planta, salvo en las zonas habilitadas para ello.

-Se prohíbe la entrada de mecheros, chisqueros o cualquier tipo de herramienta susceptible a poder hacer fuego.

-Se recomienda el uso de tapones durante las labores de reparación, movimiento de maquinaria que provoque altos ruidos o maquinaria que su mero uso suponga una contaminación acústica elevada

-Al encontrarnos ante una industria química cuyo producto principal es un compuesto altamente peligroso a nivel colectivo, se precisará de un informe psiquiátrico para poder trabajar en la industria.

-Velocidad máxima preventiva en todo el emplazamiento de 20km/h.

Medidas de protección colectiva

Duchas de seguridad: Sistema de emergencia de alta importancia en procesos con riesgo de quemaduras químicas e incluso si se llega a producir fuego en la ropa.

Fuente lavaojos: Es un sistema que debe permitir la descontaminación rápida y eficaz de los ojos y que está constituido básicamente por dos rociadores o boquillas separadas entre 10 y 20 cm capaces de proporcionar un chorro de agua potable para lavar los ojos o la cara, una pileta, de 25 a 35 cm, provista del correspondiente desagüe, de un sistema de fijación al suelo o a la pared y de un accionador de pie (pedal) o de codo.

Botiquines: Botiquín de primeros auxilios para atenciones sencillas como cortes o torceduras, con vendas, tiritas, agua oxigenada, réflex, etc.

Extintores: No se precisará de extintores por el tipo de almacenamiento y aislamiento de los productos, el único tipo de fuego que puede darse es debido a algún tipo de fallo eléctrico, en cuyo caso se apagará usando extintores de CO₂

Cubetos de retención en el depósito de ClF₃: Recipiente estanco de acero situado bajo el depósito de ClF₃ sólido que se utiliza para evitar los derrames de esta sustancia en estado sólido que evita que alguna posible fuga de este ocasione daños en la planta, y terreno circundante, pudiendo ser recogido de forma más cómoda y segura.

Campanas extractoras: Equipo de ventilación situado en el laboratorio, donde se trabajará con compuestos que sean susceptibles a liberar vapores tóxicos o peligrosos.

Cubre bridas: Los cubre bridas están pensados para prevenir accidentes derivados de las posibles fugas de los equipos en las industrias químicas en general de materiales que puedan resultar tóxicos e incluso explosivos y evitar así dañar a trabajadores u otros equipos.

Barandillas: Situadas en lugares donde se encuentren las escaleras.

Interruptor diferencial: Es un dispositivo de seguridad que desconecta automáticamente la instalación cuando se produce una derivación de una intensidad superior a la que hemos establecido previamente.

Encerramientos para las máquinas ruidosas o peligrosas: Aislamiento sonoro en máquinas que lo precisen

Tratamiento de los compuestos químicos

Características y riesgos importantes.

Los compuestos involucrados en esta planta son el Flúor, Cloro, Hidrógeno y el principal el Trifluoruro de cloro, las fichas técnicas de estos compuestos se encuentran en los anexos de este documento. Los equipos de protección individual citados a

continuación son los que se deben de utilizar en el laboratorio ya que por el diseño de la planta y almacenamiento, no se podrá tratar con los compuestos a nivel de planta (ya que son altamente peligrosos y difíciles de controlar), por tanto para la planta el equipo de trabajo será diferente al del laboratorio. Los riesgos más importantes relacionados con estos compuestos son los provocados por quemaduras ya que son compuestos inflamables y explosivos, muy inestables y peligrosos.

Almacenamiento

El almacenamiento de estos productos sigue un procedimiento muy concreto, tanto el hidrógeno como el flúor y el cloro, al salir de la planta de electrólisis se enviarán a sus depósitos, igual que el trifluoruro de cloro que al final del proceso se procesará hasta alcanzar el estado sólido y enviarlo a su depósito, cada uno de estos se encuentra en un tanque perfectamente cerrado y rodeado de una estructura donde se ha inducido atmósfera inerte a partir de un equipo de generación de nitrógeno, esto provocará que ante algún tipo de fuga, ningún compuesto reaccione, esta zona de atmósfera inerte estará perfectamente cerrada con un sistema de seguridad que evitará la perturbación de esta zona. Ante una fuga en cualquiera de los habitáculos, estos se cerrarán herméticamente actuando como un depósito, se cerrará las válvulas correspondientes para cortar el suministro del compuesto fugado y se comenzarán las labores de descontaminación correspondientes que aseguren la salud de los operarios.

Epis referidas al laboratorio

Parte del cuerpo	Epi
Ojos y cara	Pantalla de protección o gafas protectoras en su defecto
Vía respiratoria	Mascarilla protectora
Manos	Guantes de laboratorio o aislantes del frío
Tronco	Bata impermeable anti salpicaduras
Pies	Calzado cómodo de laboratorio

Epis referidas a la planta

Parte del cuerpo	Epi
Cabeza	Casco
Manos	Guantes protectores
Tronco	Mono de trabajo
Pies	Botas de seguridad
Oídos	Tapones

La planta industrial tendrá dados de alta a X trabajadores de campo, por lo que el número de equipos individuales deberá ser adaptado. Respecto a los auriculares de protección y pantallas de protección facial, solo serán necesarias 5 unidades de cada uno, ya que se utilizarán únicamente en caso de tener que reparar alguna avería o resolver algún problema en el interior de los recintos con maquinaria ruidosa y peligrosa. En este caso, por medidas de seguridad entrarán como máximo 5 personas.

Características técnicas de la planta**Climatización**

El objeto de la climatización forma parte del acondicionamiento del aire. Este incluye el conjunto de operaciones necesarias para dejar el aire de un recinto en unas condiciones determinadas de temperatura, humedad, presión, velocidad y demás, convenientes para un proceso industrial, de laboratorio o, simplemente, de confort ambiental. De esta definición se desprende que el acondicionamiento del aire incluye tanto la calefacción como la ventilación y climatización,

dependiendo de las exigencias de temperatura y demás impuestas al aire del ambiente por la actividad desarrollada en el recinto.

El control de temperatura consiste básicamente en calefacción en invierno y refrigeración en verano para alcanzar una temperatura alrededor de los 20° C. Dado que el cuerpo humano tiende a adaptarse al medio, las temperaturas confortables en invierno son más bajas que las de verano, de modo que con 20-22° C en invierno se obtiene una sensación de confort equivalente a 23-25° C en verano. La humedad conviene mantenerla entre 60 y 70% en invierno y 40-50% en verano. El consumo energético necesario para lograr estos parámetros, según las condiciones reinantes en la España mediterránea, consisten en unas 40 cal./h por m³ en invierno y 20-30 frigorías (equivalente a calorías) en verano.

Bomba de calor

Se utilizarán bombas de calor ya que el objetivo es conseguir aire caliente en invierno y aire frío en verano para tener una buena climatización del recinto y mantener la temperatura a unos 20°C aproximadamente. Este sistema solo se dispondrá en las oficinas, enfermería, zona de descanso, etc, ya que el taller dispondrá de otro sistema de ventilación.

Se dispondrá de un sistema de climatización mediante dos bombas de calor, y así hacer una mejor distribución en la climatización sin malgastar energía.

Las bombas serán de la marca MITSUBISHI y las características las siguientes:

Modelo: FDUR 508 H

Capacidad: 11200 frig/h y 12200

cal/h Consumo eléctrico 10,25kW

Estas bombas disponen de dos unidades una interior y otra exterior, la exterior es la que recoge el aire de la calle para pasarla a la unidad interior, se colocará dentro del falso techo al tener una altura bastante pequeña.

Conducto de aire

El otro espacio técnico está configurado por la red de conductos de aire. Estos conductos reciben el aire filtrado de las máquinas climatizadoras y lo distribuyen por la totalidad del recinto. Configuran un espacio cerrado en el cual la temperatura y la humedad oscilan dentro de márgenes plenamente compatibles con el desarrollo de microorganismos. En este espacio se acumula suciedad procedente tanto de aquella fracción no retenida por los filtros como la que entra, directamente desde el espacio habitado, a través de los difusores y rejillas.

El tramo de conducción que resulta más crítico desde el punto de vista de la calidad del aire interior es la impulsión ya que carece de filtración y se abre a la zona habitada a través de los difusores. Es cierto que, mientras la máquina trabaja, se establece una presión positiva en el interior del conducto con respecto al área habitada por lo que la suciedad no puede entrar al conducto pero, cada vez que el termostato detiene el funcionamiento se produce un balance de presiones que invierte la relación y, por una breve fracción de tiempo el aire del exterior entra abiertamente al interior del conducto, esto se soluciona mediante la incorporación de filtros. Hay agua procedente de la humedad relativa y de la condensación que, fácilmente se origina por los contrastes térmicos en los conductos. Hay una temperatura que se mantiene entre 17 y 27 grados de forma estable aproximándose a uno u otro extremo según se trate de verano o invierno. Hay nutrientes que proceden de la suciedad acumulada. La mayor parte de los contaminantes biológicos que se encuentran habitualmente en los controles de calidad del aire son huéspedes neutrales que no agreden gravemente a la salud, pero sí son responsables de olores molestos y de estados de disconfort que llegan a producir dermatitis, irritación e inflamación de mucosas que afectan a ojos y vías respiratorias. Esta benignidad no debe llevar al abandono de la prevención, más cuando se está observando la irrupción de brotes de legionelosis con frecuencia creciente o patologías asociadas a la pérdida de la calidad del aire interior como son los catarros estivales, vinculados al aire acondicionado.

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales y su desarrollo reglamentario contemplan, en espíritu, la necesidad de prevenir, controlar y corregir las desviaciones que se producen aunque, la ausencia de mandatos concretos conduce al abandono de cualquier programación sistemática.

La prevención de la Legionelosis está suficientemente regulada y empieza a mostrar su eficacia. Es necesario tomar conciencia de que el mismo rigor que lleva a establecer controles higiénico sanitarios múltiples sobre el agua que bebemos o sobre los alimentos que ingerimos, debe hacerse patente sobre el aire que contacta permanentemente con nuestra piel y del que introducimos en lo más profundo de nuestros pulmones, dieciocho metros cúbicos cada día.

Para prevenir posibles enfermedades habrá que mantener el cuidado de estos conductos con las convenientes inspecciones y limpieza de las mismas.

El diseño de los conductos de estas instalaciones se hará con conductos cuadrados que saldrán del aparato de climatización interior que al disponer de dos salidas se distribuirán uniformemente por la superficie de las oficinas.

La red de conductos irá en el interior del falso techo y el aire saldrá a través de unas bocas de extracción.

Iluminación

Condiciones de iluminación

El cálculo de las luminarias habrá que hacerse tanto para el taller, donde se realiza la producción, como para cada departamento de las oficinas y el resto de instalaciones de que se disponen, como son los vestuarios, comedor ...

Para ello se tendrán que conocer las medidas de cada zona a iluminar.

Los valores de reflectancia de las paredes, techo y suelo se pueden tomar de la siguiente tabla.

Tabla 23.

	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	Claro	0.3
	Oscuro	0.1

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

Tabla 24.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos.	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes, archivos y zona de enfermería.	100	150	200
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas reuniones.	450	500	750
Panel de control y laboratorio.	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000

En este caso se utilizará un nivel de iluminación óptimo en cada una de los departamentos a utilizar.

Iluminación de la zona de producción

El sistema de alumbrado está determinado por el tipo de trabajo, el espacio a iluminar y la altura del techo. Al tratarse de una nave con una altura de 10m las fuentes de luz han de colocarse también a gran altura. Esto es así por el tipo de maquinaria que se emplea, han de mantenerse fuera de su campo de acción.

Cada una de las dos naves tiene una hilera de tres focos distribuidos uniformemente a lo ancho de la nave, en la cual hay un total de seis hileras de focos distribuidos a lo largo de la nave y separados unas de otras unos 4m.

La altura a la que se instalarán las luminarias será de 8m.

En cada nave habrá 18 luminarias de la marca Philips de alumbrado industrial y de la siguiente referencia: SPK100/400 GPK100 NB closed 1 x SON-P400W

La potencia de las cuales será de 400W y el total de la potencia se distribuirá de tal forma que no haya desequilibrio entre las fases, poniendo 6 luminarias por cada fase.

Iluminación de zonas comunes (oficinas, vestíbulos, zona de enfermería, panel de control, etc)

La iluminación del resto de las dependencias de las dos naves se hará mediante fluorescentes que proporcionen la iluminación óptima para cada departamento, dependiendo de si son oficinas, lavabos, vestíbulos, comedores...

Existen varios tipos de aparatos de alumbrado:

· Luminarias fluorescentes de alumbrado interior de la marca Philips. Luminaria: TPS498/1.249 1.2 D6

Lámpara: 2 x TL5-49W / 827

Lugar de colocación: Zona de reacción.

· Luminarias fluorescentes de alumbrado interior de la marca Philips. Luminaria: TPS498/1.258 1.2 L1 o

TPS498/1.258 1.2 D6

Lámpara: 2 x TL-D58W / 827

Lugar de colocación: Vestíbulos, Comedor, Vestuario, Sala de panel de control, Servicios, Sala de reunione.

· Luminarias fluorescentes de alumbrado interior de la marca Philips. Luminaria: TPS498/1.214 1.2 M1

Lámpara: 2 x TL5-14W / 827

Lugar de colocación: WC's, entrada lavabos y pasillo.

Luminarias fluorescentes de alumbrado interior de la marca Philips. Luminaria: TCW079/236HS

Lámpara: 2 x TL-D36W / 827

Lugar de colocación: Entrada naves taller, Secretaría.

Iluminación de emergencia

La planta dispondrá del correspondiente alumbrado de señalización y emergencia, mediante equipos autónomos con batería.

La iluminación de emergencia entrará en funcionamiento al producirse un fallo de alimentación de la instalación o por descenso de la alimentación por debajo del 70% del valor nominal de la misma.

La iluminación de señalización e iluminación de emergencia están colocadas al lado de las puertas que dan acceso a las naves y a las oficinas, encima de las mismas. También están colocadas en zonas comunes.

Las luminarias utilizadas serán de 8W cada una proporcionando de esta forma la iluminación necesaria en caso de fallo de la red normal de funcionamiento para poder evacuar el edificio en caso de ser necesario con total seguridad.

Instalación eléctrica

-POR DETERMINAR-

Materiales de diseño

Cerramiento y acondicionamiento del exterior

El cerramiento exterior está realizado por una valla de alambre de 2,5 metros de altura. Se pavimenta la zona de circulación de los vehículos con firme para calzada de tráfico pesado.

Al frente de la nave, donde se encuentra la entrada principal de la industria, se construye una acera con pavimento de hormigón donde se disponen algunas plazas de aparcamiento.

Suelo en planta

El pavimento sobre el que se colocan las bases de los diferentes equipos es de hormigón armado HA-25 de 20cm de espesor con malla electrosoldada 15x15x6 mm y capa de rodadura de mortero de cemento y acabado superficial mediante fratasado mecánico.

Oficinas y aseos

Se opta por el ladrillo cerámico hueco de dimensiones 25 × 12 × 8 cm, tomado con mortero de cemento. Sobre este se aplica un enfoscado de 10 mm de espesor con

mortero de cemento y arena y cuyo recubrimiento exterior se efectúa con pintura plástica lisa de color blanco roto.

Los aseos y vestuarios están recubiertos por azulejo con dimensiones de 20 x 20 cm de color blanco.

Techo

Los techos de las dos zonas son de falso techo registrables, el cual es muy ligero y flexible. La altura es de 2,5 metros respecto al suelo.

Puertas y ventanas

Las puertas del interior en esta zona son de madera con dimensiones de 203,2 x 625 cm.

Las puertas que dan al exterior o planta, son puertas metálicas blancas con un ancho y alto de hoja de 82,5 y 205,5 cm respectivamente.

Las ventanas están todas ellas realizadas en aluminio lacado blanco y son de apertura manual.

Ventanas de 120 × 100 cm, las cuales se instalan tanto en la oficina como en la zona de venta al público a una altura de 1,30 metros del suelo.

Ventanas de 50 × 50 cm, las cuales se instalan en los aseos y vestuarios a una altura de 1,80 metros del suelo.

Suelos

Se decide la instalación de baldosas de gres porcelánico de 31 x 31 cm, con acabado en aspecto mosaico y colocados con una junta inferior a 2mm de espesor de mortero de cemento.

Recepción de material

Una vez se realiza el pedido de componentes químicos principalmente Flúor, Cloro e Hidrógeno en menor cantidad se procederá a su almacenamiento previamente habiendo realizado un control de calidad en el laboratorio a partir de una muestra previamente extraída.

Los tanques de almacenamiento y el lugar de recepción se encuentran próximos para evitar el excesivo desplazamiento de componentes de alta toxicidad por la planta por el riesgo de fuga que estos conllevan, el llenado de los tanques se producirá a partir de unas cisternas acopladas a los tanques con dos válvulas, situadas a ambos extremos de la cisterna, una para evitar que salga el componente del tanque a través de la cisterna y otra para evitar el llenado del tanque si no se requiere necesario, teniendo que estar ambas abiertas para proceder al llenado del tanque.

Comprobación y limpieza de equipos

Se realizan radiografías de algunas soldaduras para comprobar que no hay poros y el cordón tiene el suficiente grosor.

Se realizan pruebas hidráulicas a los tanques atmosféricos mediante el llenado con agua de los mismos para comprobar si hay pérdidas, a los recipientes de presión se les llena de agua y se les da presión para acreditar que resisten dicha presión.

A los intercambiadores de calor y compresores se les realiza la prueba hidráulica dando presión para comprobar que están bien reparados.

A los reactores se le realizarán labores de limpieza para evitar restos y acumulaciones de componentes además de ensayos por impulso para comprobar que el reactor está operativo en condiciones óptimas. El Reactor 4 y a la líneas que deriven de él, tendrán un pretratamiento especial, inyectándoles una corriente previa de Flúor para evitar explosiones al comenzar a generar el

trifluoruro de cloro.

Las columnas de destilación se limpiarán eliminando los depósitos y restos de componentes de procesos previos, comprobando además la eficiencia de la columna con ensayos determinados y comprobando también que consiguen alcanzar las temperaturas exigidas para el proceso.

Los decantadores se limpiarán de la misma manera que las columnas pero no será necesario ensayos rigurosos por la sencillez del mecanismo de actuación.

Diseño de la planta

La planta se encuentra dividida en 10 zonas perfectamente diferenciadas:

-Control de acceso: El control de acceso se realizará en la entrada de la planta, donde se identificará a cada persona que quiera entrar en la planta, además del requisamiento de objetos peligrosos como mecheros, objetos metálicos, etc.

-Aparcamientos: Lugar de estacionamiento de vehículos del personal.

-Zona de carga/descarga: Lugar habilitado para la carga y descarga de materias primas y productos, alta presencia de maquinaria pesada y camiones especializados, provista de dos puertas para realizar las labores de carga/descarga con la mayor sencillez posible.

-Vestuarios/zona de cafetería y oficinas: Este edificio está provisto de una cantina que será la zona habilitada el consumo de cualquier alimento (a excepción de agua), y una zona de vestuarios donde se los operarios tendrán unas taquillas para el almacenaje de enseres privados y donde se podrán asear después de la jornada laboral, esto se encontrará en la planta baja del edificio. La primera planta estará provista de oficinas y despachos ocupados principalmente por el personal administrativo de la planta.

-Panel de control: Zona expresamente reservada para el panel de control y los panelistas.

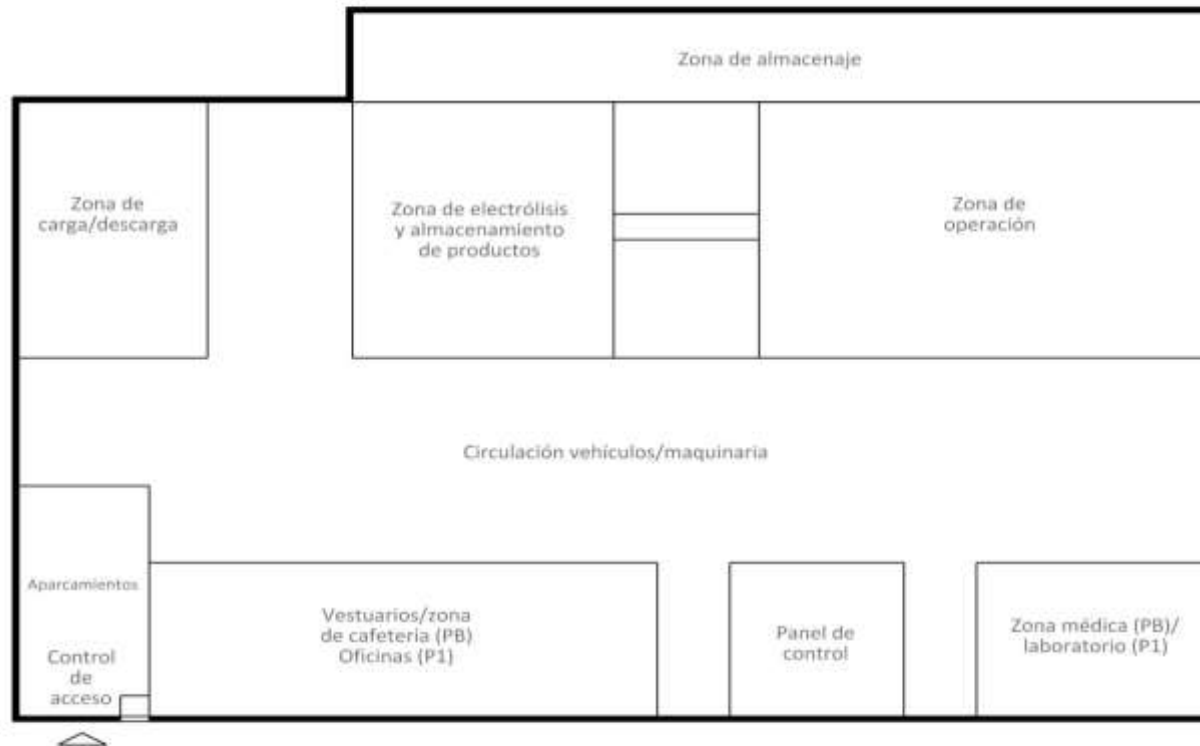
-Zona médica/laboratorio: La planta baja estará provista del equipamiento necesario para solventar cualquier tipo de herida relacionada con los riesgos que puede darse en la planta (quemaduras químicas, cortes, esguinces, torceduras, etc) y la primera planta estará equipada con los equipos necesarios para un laboratorio analítico ya que allí se determinarán si los productos, reactivos, y componentes químicos involucrados en los procesos cumplen las especificaciones requeridas.

-Circulación de vehículos y maquinaria: Formada por la calle principal de la planta, con la extensión suficiente para que permita la circulación de vehículos y maquinaria pesada sin poner en riesgo la seguridad del personal.

-Zona de electrólisis y almacenamiento de productos: En este edificio encontraremos los equipos de electrólisis de cloro y flúor, además de los tanques de almacenamiento de componentes (hidrógeno, flúor, cloro y trifluoruro de cloro).

-Zona de operación: En este edificio se encuentran los equipos relacionados con el proceso de producción (columnas destilación, intercambiadores de calor, decantadores y reactores).

-Zona de almacenaje: Edificio provisto de herramientas de reparación de equipos, tanques de almacenamiento de repuesto, utensilios de mantenimiento, camiones, etc, está provista de una puerta de entrada/salida.



Esquema de zonificación
e: 1/500

Fig 24. Mapa de la planta-vista superior

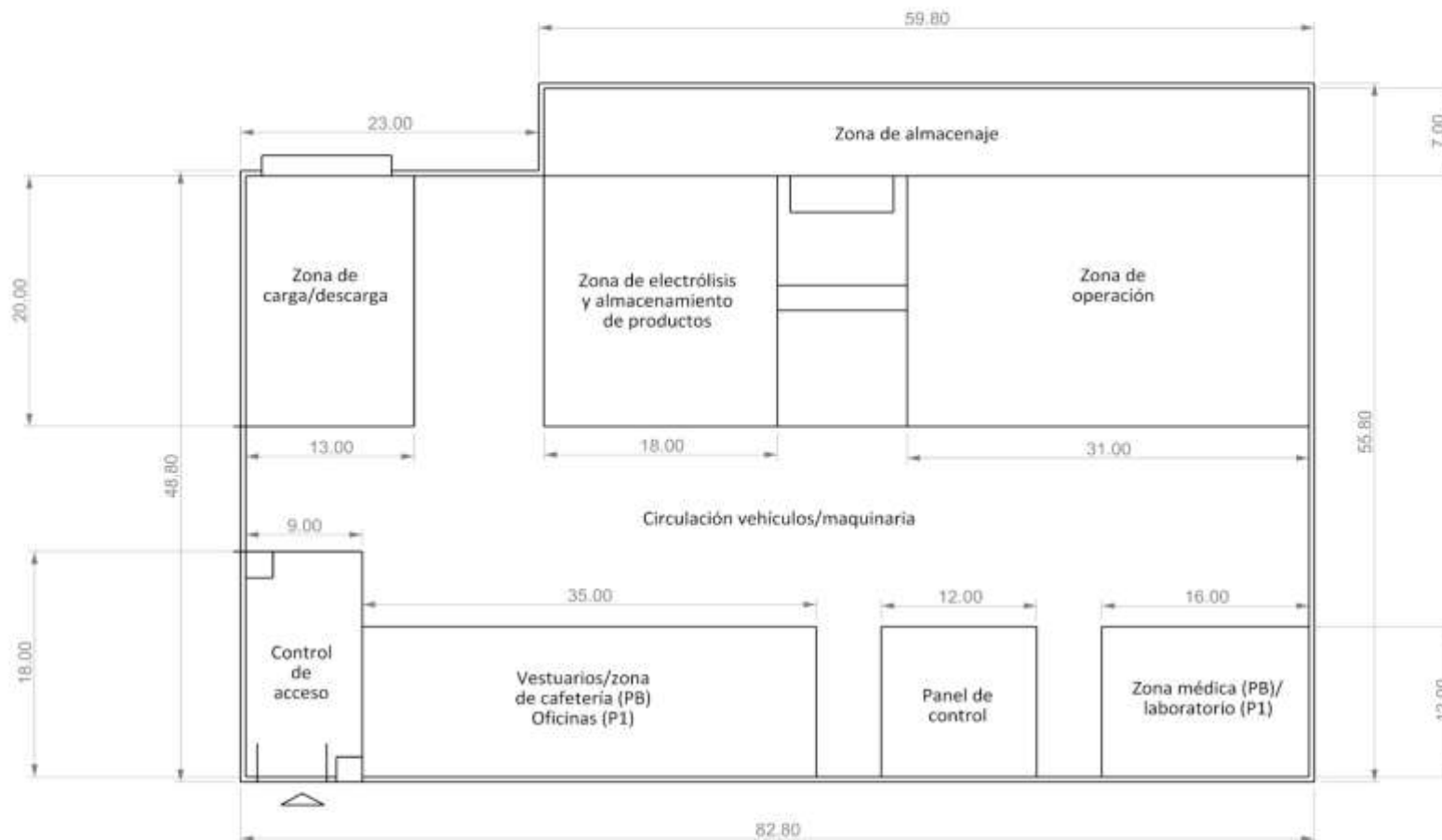
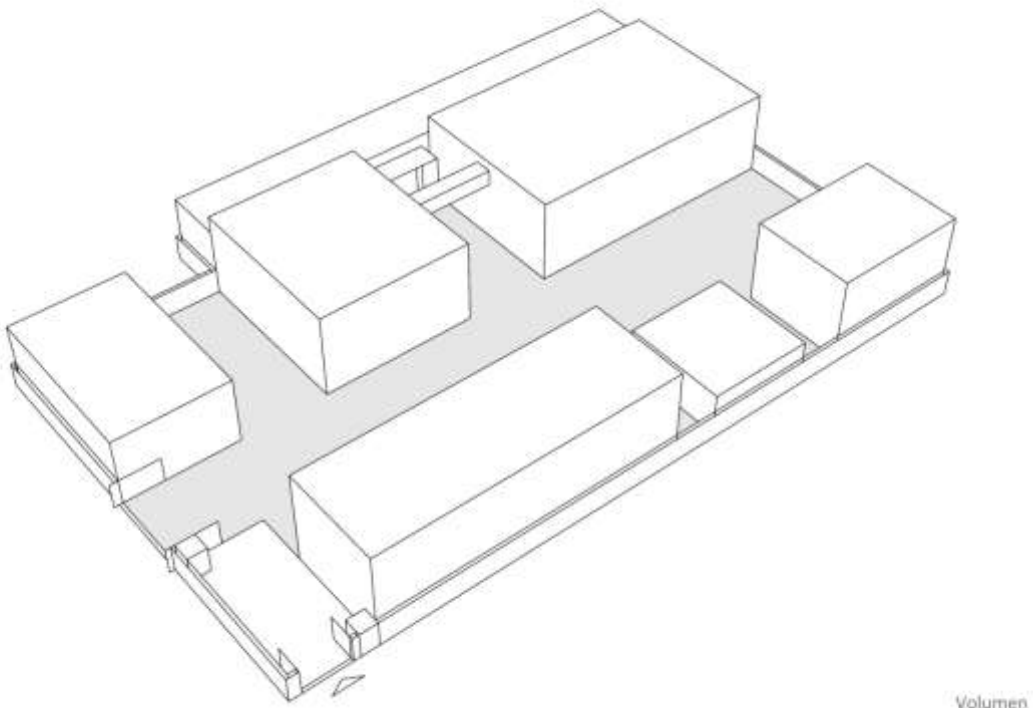


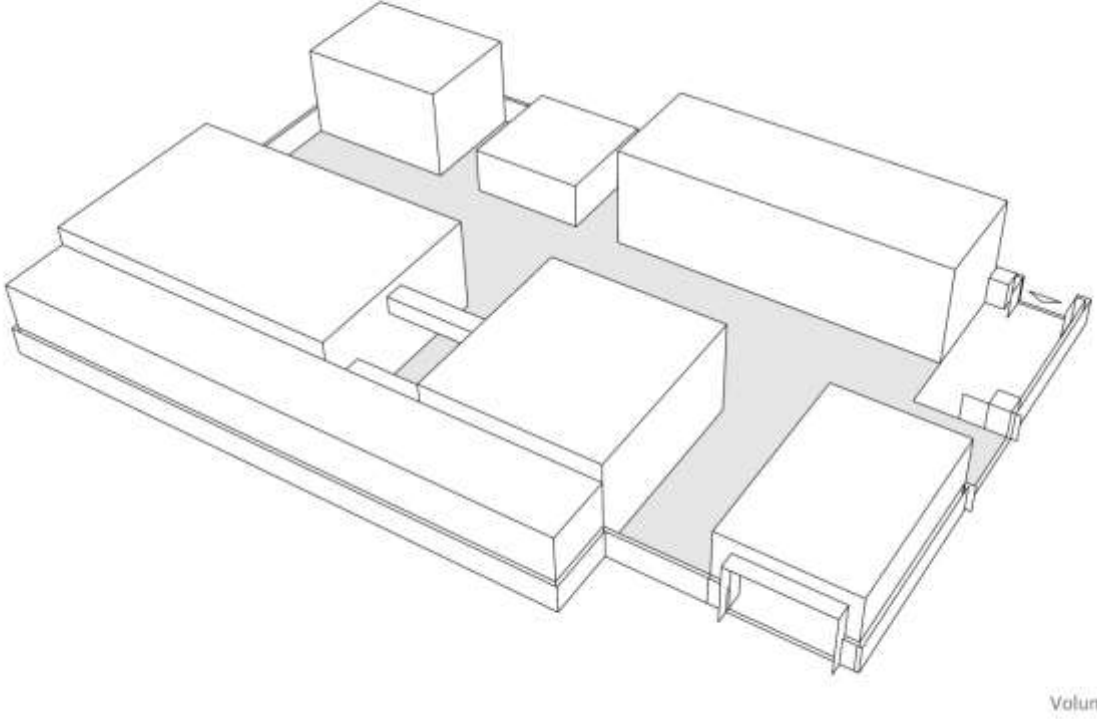
Fig 25. Mapa de la planta-cotas (en metros)

Cotas de planta
e: 1/500



Volumen

Fig 26. Vista delantera de la planta



Volumen

Fig 27. Vista trasera de la planta

Situación de la planta

La idea es que la planta se encuentre situada en el polígono industrial de Escombreras, en el municipio de Cartagena.

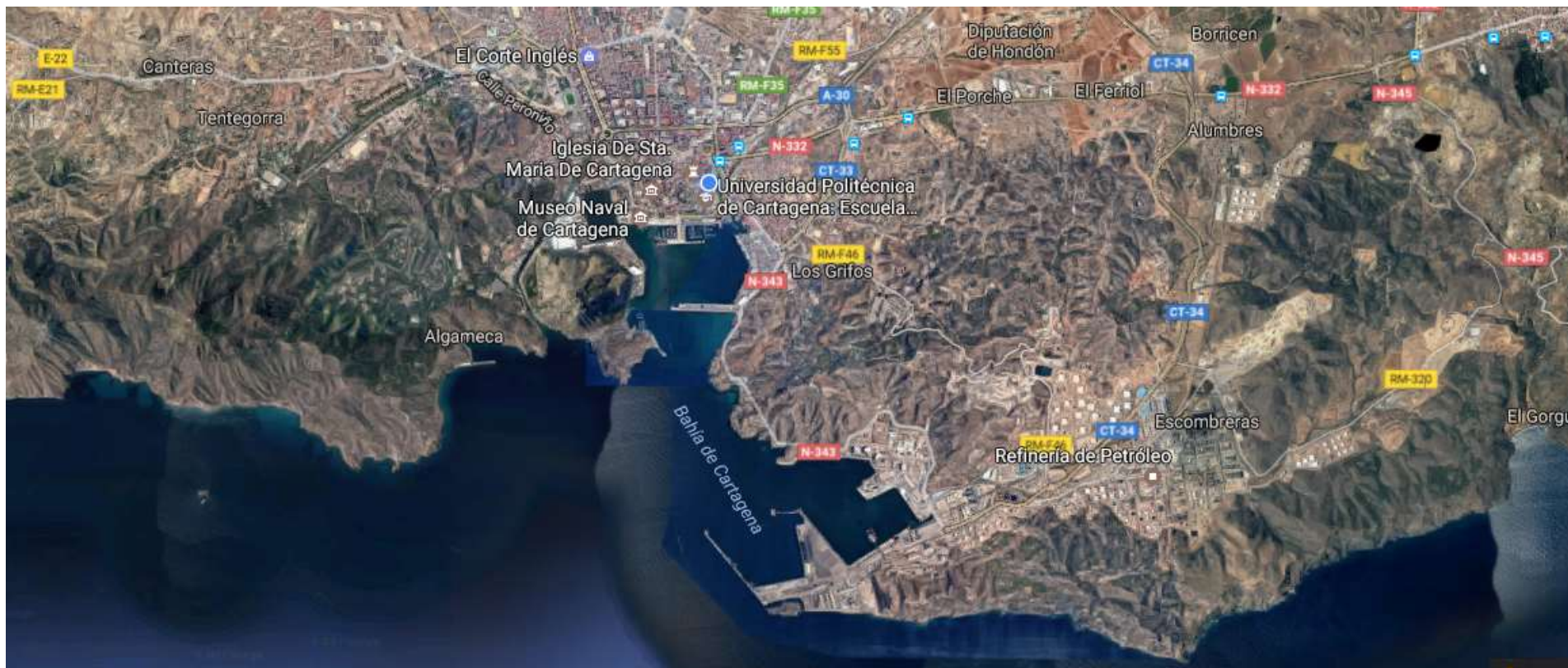


Fig 28. Mapa geográfico de la costa de Cartagena (España)

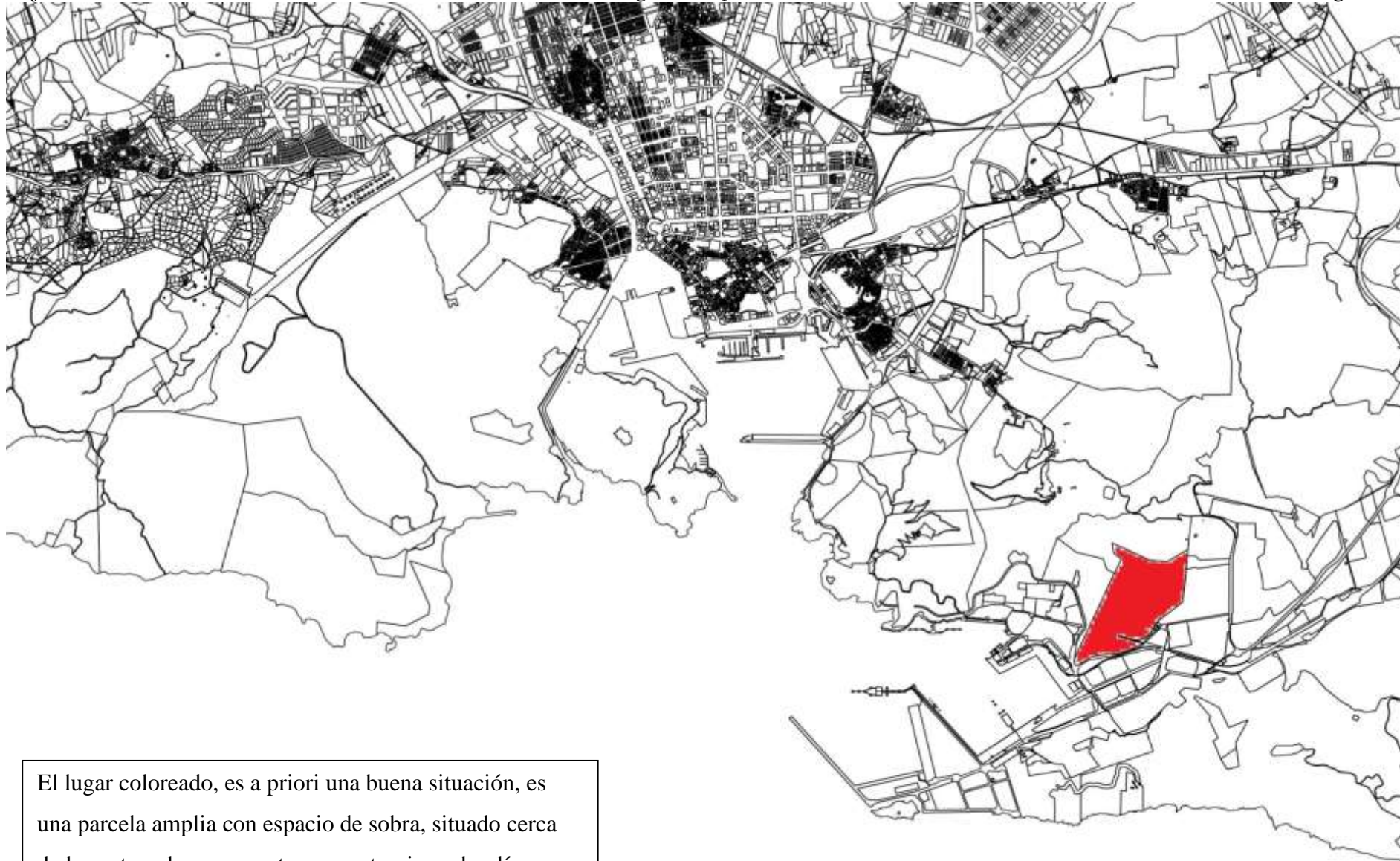
Para ello necesitamos encontrar una zona que cumpla los siguientes requisitos:

Accesibilidad aceptable, es decir, carreteras que permitan la comunicación con el lugar y puedan ser transitables por camiones.

Dimensiones suficientes para poder construir la planta y posibles ampliaciones de ésta (aproximadamente unos 120x100 m²).

Suelo urbanizable, es decir, necesitaremos una zona parcialmente llana o con posibilidad de allanarla, no nos valen zonas montañosas.

Con estas condiciones, y basándonos en el catastro de esta zona en concreto, buscamos alguna parcela que cumpla con las especificaciones.



El lugar coloreado, es a priori una buena situación, es una parcela amplia con espacio de sobra, situado cerca de la costa y de una carretera que atraviesa el polígono industrial, ahora necesitamos comprobar que es un buen suelo para edificar.

Fig 29. Catastro de la costa de Cartagena (España)

Escala 1:40000



Fig 30. Mapa geográfico con la situación confirmada del emplazamiento

Comprobamos a partir de una vista satélite proporcionada por la aplicación de “Google Maps” que el terreno no es llano, pero es bueno para la edificación, ya que solo requiere un pretratamiento previo (allanar, desbrozar, nivelar, etc) para poder situar la planta.

*Las coordenadas del emplazamiento (por google maps)son las siguientes:
37.57194, -0.9497708.*

Conclusiones

La finalidad de este proyecto era la de estudiar la viabilidad del proceso de producción del trifluoruro de cloro, para ello se ha escogido un mecanismo de reacción totalmente válido en el que se generan subproductos en diversas etapas del proceso. Cada uno de estos subproductos además del producto principal presentan inconvenientes debido a que algunos son productos explosivos, otros tienen legislaciones específicas a la hora del almacenamiento y de emisiones al exterior.

La primera problemática que nos encontramos en el proceso es que las presiones a las que se llevan a cabo las reacciones son presiones bajas, necesitando para esto un diseño del proceso que nos asegure tener vacío en todo el proceso prácticamente, para ello se han usado unos compresores específicos que ya nos obligaría a tener que realizar un desembolso significativo.

La segunda problemática que nos encontramos es el almacenamiento y el control de emisiones, para no tener que diseñar un sistema específico para cada uno de los productos se optó por diseñar una sistema de almacenamiento y un sistema de atmósfera inerte para evitar problemas de legislación siendo este bastante caro.

La tercera problemática está relacionada con la separación de los productos, ya que, no podíamos elevar demasiado la temperatura en diversos puntos del proceso en los que estuviera involucrados el ClF ni el ClF₃ ya que esto ocasionaría riesgos debido a la alta explosividad y peligrosidad de estos compuestos, por lo que se necesitó del equipamiento de varios sistemas de intercambio de calor bastante diferentes lo que nos exigía otro gran desembolso para asegurar el buen funcionamiento del proceso.

La cuarta problemática está ligada con la segunda, pero en este caso, referida a las líneas, ya que, al tener en las tuberías compuestos peligrosos y muy

corrosivos para los materiales de diseño corrientes, se necesitó de la elaboración de un sistema de doble tubería específico para evitar fugas y poder tenerlas retenidas hasta la reparación de la tubería, siendo este diseño tan específico también caro al ser único de la planta en cuestión.

El quinto problema que podemos encontrar es la baja producción que tiene la planta, esta es debida a que el mecanismo escogido, aunque a priori es sencillo, tiene asociadas unas cinéticas muy bajas, esto provoca que necesitemos reactores muy grandes para producir pequeñas cantidades de nuestro producto principal, siendo inviable económicamente y físicamente el diseño de estos reactores (millones y millones de m^3 de reactores).

El sexto problema está asociado a la presencia de otro equipo muy específico que son los reactores ultravioleta, estos son equipos bastante caros, los cuales, nos vemos obligados a usar por la cinética del proceso.

Como vemos, es totalmente inviable la elaboración de esta planta, dado que, aunque teóricamente se pueda diseñar, es obvio por lo ya citado anteriormente que además de ser físicamente imposible de construir equipos para este proceso, aún pudiéndose construir los gastos asociados a este proceso en términos de medidas de seguridad sería totalmente inviable económicamente para ninguna empresa.

Anexos 1: Fichas de seguridad

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TRIFLUORURO DE CLORO

ICSC: 0656

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Desprende humos altamente tóxicos en caso de incendio. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con agua.	En caso de incendio en el entorno: AGENTES NO ACUOSOS.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con agua o materiales orgánicos.		En caso de incendio: mantener fría la botella por pulverización con agua pero NO en contacto directo con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Tos, dolor de garganta, dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de <u>semiincorporado</u> y someter a atención médica.
• PIEL	Sensación de quemazón, graves quemaduras cutáneas. <u>EN CONTACTO CON EL LIQUIDO: CONGELACION.</u>	Guantes aislantes del frío, traje de protección.	<u>EN CASO DE CONGELACION:</u> aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa y solicitar atención médica.
• OJOS	Pérdida permanente de visión, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro, consultar a un experto. Ventilación. Detener el flujo de gas. Si la fuga no pudiera ser detenida en el lugar, trasladar la botella al aire libre y dejar que se vacíe. (Protección personal adicional: traje de protección completa <u>ESPECIFICO</u> y <u>RECOMENDADO COMO EFECTIVO CONTRA EL CIF3</u> incluyendo equipo autónomo de respiración.	A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos; separado de sustancias combustibles y reductoras. Mantener en lugar frío y seco.	NO transportar con alimentos y piensos y materiales combustibles. Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios NU: 5.1; 8	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
<p>ICSC: 0656 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994</p>			



Fichas Internacionales de Seguridad Química

TRIFLUORURO DE CLORO

ICSC: 0656

D A T O S S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Gas licuado comprimido casi incoloro, de olor <u>característico</u> . En estado líquido es de color <u>amarillo-verdoso</u> . En estado sólido es blanco.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.
	PELIGROS FISICOS El gas es más denso que el aire y corrosivo.	RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone por encima de 220°C produciendo gases tóxicos (compuestos de cloro y flúor). Reacciona violentamente con agua, arena, compuestos conteniendo <u>silicona</u> , <u>vidrio</u> y <u>amianto</u> ; reacciona con todas formas de <u>plásticos</u> , <u>caucho</u> , y <u>resinas</u> , excepto los polímeros altamente <u>fluorados</u> . En contacto con esta sustancia la mayoría de materiales <u>combustibles</u> se inflaman espontáneamente. Reacciona violentamente con materiales oxidables, metales y óxidos metálicos. Explota en contacto con materiales orgánicos. Desprende humos altamente tóxicos en contacto con ácidos.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como valor TECHO): 0.1 ppm; 0.38 mg/m ³ (ACGIH 1990-1991).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 12°C Punto de fusión: -76°C Densidad relativa (agua = 1): 3.14	Solubilidad en agua: Reacciona Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.18
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Una limpieza a fondo con un gas inerte debería preceder a la apertura de cualquier aparato que haya contenido <u>trifluoruro</u> de cloro. Densidad del líquido en el punto de ebullición: 1.77 kg/l. Reacciona violentamente con agentes extintores de incendio tales como agua. El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición durante el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello <u>imprescindibles</u>. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Tarjeta de emergencia de transporte (<u>Transport Emergency Card</u>): TEC (R)-20G10</p>		
Código NFPA: H 4; F 0; R 3;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-196 TRIFLUORURO DE CLORO		TRIFLUORURO DE CLORO
ICSC: 0656		© CCE, IPCS, 1994
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

Fichas Internacionales de Seguridad Química


FLUOR		IC SC: 0046 Octubre 2001	
CAS:	7782-41-4	F ₂	
RTEC S:	LM6475000	Masa molecular: 38.0	
NU:	1045		
CE Índice Anexo I:	009-001-00-0		
CE / EINEC S:	231-954-8		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICION	PELIGROS AGUDOS / SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con agua, combustibles y agentes reductores (ver Peligros Químicos).	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, dióxido de carbono (ver Notas).
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con muchas sustancias (ver Peligros Químicos).		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido. (Ver Notas).
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Sensación de quemazón. Tos. Dolor de garganta. Jadeo. Dificultad respiratoria. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas. EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACION.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Traje hermético de protección química, incluyendo aparato autónomo de respiración.		Clasificación UE Símbolo: T+, C R: 7-26-35 S: (1/2)-9-26-36/37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2,3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 5,1, 8	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1TOC Código NFPA: H 4; F 0; R 4; W		A prueba de incendio si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco.	
			
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005			

VEASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

FLUOR		ICSC: 0046
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas comprimido amarillo, de olor acre.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El gas es más denso que el aire.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. Reacciona violentamente con agua produciendo vapores tóxicos y corrosivos: ozono (ver ICSC 0068) y ácido fluorhídrico (ver ICSC 0283). Reacciona violentamente con amoníaco, metales, oxidantes, y otros muchos materiales, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 1 ppm (como TWA); 2 ppm (como STEL) (ACGIH 2004). MAK: 11b (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2005).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar (véanse Notas). El líquido puede producir congelación. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -188°C Punto de fusión: -219°C Solubilidad en agua: reacciona Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.3</p>		
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Reacciona violentamente con agentes extintores de incendio tales como agua. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2016):</p> <p>VLA-ED: 1 ppm; 1,6 mg/m³ VLA-EC: 2 ppm; 3,2 mg/m³</p> <p>Notas: agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE.</p> <p>VLB: 2 mg/l de fluoruros en orina (antes de la jornada laboral); 3 mg/l de fluoruros en orina (final de la jornada laboral). Notas F, I.</p>		
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROGENO		IC SC: 0001 Marzo 2002	
CAS:	1333-74-0	H ₂	
RTECS:	MW8900000	Masa molecular: 2.0	
NU:	1049		
CE Índice Anexo I:	001-001-00-9		
CE / EINECS:	215-605-7		

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICION	PELIGROS AGUDOS / SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. No manipular las botellas con las manos grasientas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICION			
Inhalación	Asfixia.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Congelación grave.	Guantes aislantes del frío.	Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Gafas de protección de seguridad.	
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Eliminar toda fuente de ignición. Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar el vapor con agua pulverizada.	Clasificación UE Símbolo: F+ R: 12 S: (2)-9-16-33 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.1

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1049 Código NFPA: H 0; F 4; R 0;	A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.



IPCS International Programme on Chemical Safety 			
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROGENO		ICSC: 0001
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas comprimido inodoro e incoloro.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. El gas es más ligero que el aire.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con aire, oxígeno, halógenos y oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Los metales catalizadores tales como el platino o el níquel aumentan este tipo de reacciones.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: asfixiante simple (ACGIH 2002).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: Asfixiante simple. Véanse Notas.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -253°C Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.07</p>	<p>Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 500-571°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4-76</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Medir concentraciones de hidrógeno con un detector de gas adecuado (un detector de gas inflamable normal no es adecuado).</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>Notas: Asfixiante simple</p>		
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLOORO		ICSC: 0126 Marzo 2009	
CAS: 7782-50-5 RTECS: FO2100000 NU: 1017 CE Índice Anexo I: 017-001-00-7 CE / EINECS: 231-959-5		 Cl_2 Masa molecular: 70.9	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con materiales incompatibles (ver Peligros Químicos).	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles (ver Peligros Químicos).	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Jadeo. Sibilancia. Dificultad respiratoria. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Protección respiratoria. Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio y reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica. Respiración artificial si estuviera indicada. Ver Notas.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN. Enrojecimiento. Sensación de quemazón. Dolor. Quemaduras cutáneas.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante durante 15 minutos como mínimo, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Lacrimógeno. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras.	Pantalla facial y protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
<p>¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Protección personal: traje hermético de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Cerrar la botella, si es posible; aislar y ventilar el área hasta que el gas se disperse. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. Eliminar el gas con agua pulverizada. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.</p>		<p>Botella especial con aislamiento. Contaminante marino. Clasificación UE Símbolo: T, N R: 23-36/37/38-50 S: (1/2)-9-45-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 8 Clasificación GHS Peligro Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta. Mortal si se inhala el gas. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Puede causar daños en los pulmones en caso de una exposición prolongada o repetida, si es inhalado. Muy tóxico para los organismos acuáticos.</p>	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H4; F0; R0; OX		A prueba de incendio, si está en local cerrado. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de alimentos y piensos (Ver Peligros Químicos). Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2009			
			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLORO		ICSC: 0126
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Gas licuado en estado comprimido, de color entre verde y amarillo, y de olor acre.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El gas es más denso que el aire.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La disolución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia reacciona con la mayoría de los compuestos orgánicos e inorgánicos, causando peligro de incendio y explosión. Ataca a los metales, algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.5 ppm como TWA, 1 ppm como STEL; A4 (no clasificable como cancerígeno humano); (ACGIH 2009). LEP UE: 0.5 ppm, 1.5 mg/m³ como STEL (EU 2006).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Al producirse una pérdida de gas, se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Lacrimógeno. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación puede originar reacciones asmáticas, neumonitis y edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias. (Ver Notas). La exposición puede producir la muerte.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al tracto respiratorio y a los pulmones, dando lugar a inflamaciones crónicas y alteraciones funcionales. La sustancia puede afectar a los dientes, dando lugar a erosión dental.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -34°C Punto de fusión: -101°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.7 Presión de vapor, kPa a 20°C: 673 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.5</p>		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. La alerta por el olor cuando se supera el límite de exposición es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, de una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-EC: 0,5 ppm, 1,5 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2009		

Anexos 2: Legislación utilizada

-Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

-Real Decreto 1618/1980, de 4 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.

-Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

-Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002.

-Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

-Instrucción técnica complementaria del Reglamento de Aparatos a Presión ITC-MIE- AP17: Instalaciones de Tratamiento y Almacenamiento de Aire Comprimido.

-Real Decreto 769/1999, por el cual se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 97/23/CE, relativa a los equipos de presión, y se modifica el Real Decreto 1244/1979, por el cual se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión.

-Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.

-Real Decreto 2429/79, de 6 de Julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.

-Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88, sobre condiciones acústicas

en los edificios.

-Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

-Real Decreto 1618/1980, de 4 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.

-NTE-CSC/1984, normativa técnica de la edificación en cimentaciones superficiales, corridas.

-NTE-CSL/1984, normativa técnica de la edificación en cimentaciones superficiales, losas.

-NTE-CSZ/1986, normativa técnica de la edificación en cimentaciones superficiales, zapatas.

-Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.

- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo

Bibliografía

-Boletín Oficial del Estado [en línea]. Disponible en:
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-8633

-Calentadores de inmersión [en línea]. [Consulta: 12-04-2017]. Disponible en:
<http://wattco.mx/calefactores-de-inmersion.html>

-Calderas, generadores de vapor, hornos y secaderos en Eficiencia energética [en línea]. [Consulta: 12-04-2017]. Disponible en:
http://www.eoi.es/wiki/index.php/Calderas,_generadores_de_vapor,_hornos_y_secaderos_en_Eficiencia_energ%C3%A9tica#Calderas_y_generadores_de_vapor

-Características de la radiación UV [en línea]. [Consulta: 21-05-2017]. Disponible en:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_d_z/capitulo2.pdf

-Cerca del cero absoluto [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en:
<https://www.unizar.es/icma/divulgacion/enfriambate.html>

-Chemistry: principles and practice [en línea]. [Consulta: 21-03-2017]. Disponible en:
<http://www.chegg.com/homework-help/compound-clf3-reacts-solid-uranium-produce-volatile-compound-chapter-9-problem-107ce-solution-9780495787440-exc>.

-ClF₃ utilizado como arma [en línea]. [Consulta: 16-03-2017]. Disponible en:
<http://www.forosegundaguerra.com/viewtopic.php?t=2424>

-¿Cómo crear frío? El Ciclo de Refrigeración [en línea]. [Consulta: 04-05-2017]. Disponible en: <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/02/09/como-crear-frio-el-ciclo-de-refrigeracion-12/>

-Conversión de Cloro a Desinfección UV [en línea]. [Consulta: 21-05-2017]. Disponible en: <http://www.trojanuv.com/es/aplicaciones/aguas-residuales/conversi%C3%B3n-de-cloro-a-desinfecci%C3%B3n-uv>

-Curso de vacío [en línea]. [Consulta: 15-05-2017]. Disponible en: <http://www.uhv.es/sites/milka/doc/Curso%20de%20vacio%20Tecnovac.pdf>

-DELGADO, G. (2016). Proyectos de ingeniería: apuntes de clase. Material no publicado.

-DE MIGUEL, B. Y LEÓN, G. (2015). Ingeniería de la reacción química: apuntes de clase. Material no publicado.

-Depósitos criogénicos [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en: http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/05/docs/Areas/SeguridadIndustrial/EquiposPresion/InformacionInteres/TTC_EP4_DEPOSITOS_CRIOGENICOS.pdf

-Depósitos criogénicos para almacenamiento de CO₂ [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en: <http://www.lapesa.es/sites/default/files/documentos/gnle60.pdf>

-Diseño íntegro de las instalaciones de una nave industrial [En línea]. [Consulta: 15-05-2017]. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/540pub.pdf>

-FERRUZ, R.; PEÑA, J. A., y SANTAMARÍA, J. Peligrosidad en instalaciones de manejo de cloro [en línea]. Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Zaragoza. [Consulta: 06-04-2017]. Disponible en: https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1020430

-Fichas Internacionales de Seguridad Química [en línea]. [Consulta: 15-05-2017]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0001.pdf>

-Fichas internacionales de Seguridad Química [en línea]. [Consulta: 15-05-2017]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/101a200/nspn0126.pdf>

-GARRIDO NÁJERA, E. Líquidos criogénicos [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en: https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/curso_criogenicos.pdf

-GODÍNEZ, C. (2015). Operaciones de Separación: apuntes de clase. Material no publicado.

-GONZÁLEZ PÉREZ, R. Criogenia: Cálculo de equipos. Recipientes a presión [en línea]. Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 9788499698755. [Consulta: 07-04-2017] Disponible en: <http://www.editdiazdesantos.com/libros/gonzalez-perez-rogelio-criogenia-calculo-de-equipos-recipientes-a-presion-L27005150102.html>

-General Chemistry [en línea]. [Consulta: 16-03-2017]. Disponible en: http://www.vias.org/genchem/physprop_12595_02.html

-Equipos para operaciones gas-líquido [en línea]. [Consulta: 27-04-2017]. Disponible en: <https://prezi.com/heflwxy26eh/equipos-de-separacion-gas-liquidos/>

-Hornos y combustión [en línea]. [Consulta: 12-04-2017]. Disponible en: <http://operadorpetrolero.blogspot.com.es/2015/01/hornos-y-combustion.html>

-Normativas: acceso a textos legales [en línea]. [Consulta: 15-05-2017]. Disponible en: <http://www.solerpalau.es/es-es/normativas/>

-PÉREZ, P. Y GARCÍA, A. (2016). Instalaciones de fluidos y equipos térmicos: apuntes de clase. Material no publicado.

-PETRUCCI, HARWOOD y HERRING (2003) Química General. 8va Ed. Pearson Educacion -Prentice Hall.

-Prevención de riesgos laborales [en línea]. [Consulta: 28-04-2017]. Disponible en: http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/laboratorios/prevencion_riesgos_laborales/manual/gases_botellas_botellones

-Prevención y extinción de incendios de hidrógeno [en línea]. [Consulta: 06-04-2017]. Disponible en: http://www.energiasostenible.net/prevencion_extincion_hidrogeno.htm

-¿Qué es un extintor de fuego de nitrógeno comprimido? [En línea]. [Consulta: 06-04-2017]. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/extintor-fuego-nitrogeno-comprimido-hechos_271158/

-Reactor ultravioleta para procesos fotoquímicos [en línea]. [Consulta: 21-05-2017]. Disponible en: https://www.heraeus.com/es/hng/products_and_solutions/uv_lamps_and_systems/micro_photoreactors.aspx

-Recuperación y purificación de hidrógeno [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/353-recuperacion-y-purificacion-de-hidrogeno>

-SAN ROMAN, ENRIQUE A. *"Estudio cinético de la formación fotoquímica de mono- y trifluoruro de cloro en el sistema fluor-cloro-monofluoruro de cloro"* (1977) [en línea].

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. [Consulta: 04-05-2017]. Disponible en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1534_SanRoman.pdf

-Secadero/Enfriador de Doble Eje de Palas GPD [en línea]. [Consulta: 04-05-2017]. Disponible en: <http://www.ingetecsa.com/es/procesos/enfriar.html>

-SINNOTT, R. Y TOWLER, G. (2003) Diseño en ingeniería química 5 Ed. BH ISBN: 9788429171990

-Tanques criogénicos [en línea]. [Consulta: 07-04-2017]. Disponible en: <http://www.infrasal.com/gases/formas-de-suministro/tanques-criogenicos>

-Trifluoruro de cloro: Producto químico que fija el fuego al asbesto en contacto [en línea]. [Consulta: 16-03-2017]. Disponible en: <http://www.bognorphoto.com/trifluoruro-de-cloro-producto-quimico-que-fija-el-fuego-al-asbesto-en-contacto.html>

-ZUECO, J. (2015). Termodinámica aplicada: apuntes de clase. Material no publicado.