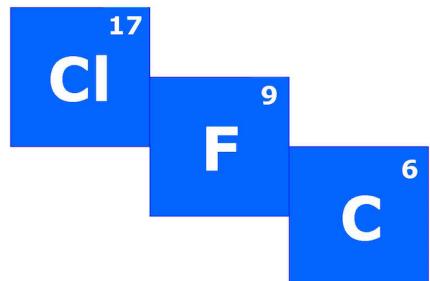


PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREÓN-13



CFC Chemical



PROYECTO FINAL DE GRADO
ESCOLA D'ENGINYERIA, UAB

Blanca Camps Fadulla
André González Coindreau
Aziza el Haddouchi
Sergio Mendoza Wendorff
Borja Solís Duran
Tutor: Antoni Sánchez Ferrer



Junio 2015

APARTADO 1

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

ÍNDICE

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	4
1.1.1. OBJECTIVOS	4
1.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	4
1.1.3. BASES DEL DISEÑO	4
1.1.4. ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN.....	5
1.1.5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	5
1.1.5.1. PARÁMETROS DE EDIFICACIÓN Y PLANO DE LA PARCELA...	5
1.1.5.2. EVALUACIÓN DE LAS COMUNICACIONES Y ACCESIBILIDAD DE LA PLANTA.....	7
1.1.5.3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO DE LA ZONA.....	9
1.1.5.3.1. CLIMATOLOGIA	9
1.1.5.3.2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA	11
1.1.5.3.3. HIDROLOGÍA	15
1.1.5.3.4. SISMOLOGÍA.....	17
1.1.6. NOMENCLATURA DE LA MEMORIA.....	19
1.2. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA.....	22
1.2.5. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LA PLANTA	22
1.2.6. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS	22
1.2.7. PLANTILLA DE TRABAJADORES.....	28
1.2.8. PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA	31
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS.....	35
1.3.5. REACTIVOS (I): CCl ₄	35
1.3.6. REACTIVOS (II): HF	36
1.3.7. SUBPRODUCTOS (I): CCl ₂ F ₂	37
1.3.8. SUBPRODUCTOS (II): CCl ₃ F	38
1.3.9. PRODUCTOS (I): CClF ₃	39

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.10. PRODUCTOS(II): HCl	40
1.3.11. CATALIZADOR (I): SbCl ₅	40
1.3.12. CATALIZADOR (II): AlCl ₃	44
1.3.13. SOPORTE CATALIZADOR (I): SIO ₂	46
1.4. APLICACIONES DEL FREON-13	47
1.5. RUTAS DE SÍNTESIS DEL FREON-13.....	48
1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	50
1.7. BALANCES DE MATERIA	55
1.8. SERVICIOS DE PLANTA	66
1.8.5. EQUIPOS DE TÉRMICOS.....	66
1.8.5.3. TORRE DE REFRIGERACIÓN	74
1.8.5.4. EQUIPOS CHILLER.....	78
1.8.5.5. CALDERA.....	80
1.8.6. NITROGENO DE INERTIZACIÓN	89
1.8.7. AIRE COMPRIMIDO.....	89
1.8.8. DESCALCIFICADOR	92
1.8.9. ELECTRICIDAD	92
1.8.9.3. TRANSFORMADOR ELÉCTRICO.....	92
1.8.9.4. GRUPO ELECTRÓGENO.....	95
1.8.10. PESAJE	97
1.8.11. CONSUMOS	98
1.8.11.3. GAS NATURAL.....	98
1.8.11.4. ENERGÍA ELÉCTRICA	98
1.8.11.5. AGUA DE RED	98
1.8.11.6. NITRÓGENO.....	98

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. OBJECTIVOS

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta química que produce 10.000 toneladas al año de FREON-13 a partir de CCl_4 y HF.

Se presenta un estudio de viabilidad de la construcción y operación de la planta siempre bajo el cumplimiento de la normativa y legislación vigente.

1.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

En la realización del proyecto se incluirán los siguientes aspectos:

- Diseño y especificación de los equipos de proceso.
- Diseño y especificación de las unidades de control del proceso.
- Diseño y especificación del sistema de seguridad e higiene de la planta.
- Estudio de la puesta en marcha, parada y operación de la planta.
- Estudio medioambiental y diseño de procesos de tratamiento de residuos.
- Cumplimiento de las normativas y disposiciones legales vigentes.
- Análisis económico del proyecto.

1.1.3. BASES DEL DISEÑO

El proyecto que se detalla a continuación contempla las siguientes áreas:

- Unidades de proceso y reacción para la producción y purificación del FREON-13.
- Unidades de almacenamiento de materias primas y estación de carga y descarga.
- Almacenamiento del producto acabado.
- Áreas de servicios.
- Oficinas, laboratorios y vestuarios.
- Áreas auxiliares: aparcamientos, control de accesos, contra incendios, depuración de aguas y gases.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1.4. ESPECIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN

- Capacidad: 10.000 Tm/año de FREON-13.
- Funcionamiento: 300 días/año de producción.
- Presentación: Líquido en depósitos de almacenamiento.

1.1.5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

El proyecto se realiza en una parcela de 70.095 m² sobre un terreno situado en el Polígono Industrial Gasos Nobles del municipio de Sabadell. Esta situación permitirá compartir una serie de servicios con otras plantas situadas en el polígono y, a la vez, estar cerca de posibles compradores del producto acabado. Por otro lado, existen ventajas a nivel social y de permisos, ya que la planta no producirá un impacto ambiental, ni paisajístico destacable.

El municipio de Sabadell es una localidad de 37,8 km² localizada en la comarca del Vallés Occidental, provincia de Barcelona, en Catalunya, al noreste de la península Ibérica (Figura 1.1). Se sitúa a unos 20 km al noroeste de la ciudad de Barcelona.

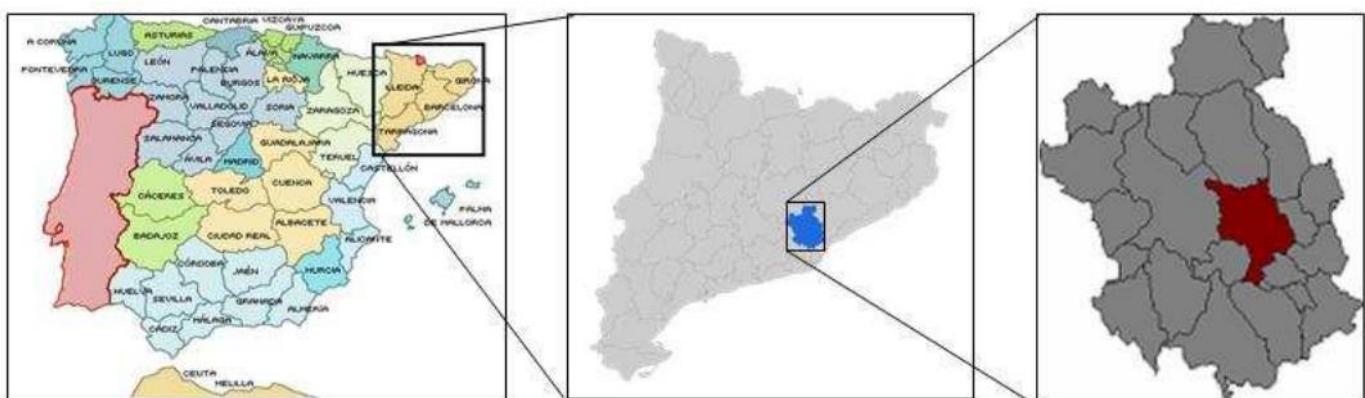


Figura 1.1. Localización geográfica del municipio de Sabadell dentro de la península Ibérica

1.1.5.1. PARÁMETROS DE EDIFICACIÓN Y PLANO DE LA PARCELA

Una vez emplazada la planta química, se tienen que tener en cuenta los parámetros de edificabilidad, a fin de cumplir con la normativa urbanística del polígono

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

industrial, teniendo en cuenta los retranqueos a viales y vecinos, altura de los edificios, ocupación de la parcela y la edificabilidad.

Los parámetros de edificación que contempla el polígono Gasos Nobles se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Especificaciones de la parcela de la planta

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

A continuación (Figura 1.2) se muestra el plano de la parcela donde queda emplazada la planta de producción de Freon-13:

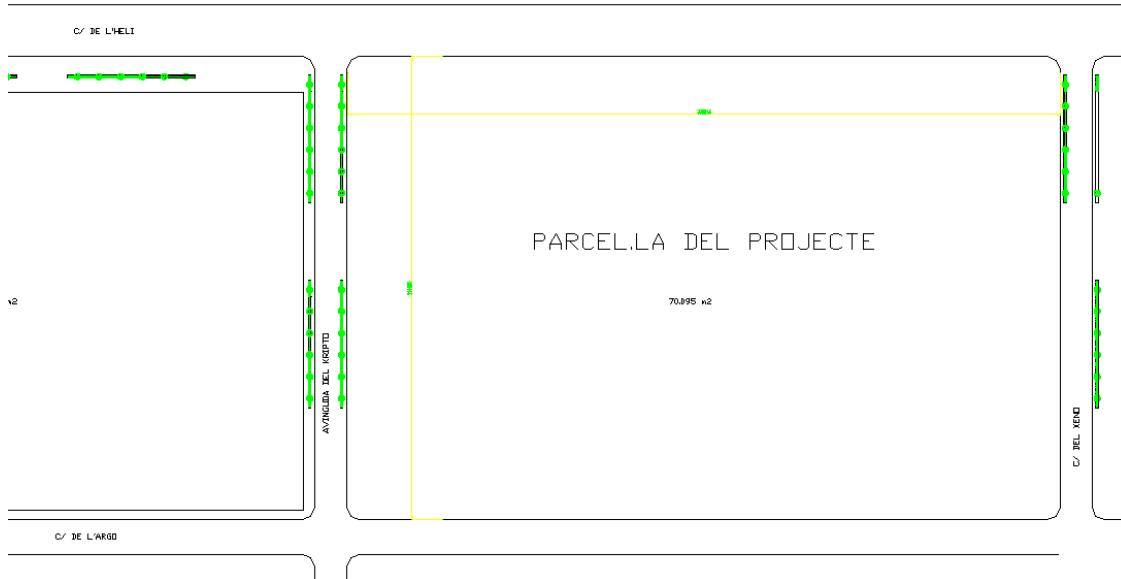


Figura 1.2. Plano de la parcela en el polígono Gasos Nobles

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1.5.2. EVALUACIÓN DE LAS COMUNICACIONES Y ACCESIBILIDAD DE LA PLANTA

La comunicación y la accesibilidad de la planta son de vital importancia para la llegada de las materias primas necesarias, así como para la salida del producto acabado. Es por eso, que es un punto clave en el momento de decidir su emplazamiento.

Con relación al transporte de mercancías relacionado con las actividades industriales y logísticas, éste está actualmente basado casi exclusivamente en el transporte por carretera, con un papel del ferrocarril, aéreo y marítimo meramente testimonial o complementario. A continuación se desglosan con más detalle:

- Comunicación viaria:

Como se ha mencionado, la comunicación terrestre requiere especial atención ya que será la que se usará en mayor medida. Existe una extensa red de carreteras, autovías y autopistas como se observa en la Figura 1.3:



Figura 1.3. Red viaria de carreteras que pasan por Sabadell

Destacan la autopista AP-7 que atraviesa el Vallés conectando con Tarragona y el sur de la Península Ibérica, la autovía A-2 que comunica Barcelona, Lleida, Zaragoza, Gerona y Francia, la carretera nacional N-150, y carreteras autonómicas como la C-58, C-16, C-33, C-1413a, C-1415a y la C-155.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Comunicación ferroviaria:

Una red de comunicaciones es mediante la compañía Renfe con líneas de corto y medio alcance. En Barcelona existen líneas de corto, medio y largo alcance, así como el AVE. Estas comunican con Madrid, el sur de España y hasta el norte de Catalunya y Francia. El corredor mediterráneo avanza paralelo a la costa mediterránea y consiste en un eje de mercancías que permite el tráfico masivo de éstas. Este corredor (Figura 1.4) es una gran infraestructura (3500 km de longitud) que permite un impulso económico y una facilidad de movimientos necesaria para cualquier negocio como el que se propone en el presente proyecto.



Figura 1. 4. Corredor ferroviario del mediterráneo

También se dispone de las infraestructuras de los ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña (FGC), que enlazan Barcelona con otras provincias de Cataluña.

- Comunicación marítima:

Se puede considerar la disponibilidad del puerto de Barcelona que se encuentra a unos 20 km de Sabadell. Este facilita el enlace de Barcelona con el sur de Francia, otros puertos de la península y el resto del mundo. Se cree una vía útil de comunicación. Así también, a 100 km se encuentra el puerto de Tarragona, uno de

los puertos marítimos más importantes de la costa mediterránea. Gran parte de la actividad de este puerto está relacionada con el transporte industrial o de mercancías.

- Comunicación aérea:

Sabadell dispone de un aeropuerto donde, básicamente operan avionetas, pero también se usa para el tráfico de diversas mercancías. Así mismo, también podemos considerar el aeropuerto internacional de Barcelona, situado en el municipio del Prat de Llobregat, a 40 km de Sabadell. Este es uno de los aeropuertos más importantes de España. Tal proximidad supone una gran ventaja para la planta, ya que permite una rápida y fácil movilidad de personas, maquinaria y productos. Las vías de transporte para llegar al aeropuerto desde Sabadell son por carretera o tren.

1.1.5.3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO DE LA ZONA

1.1.5.3.1. CLIMATOLOGIA

El clima de Sabadell es mediterráneo litoral con temperaturas suaves. El invierno está condicionado por la proximidad de las sierras pre litorales, su condición de valle y la disposición del relieve: al ser un llano rodeado de montañas favorece la inversión térmica. La comarca presenta unas precipitaciones anuales con destacadas variaciones de un año a otro y está afectada por las rigurosas sequías veraniegas propias de la zona mediterránea. Sin lugar a dudas, el otoño es la época en la que más llueve.

En la tabla 1.2 se muestran los datos climatológicos más notables de la ciudad, que corresponden al observatorio del parque agrario de Sabadell.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1. 2. Características climatológicas del municipio de Sabadell

Altitud (m)	258
Temperatura media anual (°C)	14,4
Temperatura media de máximas (°C)	20,6
Temperatura media de mínimas (°C)	8,8
Temperatura máxima absoluta (°C)	34,7
Temperatura mínima absoluta (°C)	-3,2
Humedad relativa (%)	72
Precipitación total anual (mm)	563,7
Velocidad media anual del viento (km/h)	7,56
Dirección dominante del viento	Oeste
Irradiación solar global (MJ/m²)	12,9

A continuación se muestra la figura 1.5 donde podemos ver las precipitaciones y la temperatura mensual media de los últimos años en la ciudad de Sabadell.

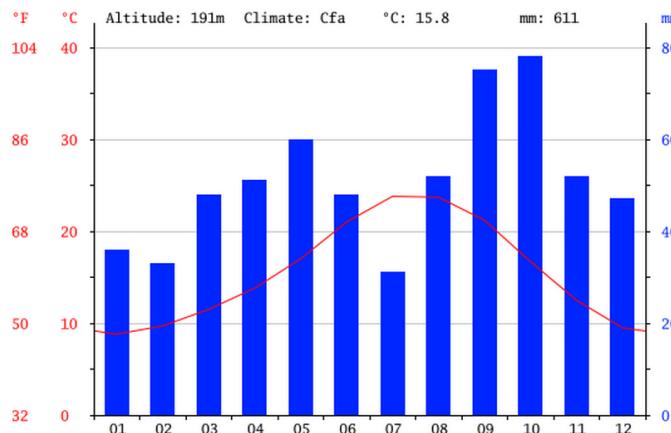


Figura 1.5. Pluviometría del municipio de Sabadell

La figura 1.6 que sigue, muestra la temperatura mensual máxima, mínima y media de los últimos años en la ciudad de Sabadell.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

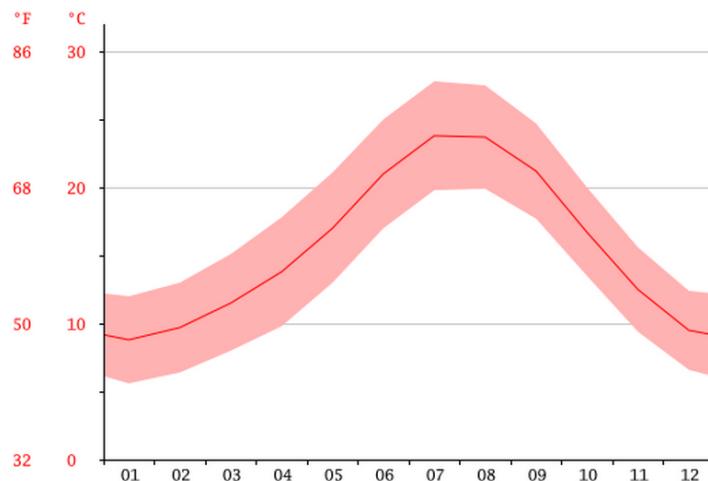


Figura 1. 6. Termometría del municipio de Sabadell

Des del punto de vista industrial, esta información nos orienta sobre las posibles inclemencias ambientales que podemos sufrir a lo largo del año y, por tanto, se tendrán en cuenta a la hora de diseñar equipos y accesorios, sobre todo aquellos que permanezcan a la intemperie.

1.1.5.3.2. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA

Es imposible comprender la evolución de la vida en nuestro planeta sin comprender los procesos geológicos que han tenido lugar en él y como estos han condicionado su desarrollo. Del mismo modo, desde que el hombre apareció en nuestro planeta, su evolución y sus actividades han estado siempre condicionadas por la geología que le rodea. Es por ese motivo que el conocimiento de la geología que rodea el lugar en donde se desea desarrollar una actividad humana concreta es tan importante. A continuación se describe, de manera general, la geología que rodea el emplazamiento de la planta.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Geología y geomorfología:

Desde el punto de vista geológico y geomorfológico, la ciudad de Sabadell se sitúa en medio de la depresión del Vallés-Penedés. Esta depresión constituye el fondo de una fosa tectónica delimitada al sureste por la Sierra Litoral y al noroeste por la Sierra Pre-Litoral, en donde el límite entre la depresión y las sierras, viene marcado en ambos lados por fallas normales. Su expresión geomorfológica genera un relieve de “horst” y “grabben” (el semigrabben del Vallés-Penedés) delimitado por numerosas fallas normales y en donde las zonas deprimidas, como es el caso de la ciudad de Sabadell, han sido rellenadas básicamente por materiales aluviales de edad miocena, procedentes de la erosión de los relieves circundantes y también, en última instancia, por materiales aluviales y fluviales cuaternarios. En la figura 1.7 se muestra un modelo de elevación digital del terreno del Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya en donde se puede apreciar la orografía de la zona.

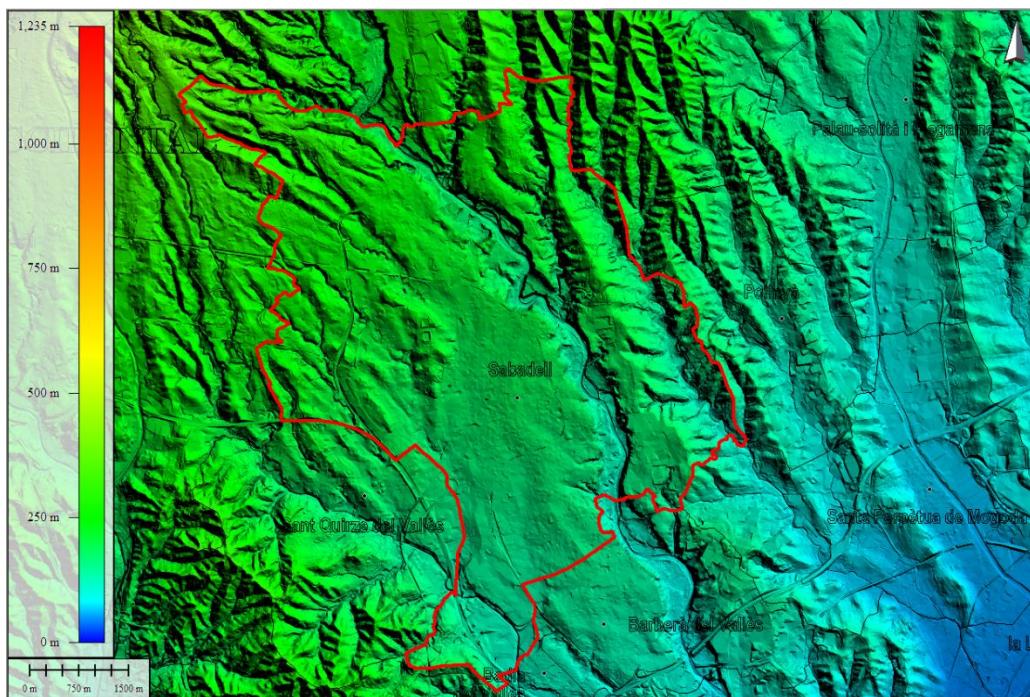


Figura 1.7. Modelo de elevación digital de la orografía de Sabadell

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

En la figura 1.8 (mapa geológico 1:50000 de la zona realizado por Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya) se puede observar con detalle los materiales que constituyen la ciudad de Sabadell. La mayor parte del territorio de la ciudad está situado sobre materiales cuaternarios, con una potencia de unos 30 m, constituidos por gravas de cementación variable, con una matriz arenosa en la base y limos rojizos en el techo, los cuales, corresponden a antiguas terrazas fluviales pliocenas del río Ripoll. En la parte este, estos materiales son substituidos por terrazas fluviales más modernas, también del río Ripoll. Por el contrario, hacia la parte norte y el oeste, los materiales fluviales son sustituidos por gravas, con una matriz limosa o arenosa, cementación variable y de 20 a 30 m de potencia. Estos materiales se depositan sobre conglomerados, areniscas y lutitas, correspondientes a antiguos abanicos aluviales de edad Miocena, que afloran entre los materiales cuaternarios.

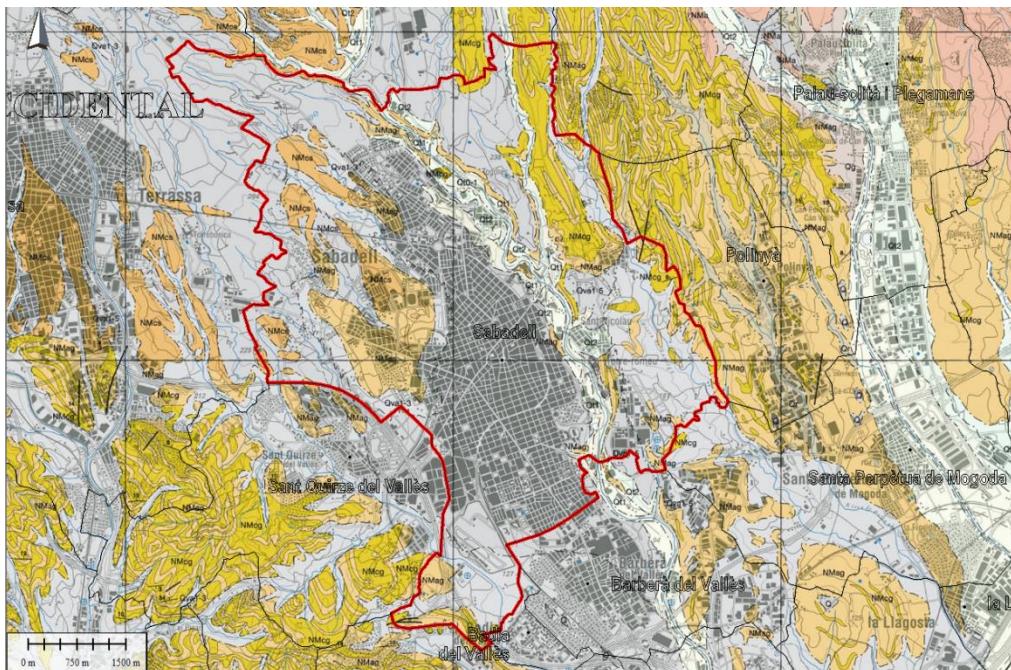


Figura 1.8. Mapa geológico de Sabadell

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Edafología:

En la figura 1.9 se puede apreciar que el suelo del municipio de Sabadell es un cambisól. Éste está constituido por tierras pardas originadas sobre roca ácida, por lo que el perfil del suelo presenta características de ligeramente ácido. Su posición fisiográfica les ha impedido en la mayoría de los casos evolucionar. Concretamente se trata del tipo cambrisól cálcico, el cual se caracteriza por tener una capa mayor de 15 cm de espesor, enriquecida de carbonatos secundarios, en una proporción mayor de 15 %, al menos en los 125 cm superficiales.

Respecto a la fase edáfica, se trata de una fase física superficial, que señala la presencia de fragmentos de roca y materiales cementados, que impiden o limitan el uso agrícola del suelo y el empleo de maquinaria agrícola entre otros aspectos. Concretamente está constituida por una fase gravosa, la cual presenta gravas menores a 7.5 cm de diámetro en la superficie del terreno o dentro de los 30 cm de profundidad.

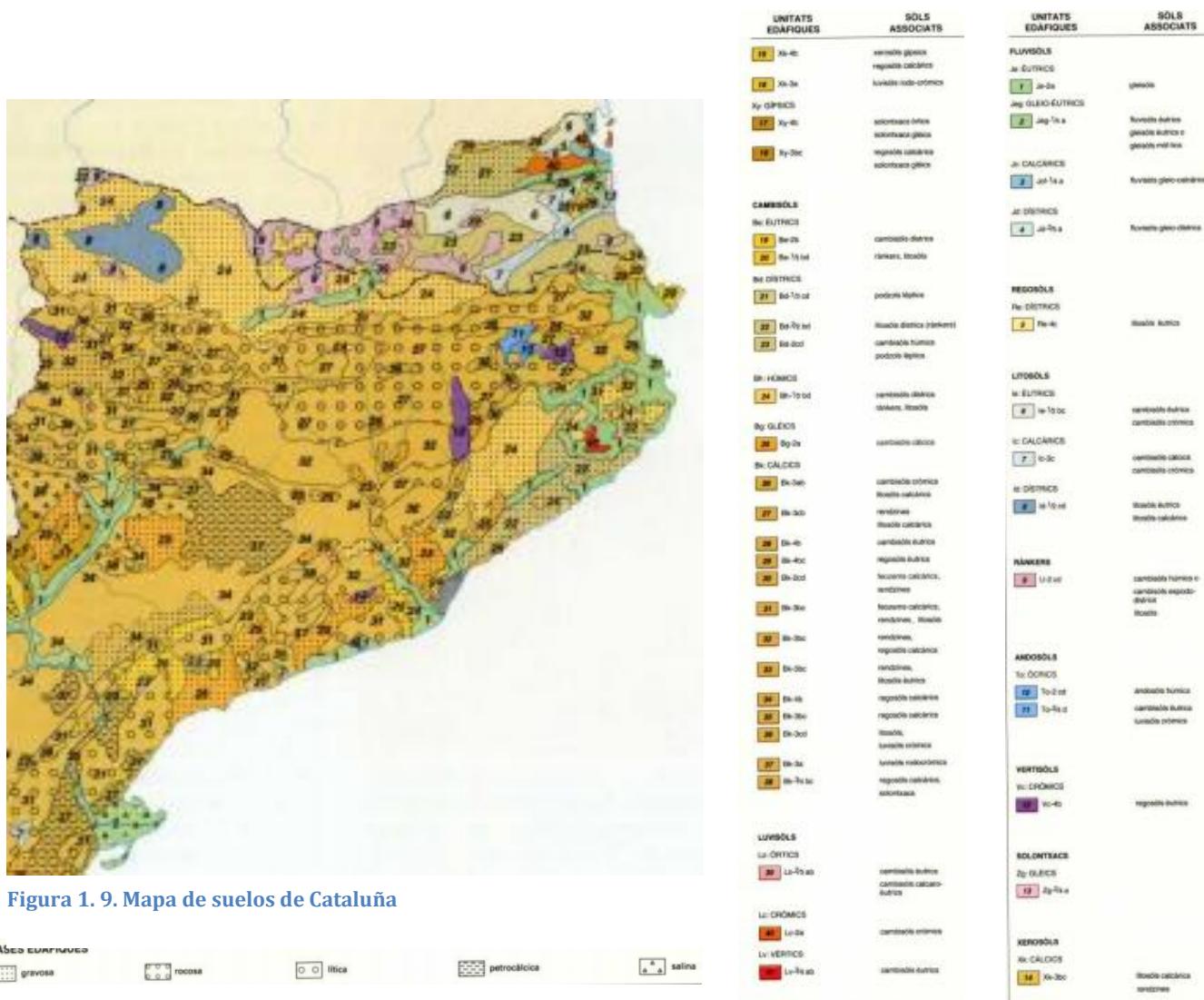


Figura 1. 9. Mapa de suelos de Cataluña

1.1.5.3.3. HIDROLOGÍA

Para analizar la hidrología del municipio de Sabadell, se diferenciará entre aguas subterráneas y aguas superficiales.

- **Hidrologia superficial:**

Son cuatro las cuencas que cruzan de Norte a Sud el municipio de Sabadell. El río Ripoll, a lo largo de 7 km, el río Tort, el torrente de Canyameres que cambia su nombre al de riera Seca y los torrentes de la Betzuca y de la Grípia, que su unión recibe el nombre de río Sec. Los ríos han estado aprovechados durante siglos para la agricultura y posteriormente para la industria.

Fuera de éstas, encontramos también torrentes que se encargan de su drenaje. Torrente de Vallcorba, torrente de Can Vinyals, torrente de Can Font, torrente de Gotelles, torrente de Mornau, torrente de can Bages, torrente de Colobrers o de la Tosca, torrente de la Riereta y torrente de can Llobateres.

Los parámetros de hidrología superficial más significativos son:

- Caudal mensual medio máximo: 87270m³/día (gener 1979)
- Caudal mensual medio mínimo: 2250 m³/día (agost 1978)
- Caudal anual medio a la década: 36350 m³/día
- Caudal anual medio máximo: 50760 m³/día (1982)
- Caudal anual medio mínimo: 18600 m³/día (1978)
- Escorrentía superficial: 0.42 m³/s 13.24 hm³/cm

- **Hidrología subterránea:**

La Riereta pasa buena parte de Sabadell soterrada, dónde se le junta el torrente de Can Feu. Otro torrente importante del Ripoll es sin duda el torrente de Ribatallada, no por el cabal de agua que pueda aportar al Ripoll, sino por la abundancia de agua subterránea que tiene. Durante muchos años la sociedad de Propietarios de la Mina d'Aigües de Sabadell, tenía una de sus principales captaciones, con las que subministraba agua a la ciudad. Todavía se puede contemplar el muro de contención del que fue un antiguo embalse del año 1895. También se observan los

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

pozos que recogen el agua subterránea de este torrente y que se envía a la ciudad para riego.



Figura 1.10. Mapa hidrológico de Sabadell

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta, a la hora de analizar las aguas del municipio de Sabadell, es la dureza de éstas. Como se observa en la figura 1.11, se trata de aguas extremadamente duras. Así, al necesitar en el proceso de producción del refrigerante R13 agua de red, habrá que tener en cuenta algún tipo de equipo de descalcificación.

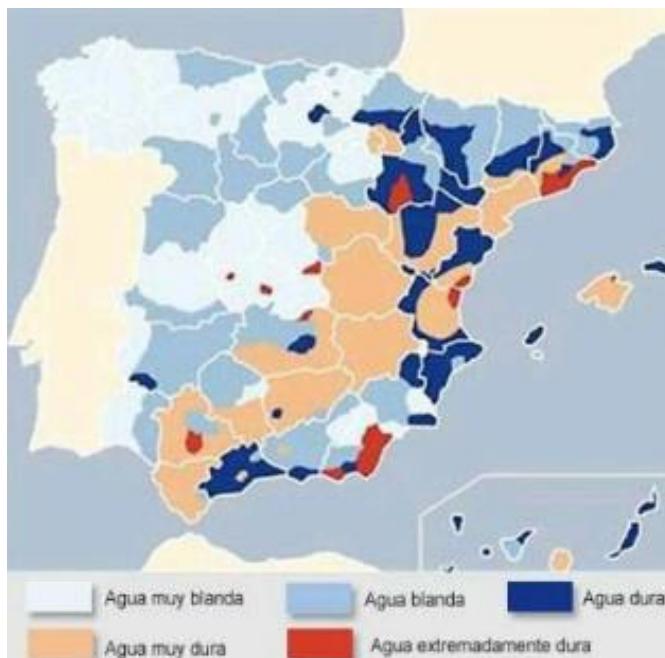


Figura 1.11. Mapa de la dureza del agua (cal) en España

1.1.5.3.4. SISMOLOGÍA

La ocurrencia de grandes terremotos en zonas densamente pobladas o de gran desarrollo industrial produce catastróficas consecuencias. El conocimiento de la sismicidad de un país, o de una región tectónica, y las leyes que rigen su comportamiento, es primordial para llevar a cabo los estudios que determinan la capacidad de los futuros terremotos de producir daños. Esa potencialidad de daño, denominada peligrosidad sísmica, debe ser estudiada y analizada de forma que las edificaciones y obras de ingeniería susceptibles de sufrir pérdidas puedan ser diseñadas y controladas y disminuir así el riesgo a los límites que sean asumibles socialmente.

Los mapas de peligrosidad realizados por el IGN se utilizan en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico a la hora de definir las áreas de aplicación de dicha directriz. Por otro lado, dentro de las competencias del Instituto Geográfico Nacional se encuentra la coordinación de la normativa sismo resistente (NCSE-02) por lo que sus mapas de peligrosidad establecen las

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

zonas y los niveles de aceleración sísmica que hay que considerar al realizar una nueva construcción en territorio español.

A los efectos de esta Norma, de acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

- De importancia moderada: Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.
- De importancia normal: Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.
- De importancia especial: Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que así se consideren en el planteamiento urbanístico y documentos públicos análogos, así como en reglamentaciones más específicas y, los edificios e instalaciones industriales incluidos en el ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

A continuación se muestra el mapa de peligrosidad sísmica de la península Ibérica:

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO



Figura 1.12. Mapa de peligrosidad sísmica

La aceleración sísmica del polígono Gasos nobles, ubicado en el municipio de Sabadell, es de $0.04 \cdot g$. y, además, se trata de una construcción de importancia especial, es decir, un terreno potencialmente inestable.

Nos encontramos en un caso de aplicación de la norma, por lo que se deberán tener en cuenta los posibles efectos del seísmo.

1.1.6. NOMENCLATURA DE LA MEMORIA

Se distinguirán en cuatro tablas la relación de abreviaciones usada a lo largo de la memoria. En la tabla 1.3 las abreviaciones referentes a los equipos y elementos, en la tabla 1.4 las abreviaciones referentes a los compuestos, en la tabla 1.5 las abreviaciones referentes a los fluidos de servicios y en la tabla 1.6 las abreviaciones referentes a los materiales. En los apartados 3 y 4 de la memoria se distinguirán las abreviaciones más específicas, utilizadas para definir las tuberías, válvulas, control e instrumentación.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.3. Abreviaciones de los equipos y elementos del proceso

Abreviación	Equipo
TK	Tanque de almacenaje
MIX	Mezclador
CD	Columna de rectificación
CA	Columna de absorción
R	Reactor
IC	Intercambiador de calor
P	Bomba
CH	Chiller
TR	Torre de refrigeración
C	Caldera
AC	Sistema de aire comprimido
TE	Transformador eléctrico
G	Generador electrógeno
W	Báscula
TC	Tanque de condensados
CO	Compresor
K	Kettle reboiler
DSC	Descalcificadora
D	Decantador
SC	Scrubber
VE	Válvula de emergencia (Venteo)
COLECTOR	Colector de gases
ICN	Incinerador

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.4. Abreviaciones de los compuestos del proceso

Abreviación	Compuesto
R11	Triclorofluorometano
R12	Diclorodifluorometano
R13	Clorotrifluorometano
HCl	Ácido clorhídrico
HF	Ácido fluorhídrico
TCC	Tetracloruro de carbono
PCA	Pentacloruro de antimonio
TCA	Cloruro de aluminio

Tabla 1.5. Abreviaciones de los fluidos de proceso

Abreviación	Fluido de proceso
DA	Aceite térmico Dowtherm A
DJ	Aceite térmico Dowtherm J
NH	Amoníaco
H2OP	Aqua
N	Nitrogeno
A	Aire
GN	Gas Natural
NAOH	Hidróxido de sodio

Tabla 1.6. Abreviaciones de los materiales del proceso

Abreviación	Material
AISI	Acero inoxidable AISI 304
PTFE	Teflón
AISIPTFE	Acero inoxidable AISI 304 con recubrimiento de teflón
LMR	Lana mineral de roca

1.2. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

A la hora de dimensionar, distribuir y organizar la planta se han seguido las normativas de seguridad e higiene, teniendo presente las regulaciones medioambientales. Las normativas consultadas se recogen y describen en los capítulos 5 y 6. Dentro de estas normativas y regulaciones se especifican las distancias mínimas aplicables tanto en operación como en almacenamiento de materias primas y productos. Por tanto, hay que tener en cuenta los compuestos manipulados y los riesgos asociados, para poder determinar las mayores incompatibilidades en el momento de delimitar las diferentes zonas de la planta, así como de los productos manipulados dentro de cada una de ellas.

1.2.5. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LA PLANTA

La planta de producción de Freon-13 se encuentra dividida en áreas en función de la actividad que se desarrolle en la misma. Está constituida de 16 áreas, de las cuales 4 constituyen el proceso de producción, 2 áreas de almacenamiento de reactivos y producto acabado, 1 áreas de tratamientos de emisiones al medio ambiente y, 1 área de oficinas, laboratorios, servicios, parking, zona social y mantenimiento.

1.2.6. DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS

En este apartado se detallan, especifican y describen las áreas que constituyen la planta. En la tabla 1.7 se especifican cada una de estas áreas:

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.7. Descripción de las áreas de la planta

Zona	Descripción
A-100	Almacenamiento de materias primas
A-200	Reacción 1
A-300	Separación y absorción
A-400	Reacción 2
A-500	Separación y purificación
A-600	Almacenamiento de productos finales
A-700	Tratamiento de residuos
A-800	Carga y descarga
A-900	Oficinas
A-1000	Laboratorios
A-1100	Zona Social
A-1200	Sala de control
A-1300	Servicios de mantenimiento
A-1400	Parking
A-1500	Servicios
A-1600	Ampliaciones

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

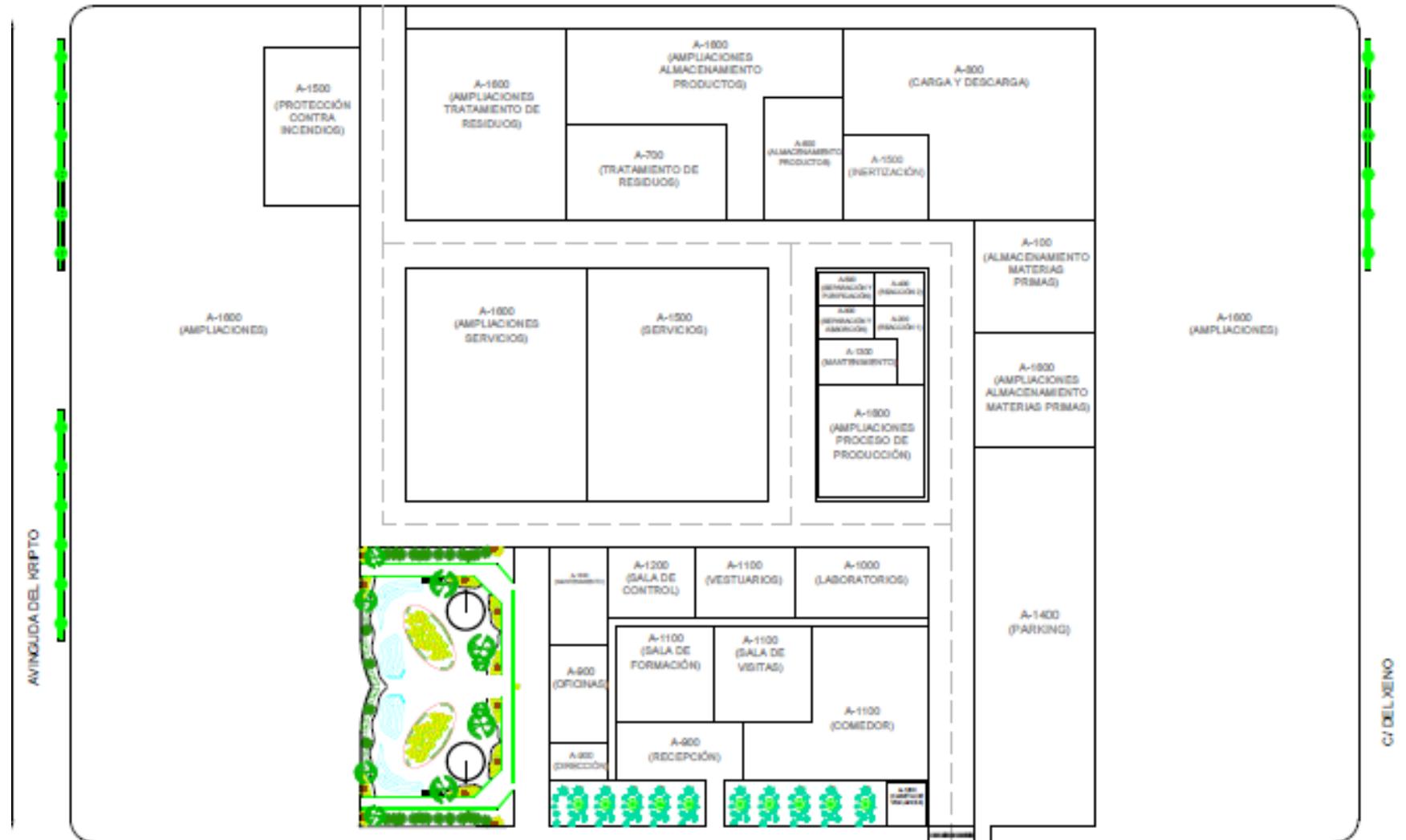


Figura 1.13. Plano con las áreas

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Área 100: Almacenamiento de materias primas.

Las materias primas se almacenan en ésta área en tanques de almacenamiento, en estado líquido y a presión, excepto el CCl₄, que se almacena a presión atmosférica.

- Área 200: Reacción 1

En esta zona tiene lugar la primera y la segunda reacción. La primera consiste en transformar nuestros reactivos en R-11 principalmente. La segunda consiste en transformar el subproducto R-11 formado, en R-12, necesario para la posterior obtención de nuestro producto. Las dos reacciones tienen lugar en un RCTA.

- Área 300: Separación y absorción

Aquí se desempeña la labor de separar el ácido clorhídrico del R-12, para su posterior absorción. Entre otros equipos, está constituida por una columna de rectificación y una columna de absorción.

- Área 400: Reacción 2

Ésta zona es clave en nuestra planta, pues en ella se encuentra el segundo reactor que transforma el subproducto R-12 en nuestro producto final.

- Área 500: Separación y purificación

Mediante dos columnas de rectificación, entre otros equipos, se consigue separar y purificar el producto resultante del reactor. El objetivo es mejorar la pureza del R-13.

- Área 600: Almacenamiento de productos finales

Comprende la zona donde se almacenan los productos finales obtenidos en la planta, tal y como se presentan para su venta. Éstos son el R-13, que se almacena en estado líquido y a presión, y el ácido clorhídrico, también en estado líquido y a presión atmosférica.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Área 700: Tratamiento de residuos

Aquí se tratan los residuos generados en la planta, tanto sólidos, como líquidos, como gaseosos.

- Área 800: Carga y descarga

Las materias primas necesarias para llevar a cabo este proceso, llegarán a ésta zona mediante camiones cisterna de 30 m³ de capacidad. También es el mismo emplazamiento donde se vendrán a recoger los productos. En el suelo se dispondrá de dos balanzas, para controlar en todo momento el volumen de transporte. Aquí también se colocan las bocas de carga y descarga de los tanques de almacenaje.

- Llegada de materias primas:

Para el tetracloruro de carbono se requerirán 3 camiones al día, tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes). Para el ácido fluorhídrico van a ser necesarios también 3 camiones al día, dos días a la semana (martes y jueves).

- Salida de productos:

Para el ácido clorhídrico se requerirán 3 camiones al día, 7 días a la semana. Para el producto estrella de la planta, el Freon-13, van a ser necesarios 3 camiones al día, 2 días a la semana (lunes y viernes).

- Área 900: Oficinas

En ella se trabaja con las tareas administrativas, burocráticas y de gestión que requiere la empresa.

- Área 1000: Laboratorios

Aquí se desempeñan dos funciones; la primera es la toma de muestras de diferentes puntos del proceso para realizar un control de calidad y asegurar que el proceso se realiza dentro de los parámetros establecidos. La segunda función es la de investigación y desarrollo (I+D), donde la empresa intenta evolucionar científico-técnicamente para ser una empresa puntera y de vanguardia en su campo de producción.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Área 1100: Zona social

Es la zona destinada al descanso y comida, en el tiempo reglamentario de la jornada laboral de los trabajadores.

- Área 1200: Sala de control

Es la sala donde se observan de forma monitorizada los diferentes parámetros de toda la planta, y donde se pueden manipular las variables controladas del proceso. Es un punto clave para el correcto funcionamiento de la planta y el control de cualquier incidencia que pueda acontecer en un momento determinado.

- Área 1300: Servicios de mantenimiento

Zona con los utensilios y personal necesarios para el mantenimiento de la planta.

- Área 1400: Parking

Plazas de aparcamiento dentro del recinto, para los diferentes empleados de la planta, así como comerciales. Se contemplan plazas para motocicletas, automóviles, bicicletas y para personas con movilidad reducida.

- Área 1500: Servicios

En el área de servicios se encuentran la caldera de vapor, la descalcificadora de agua, la torre de refrigeración, el chiller, el compresor, el transformador eléctrico que abastece toda la planta, cinco generadores eléctricos para abastecer la demanda de la planta ante posibles paros en el suministro de la red, los tanques de los aceites térmicos y la protección contra incendios, con todo lo necesario para actuar de forma rápida y eficaz en el caso de que se produjera un incendio en la planta.

- Área 1600: Ampliaciones

Zona libre, disponible, para futuras ampliaciones de la planta.

1.2.7. PLANTILLA DE TRABAJADORES

En este apartado se mostraran el número de trabajadores de la planta, así como el horario de trabajo, la organización temporal de los diferentes turnos y los turnos de vacaciones.

La planta de producción de Freon-13 trabaja en continuo durante las 24 horas del día, 300 días al año, que equivalen a 7200 horas. Según recoge el BOE-A-2013-3750, el número máximo de horas anuales para un trabajador en la industria química son 1752. El número de turnos requeridos es de 4.1, es decir, que con un mínimo de 4 turnos, en las áreas donde se trabaje 24 horas al día, es posible cubrir los requerimientos. Tanto los operarios, como el personal de seguridad, trabajarán 40 horas a la semana, pudiendo realizar, los operarios, un horario de mañana (de 6:00 a 14:00), un horario de tarde (de 14:00 a 22:00) o un horario de noche (22:00 a 6:00), y el personal de seguridad un horario de mañana (7:00 a 19:00) o de noche (19:00 a 7:00); mientras que los otros cargos de la empresa tendrán un horario específico.

A continuación se describen los profesionales y número de ellos, que desempeñan las tareas en cada sector de trabajo:

- Directivos y técnicos: Son los responsables de la gestión y dirección de la empresa y los que se encargan del correcto funcionamiento de la planta con la ayuda de los jefes de cada sección. Su horario será de 8:00 a 15:00 horas, teniendo en cuenta que este puede variar debido a necesidades específicas de la empresa (relaciones internacionales, reuniones, etc.). Serán necesarias 2 personas para constituir el equipo directivo y 4 para el técnico.
- Jefes de sección / especialistas: Estos estarán divididos en diversos grupos según su área de trabajo, como por ejemplo, ingenieros de mantenimiento, encargados de la seguridad e higiene, jefes de producción, etc. Estos especialistas se distribuirán de tal manera que siempre haya dos especialistas a la planta durante el día. Serán necesarias 6 personas para constituir el equipo de especialistas.
- Operarios: Son los encargados de estar en la planta para realizar cualquier modificación o movimiento de los equipos. Su objetivo es realizar las tareas

de operación y mantenimiento de los equipos de planta. Su actividad debe estar supervisada siempre por el jefe de planta. Siempre habrá un mínimo de cinco personas a cada sección de producción y purificación durante el día. Serán necesarias 30 personas para constituir el equipo de obreros.

- Administración y márquetin: Son los encargados de la administración y márquetin de la planta, además de realizar las tareas relacionadas con todas aquellas actividades que no forman parte de la producción de la planta ni de la gestión de esta (como por ejemplo, se encargan de la contabilidad de la empresa, publicidad y recursos humanos). Su horario será de 7:00 a 15:00. Serán necesarias 8 personas para constituir este equipo.
- Técnicos de laboratorio: Son los encargados de llevar a cabo las tareas de control de calidad de los productos. Además de los técnicos de laboratorio se pueden encontrar equipos de investigación (I+D), para encontrar métodos de producción menos costosos. Su horario será de 8:00 a 14:00 (turno de mañana) o de 14:00 a 22:00 (turno de noche). Habrá 5 técnicos y 2 personas en el equipo de investigación.
- Subcontratas: Entre ellos podemos encontrar el personal de seguridad que son los encargados de vigilar la entrada de la planta y el personal de limpieza que son los encargados de la limpieza e higiene de la planta. Serán necesarias 2 personas para constituir el equipo de seguridad y 4 para el de limpieza.

En la tabla 1.8 se muestra la organización temporal de los diferentes turnos. Como ya se ha comentado anteriormente, el personal de producción trabajará en 4 turnos. A su vez, el día se partirá en tres turnos diferentes de ocho horas cada uno. La rotación de los turnos se realizará de la siguiente manera, cogiendo como ejemplo para la explicación el grupo 1:

- El turno 1 trabajará en el turno de noche toda la primera semana (siete días) de 22:00 a 06:00 horas.
- La siguiente semana descansará el lunes, y empezará el martes con el turno de tarde durante siete días seguidos.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- La tercera semana descansará el martes y, el miércoles empezará de turno de mañana durante siete días seguidos.
- Al acabar el turno de mañana, descansará cinco días seguidos.

Todos los demás grupos realizarán este mismo esquema en cuanto a horarios de trabajo y descanso.

Tabla 1.8. Horario de trabajo. Producción

Semana 1							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Turno 4	Turno 4	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3
Tarde	Turno 3	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2
Noche	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1
Descanso	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4
Semana 2							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Turno 3	Turno 3	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2
Tarde	Turno 2	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1
Noche	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4
Descanso	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3
Semana 3							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Turno 2	Turno 2	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1
Tarde	Turno 2	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4
Noche	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3
Descanso	Turno 4	Turno 1	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2
Semana 4							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Turno 1	Turno 1	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4
Tarde	Turno 4	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3
Noche	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2
Descanso	Turno 3	Turno 4	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Se harán solo dos paradas largas a lo largo del año para realizar tareas de mantenimiento y limpieza, y vacaciones. El hecho de parar y arrancar los equipos más de dos veces al año, implicaría un exceso en los costes de puesta en marcha de todos los equipos. Las fechas de parada de planta son, por vacaciones del 1 al 31 del mes de agosto, así también del 19 de diciembre al 6 de enero por mantenimiento. Se tendrán en cuenta también paradas cada 20 días (15 días al año) debido al cambio del catalizador del segundo reactor.

1.2.8. PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA

Una vez aceptado el proyecto de viabilidad, se muestra la planificación temporal de tareas para la construcción de la planta de producción de Freon-13.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.9. Planificación temporal de tareas para la construcción de la planta de producción de Freon-13

Nombre	Duración	Inicio
Gestiones administrativas		
Ingeniería del detalle	60 días	01/09/2015
Evaluación impacto ambiental	15 días	01/09/2015
Licencia de obras	90 días	21/09/2015
Licencia de actividades	70 días	28/09/2015
Urbanización	100 días	04/01/2016
Limpieza de terrenos	15 días	04/01/2016
Excavaciones	40 días	25/01/2016
Cimentación	20 días	08/02/2016
Instalación suministros	30 días	07/03/2016
Terraplenado	10 días	18/04/2016
Viales y aceras	10 días	02/05/2016
Instalación de soportes, escaleras, plataformas y barandillas	5 días	16/05/2016
Obra civil	80 días	16/05/2016
Construcción plantas de producción	80 días	16/05/2016
Oficinas, laboratorios y vestuarios	12 días	16/05/2016
Aparcamiento	5 días	16/05/2016
Equipos	80 días	19/09/2016
Instalación equipos	70 días	19/09/2016
Calibración equipos	10 días	26/12/2016
Tuberías	65 días	09/01/2017
Instalación tuberías proceso	50 días	09/01/2017
Conexión tuberías-equipos	15 días	20/03/2017
Instalación tuberías de servicio	30 días	09/01/2017
Conexión tuberías de servicio-equipos	10 días	20/02/2017
Instrumentación	30 días	19/09/2016
Instalación de instrumentación	20 días	19/09/2016
Conexión instrumentación-equipos	10 días	17/10/2016
Sistema eléctrico	100 días	19/09/2016
Instalación sistema eléctrico	80 días	19/09/2016
Conexión eléctrica a equipos	20 días	09/01/2017
Conexión eléctrica a instrumentación	9 días	09/01/2017
Aislamiento	28 días	10/04/2017
Aislamiento equipos	14 días	10/04/2017
Aislamiento tuberías	28 días	10/04/2017
Acabados	21 días	18/05/2017
Limpieza	14 días	18/05/2017
Pintura	21 días	18/05/2017
Puesta en marcha	96 días	16/06/2017
Puesta en marcha	96 días	16/06/2017
Seguridad y salud	704 días	01/09/2015
Seguridad y salud	704 días	01/09/2015
Calidad y medioambiente	704 días	01/09/2015
Calidad y medioambiente	704 días	01/09/2015
Inicio producción	60 días	30/10/2017

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Dicha programación de tareas se detalla en el siguiente diagrama de Gantt, que tiene como objetivo posicionar cada tarea a lo largo de una línea temporal, de manera que se puedan identificar las relaciones y dependencias que existen entre tareas:

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

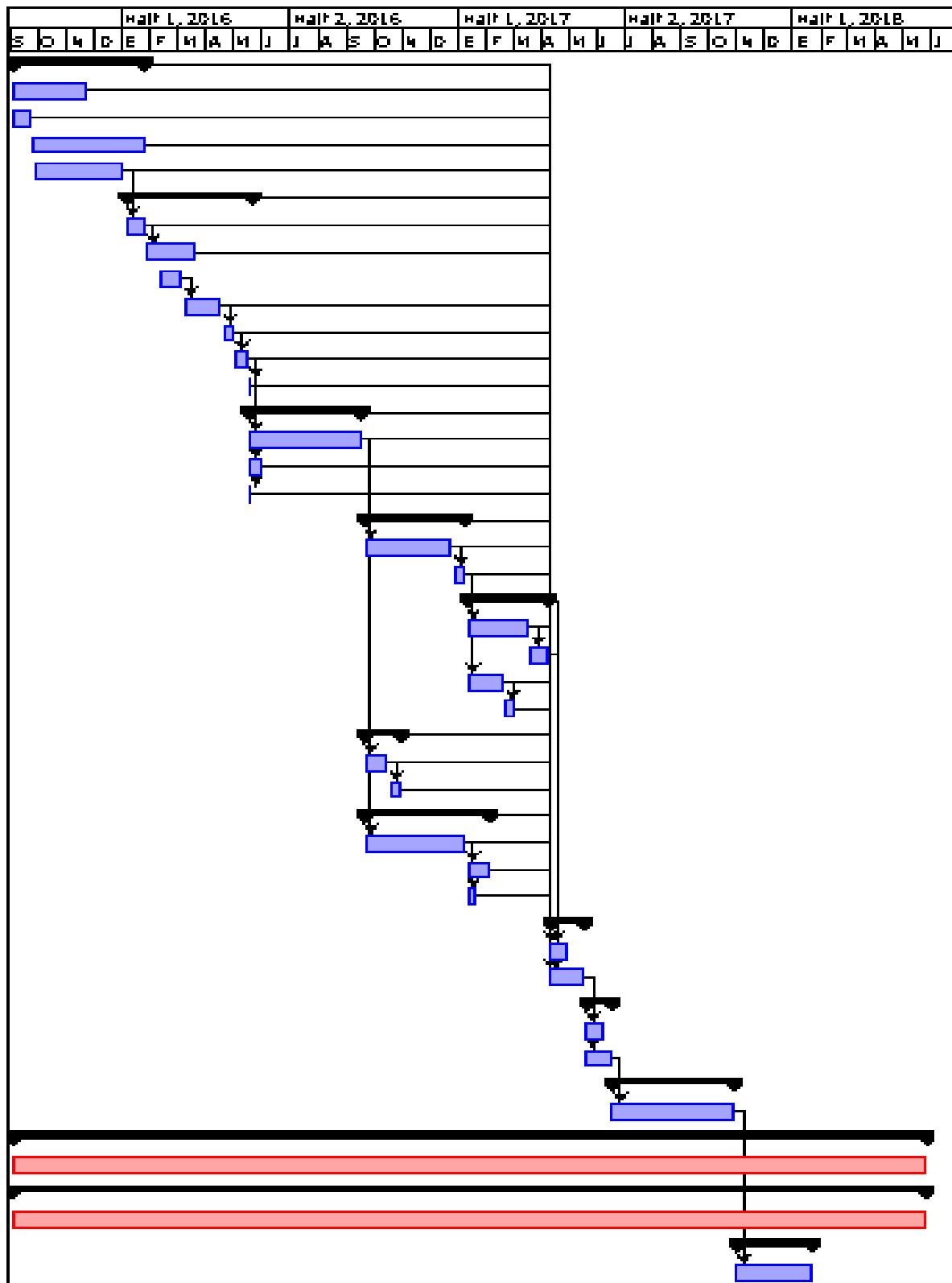


Figura 1.14. Diagrama de Gantt

Tal y como se observa, empezando a construir la planta el 1 de septiembre del año 2015, se ha escogido un periodo razonable de todos aquellos permisos y tareas necesarias para la apertura de la fábrica de tal forma que ésta esté operativa el 30 de Octubre del año 2017; es decir, la construcción de la planta durará 26 meses (2 años y 2 meses).

1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS

A continuación se muestran las tablas de las propiedades físicas y termodinámicas de los diferentes reactivos y productos que intervienen en el proceso.

1.3.5. REACTIVOS (I): CCl₄

Tabla 1.10. Propiedades físicas y termodinámicas del CCl₄

Peso molecular (g/mol)	153,82	
Aspecto	Forma: líquido	
Olor	Dulce	
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-23	
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	77	
Punto de inflamación	No se inflama	
	0,3 °C	45
Presión de vapor (hPa)	19,8 °C	120
	24°C	14,549
Densidad relativa (g/cm³)	25°C	1,594
Densidad vapor (aire=1)		5,32
Solubilidad en agua (g/l)	20°C	0,8461
	20°C	26,7
Tensión superficial (mN/m)	80°C	19,5
Viscosidad (Pa·s)	-23°C	2,03·10-3
Temperatura crítica (°C)		283,4
Presión crítica (bar)		44,93
Factor acéntrico		0,1926
Densidad crítica (mol/l)		3,625
Volumen crítico (cm³/mol)		276
Calor de formación (kcal/mol)		-22,940
Calor de fusión	-24°C	2,69
Calor de vaporización (kJ/mol)		32 ± 2
Estabilidad	Generalmente inerte	
Conductividad térmica (W/m·K)	0,1	

1.3.6. REACTIVOS (II): HF**Tabla 1.11. Propiedades físicas y termodinámicas del HF**

Peso molecular (g/mol)	20.006
Aspecto	Incoloro
Olor	acre
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-83,37
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	19,51
Presión de vapor a 25°C (bar)	1,23
Densidad relativa (g/cm³)	1
Densidad vapor (aire=1)	0,7
Índice de refractividad, nD, a 25°C	2,13
Viscosidad de líquido a 0°C(cP)	0,26
Temperatura crítica (°C)	188
Presión crítica (bar)	64
Factor acéntrico	0,3720
Densidad crítica (kg/m³)	290
Volumen crítico (cm³/mol)	69
Calor de formación (kcal/mol)	-64,8
Calor de combustión (kJ/mol)	49,04
Calor de fusión(kJ/mol)	196,96
Calor de vaporización (kJ/mol)	374,5
Temperatura de auto ignición(°C)	>320
Conductividad térmica a 0°C (mW/m·K)	23,53

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.7. SUBPRODUCTOS (I): CCl₂F₂

Tabla 1.12. Propiedades físicas y termodinámicas del CCl₂F₂

Peso molecular (g/mol)	120,91
Aspecto	Incoloro
Olor	Etéreo
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-157,6
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	-29,6
Punto de inflamación	No combustible
Presión de vapor (kPa) a 20°C	568
Densidad relativa (g/cm³)	1,49
Densidad vapor (aire=1)	3,61
Solubilidad en agua (g/l) a 20°C	0,286
Índice de refractividad, nD, a 25°C	
Viscosidad (cP)	1,25E-2
Temperatura crítica (°C)	112
Presión crítica (atm)	40,70
Compresibilidad crítica	0.98
Factor acéntrico	0,1796
Densidad crítica (kg/m³)	565
Volumen crítico(c.c/mol)	217
Calor de formación a 0°C (Kcal/mol)	-115
Calor de combustión	
Calor de fusión (kj/kg)	34,239
Calor de vaporización (cal/mol)	4772
Temperatura de auto ignición	
Estabilidad	
Conductividad térmica (W/m·K)	9,63E-3

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.8. SUBPRODUCTOS (II): CCl₃F

Tabla 1.13. Propiedades físicas y termodinámicas del CCl₃F

Peso molecular (g/mol)	104,47
Aspecto	incoloro
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-155
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	-82
Punto de inflamación	No combustible
Presión de vapor (bar)	1.0605
Densidad relativa (kg/m³)	1.49
Densidad vapor (aire=1)	4.7
Solubilidad en agua (g/l)	0.1
Índice de refractividad, nD, a 20°C	1,3821
Viscosidad (cP)	1,5e-2
Temperatura crítica (°C)	198
Presión crítica (bar)	44,1
Compresibilidad crítica	0.96415
Factor acéntrico	0,18875
Densidad crítica (mol/l)	4,151
Volumen crítico(c.c/mol)	247
Calor de combustión	No combustible
Calor de fusión(kj/kg)	50208
Calor de vaporización (kJ/kmol)	15376
Conductividad térmica (W/m·K)	1,23E-2

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.9. PRODUCTOS (I): CClF₃

Tabla 1.14. Propiedades físicas y termodinámicas del CClF₃

Peso molecular (g/mol)	104,5
Aspecto	incoloro
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-181
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	-81,5
Punto de inflamación(°C)	11
Presión de vapor (mPa) 20°C	3,186
Densidad relativa (kg/m³)	4.32
Densidad vapor (aire=1) (lb/ft³)	0,4332
Solubilidad en agua (g/l)	Totalmente miscible
Viscosidad a 25°C (mPa·s)	14,1
Temperatura crítica (°C)	28,8
Presión crítica (bar)	38,6
Compresibilidad crítica	0,9896
Factor acéntrico	0,17166
Densidad crítica (mol/l)	5,5
Calor de formación (kcal/mol)	-166
Calor de fusión (kj/kg)	30,347
Calor de vaporización (kJ/mol)	15,43
Temperatura de auto ignición (°C)	750
Conductividad térmica (W/m·K)	1,23E-2

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.10. PRODUCTOS(II): HCl

Tabla 1.15. Propiedades físicas y termodinámicas del HCl

Peso molecular (g/mol)	36,46
Aspecto	Incoloro
Olor	Irritante
Punto de fusión a P_{atm} (°C)	-114
Punto de ebullición a P_{atm} (°C)	-85
Punto de inflamación	No aplicable
Presión de vapor (atm) a 17,8°C	4
Densidad relativa (g/cm³)	0,118
Densidad vapor (aire=1)	1,27
Solubilidad en agua (g/l)	soluble
Índice de refractividad, nD, a 18°C	1,34168
Viscosidad (cP)	1,36E-2
Temperatura crítica (°C)	51,65
Presión crítica (atm)	82
Compresibilidad crítica	0,25
Factor acéntrico	0,1322
Densidad crítica (kg/m³)	450,136
Calor de formación (kcal/mol)	-22,06
Calor de fusión (kj/kg)	54,853
Calor de vaporización (kJ/kmol)	16089
Conductividad térmica (W/m·K)	1,69E-2

1.3.11. CATALIZADOR (I): SbCl₅

El pentacloruro de antimonio o cloruro antimónico es un compuesto químico con la fórmula SbCl₅. Se trata de un aceite incoloro, pero las muestras típicas son de color amarillento debido a las impurezas. Debido a su tendencia a hidrolizarse con ácido clorhídrico, SbCl₅ es una sustancia altamente corrosiva. En contacto con el aire libera gran cantidad de humos, se descompone en cloro y cloruro antimoniósico por destilación a la presión ordinaria. Se solidifica a 6°C convirtiéndose en una masa cristalina.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Propiedades:

A continuación se muestran las propiedades del pentacloruro de antimonio:

Tabla 1.16. Propiedades termodinámicas del pentacloruro de antimonio

Masa molar (g/mol)	299,02
Densidad a 25º (g/cm³)	2,36
Punto de fusión (ºC)	2,8
Punto de ebullición (ºC)	140
Solubilidad en agua	reacciona
Solubilidad	HCl, alcohol, CCl ₄
Presión de vapor a 25º (kPa)	0,16
Viscosidad a 29,4º (cP)	2,034
Capacidad calorífica gas (J/mol·K)	120,9

- Reacciones:

El pentacloruro puede reaccionar fácilmente con el agua, y con el aire húmedo. Así mismo puede reaccionar con muchos más componentes que no se tratarán en este apartado, porque no son de interés para el proceso que se lleva a cabo en planta.

Por exposición al aire húmedo, o mediante la adición de cierta cantidad de agua, se obtiene un monohidrato cristalino, $SbCl_5 \cdot H_2O$. Este hidrato se puede purificar por recristalización a partir de cloroformo, su punto de fusión se encuentra entre 87 ° y 92 ° C. El hidrato se descompone por el agua y por una solución de carbonato de sodio. Cuando se calienta con cloroformo o tetracloruro de carbono, se forma fosgeno.

En contacto con aire absorbe la humedad, convirtiéndose en una masa blanca, susceptible de cristalizar, dando el compuesto $SbCl_5 + 4H_2O$; un exceso de agua lo descompone en ácido antimónico y ácido clorhídrico, pero la presencia de ácido tártrico impide la precipitación del ácido antimónico por formarse iones complejos a semejanza del tricloruro.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

El tetrahidrato, $SbCl_5 \cdot 4H_2O$, se puede obtener ya sea por evaporación de una solución acuosa saturada de la pentacloruro sobre ácido sulfúrico concentrado, o por precipitación a partir de una solución en cloroformo.

Pentacloruro de antimonio se disocia en el calentamiento, formando el tricloruro y el cloro, la disociación es lenta a $120^\circ C$, pero completa justo por encima de $300^\circ C$. Entre 120° y $260^\circ C$.

- Método de obtención:

Se obtiene dirigiendo una corriente de cloro en exceso sobre tricloruro de antimonio fundido, en caliente primero y a la temperatura ordinaria después, hasta que se ha absorbido la cantidad de cloro correspondiente:

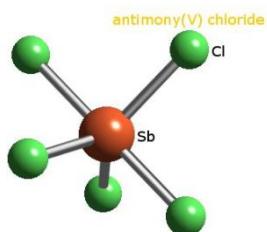


Figura 1.15. Molécula tridimensional del pentacloruro de carbono

El comportamiento de pentacloruro de antimonio como un disolvente ha sido investigado. Se disuelve fácilmente en cloro, bromo, cloruro estánnico, cloruro de cromilo y ácido; tricloruro de yodo y tricloruro de oro se someten a la disociación, y yodo, bromuro estánnico y yoduro de estánnicos reaccionan con el disolvente.

El calor de formación del pentacloruro de antimonio es el siguiente:



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

El porcentaje de cada elemento que forma el pentacloruro de antimonio se presenta a continuación:

Element	%
Cl	59.28
Sb	40.72

Figura 1.16. Porcentaje de cada elemento que constituye el pentacloruro de carbono

- Aplicaciones:

Pentacloruro de antimonio se utiliza como catalizador de polimerización y para la cloración de compuestos orgánicos.

En este caso se utiliza para la cloración de compuestos orgánicos en nuestro proceso, se utiliza el pentacloruro de carbono como catalizador para las dos reacción que se llevan a cabo en el primer reactor del proceso, pasando los reactivos, HF y CCl4, a productor intermedios como el freón 11 y freón 12, para obtener el freón 13, que es el producto principal del proceso.

- Precauciones:

Hace falta mirar detenidamente la ficha de seguridad del pentacloruro de antimonio para conocer los peligros de este.

El pentacloruro de carbón se considera altamente corrosivo, que debería de estar almacenada lejos del calor. Es un agente clorificante, en presencia de moisture, libera cloruro de hidrogeno en gas. Puede afectar incluso a materiales de acero inoxidable si se maneja en un ambiente húmedo. No se debe manejar con materiales plásticos no fluorados ya que se pueden derretir y carbonizar.

1.3.12. CATALIZADOR (II): AlCl₃

El cloruro de aluminio (AlCl₃) es una sal binaria formada por un átomo de aluminio y tres átomos de cloro. Es un sólido de color blanco o amarillo pálido puro que cuando se sublima en calentar y, en presencia de humedad, se descompone con la evolución de cloruro de hidrógeno.

- Propiedades:

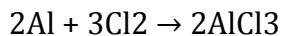
A continuación se muestran las propiedades del cloruro de aluminio:

Tabla 1.17. Propiedades termodinámicas del cloruro de aluminio

Masa molar (g/mol)	133,34
Densidad a 25º (kg/m ³)	2,48
Punto de fusión (ºC)	192,4
Punto de ebullición (ºC)	120
Solubilidad en agua	Reacciona violentamente
Solubilidad	Benceno, CCl ₄ , cloroformo
Capacidad calorífica gas (J/mol·K)	91,84
Calor de formación (kJ/mol)	-704,20

- Método de obtención:

El cloruro de aluminio anhidro se fabrica principalmente por la reacción de vapor de cloro en el aluminio fundido.



En el proceso, el cloro se alimenta por debajo de la superficie del aluminio, y los productos se subliman y se recogen por condensación. Estos condensadores enfriados por aire son, cilindros verticales de acero de pared delgada con fondo cónico.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Los cristales de cloruro de aluminio se forman en las paredes del condensador y son periódicamente eliminados, aplastados, se examinarán y envasaran en recipientes de acero.

- Aplicaciones:

El cloruro de aluminio se utiliza en las industrias del petróleo y en varios aspectos de la tecnología de la química orgánica. Por ejemplo, cloruro de aluminio es un catalizador en reacciones orgánicas, en la alquilación de parafinas e hidrocarburos aromáticos para olefinas y también en la formación del complejo cetonas, aldehídos, y derivados del ácido carboxílico.

- Precauciones:

El AlCl₃ puede causar una explosión en caso de contacto con una base o agua. Este es un reactivo para ser utilizado con cuidado, utilizando guantes y gafas de seguridad. Cuando se trata con aire húmedo, el cloruro de aluminio absorbe humedad rápidamente y se convierte en altamente ácido, atacando rápidamente en un gran número de materiales, incluyendo acero inoxidable y caucho.

No es combustible, pero puede reaccionar lentamente en un incendio.

No es explosivo, pero la reacción violenta será resultado de las corrientes de contacto con el agua en grandes cantidades.

Condiciones a evitar: humedad y luz solar.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.3.13. SOPORTE CATALIZADOR (I): SIO₂

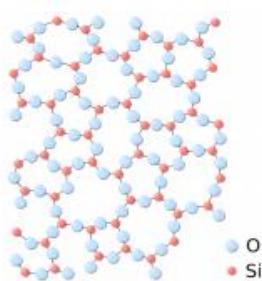


Figura 1.17. Estructura del óxido de silicio amorfo (Smith et al., 2008)

Los geles de sílice son óxidos de silicio amorfos y muy porosos (figura X y X), que poseen una gran área superficial (Saénz et al., 2007). Debido a su porosidad y área superficial, se pueden utilizar para la separación y adsorción de moléculas, aditivos de pinturas, tecnología de membranas e ingeniería molecular, soporte de catalizadores para formar catalizadores heterogéneos, etc. (Peña et al., 2008). El tamaño de poro suele rondar entre los 5Å y los 300Å, dependiendo del proceso de síntesis utilizado.

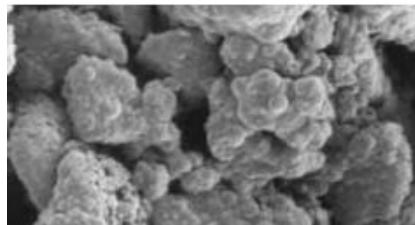


Figura 1.18. Imagen de una gel de silice a través de un microscopio electrónico (Grace Davison, 2010)

- Propiedades:

A continuación se muestran las propiedades del óxido de silicio:

Tabla 1.18. Propiedades termodinámicas del óxido de silicio

Masa molar (g/mol)	60,1
Densidad a 25º (kg/cm ³)	2,21
Punto de fusión (ºC)	1713
Punto de ebullición (ºC)	2230
Solubilidad	0.012g en 100g agua

1.4. APLICACIONES DEL FREON-13

- Su principal aplicación es su uso como refrigerante. Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier substancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente. El freon-13 es de gran utilidad, ya que es un refrigerante de baja temperatura de congelación, es decir, es un agente de enfriamiento para obtención de temperaturas de menos 70ºC a menos 100ºC. Así, los campos en los que podemos encontrar este refrigerante son:
 - Frigoríficos, congeladores y acondicionamiento de aire.
 - Procesamiento farmacéutico.
 - Procesos criogénicos donde se requiera tejido humano para congelar rápidamente para análisis y examen.
 - Endurecimiento de metales.
- En menores cantidades se utilizaba como propelente de aerosoles. Su estabilidad, no inflamabilidad, baja toxicidad y carencia de olor, son características que lo hacen ideal para ser usado como propelente. Lo podemos encontrar en los inhaladores para medicamentos utilizados en el tratamiento del asma, antisudorales, lacas, desodorantes, lociones para el cabello, lociones para broncear la piel, insecticidas, repelentes de insectos, bálsamos para quemaduras, agentes anti-polilla, cremas de belleza, pinturas, cremas de afeitar, nieve artificial decorativa, etc.
- Disolvente, diluyente, agente limpiador y desengrasante en la industria.
- Agente expulsor para espumas extintoras de incendios. A altas temperaturas se descompone liberando átomos de halógeno que se combinan eficazmente con radicales libres que se generan durante la combustión, desactivando la reacción de propagación de la llama incluso quedando el combustible adecuado, oxígeno y calor. Mediante éste envenenamiento del fuego, se requieren menores concentraciones que en el caso de métodos más tradicionales de enfriamiento, sofocación o dilución del combustible. Su uso actual está limitado a aplicaciones críticas como

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

centrales nucleares, aviación y militares, debido a ser perjudiciales para la capa de ozono.

- Producto químico intermedio de polímeros.
- Fluido dieléctrico, en la manufactura de aparatos eléctricos de alto voltaje.

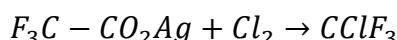
1.5. RUTAS DE SÍNTESIS DEL FREON-13

El clorotrifluorometano puede ser sintetizado de numerosas maneras como son:

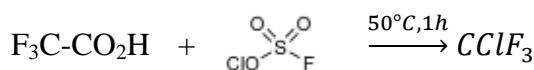
- A partir de tetracloruro de carbono y el complejo di-cloro-trifluoro-antimonio (V)-ácido di fluorhídrico, con un rendimiento del 95%, a 160°C y 70 atm.



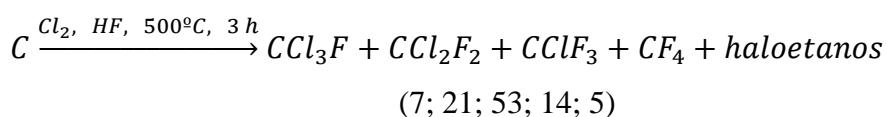
- Desde trifluoroacetato de plata y cloro, con un rendimiento del 90%.



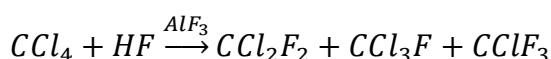
- Mediante ácido trifluoroacetico y clorofluorosulfato, con un rendimiento del 90%.



- También constituye el producto mayoritario en la cloración de grafito en presencia de HF, con un rendimiento de 89%. Esta reacción está siendo optimizada y se prevé más eficiente si se realiza a 500°C. Los efectos de diferentes catalizadores se están investigando.



- A partir de tetracloruro de carbono y ácido fluorhídrico, en presencia de I₂ o CoF₃ o óxidos de metales o metales de ácido fluorhídrico como catalizador.

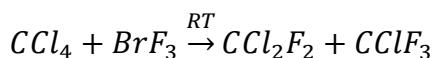


(1:1.25) 300°C 90% (35:60:5)

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

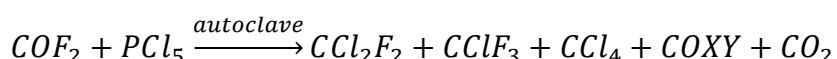
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

- Cuando el CCl_2F_2 entra en contacto con F₂ en presencia de Hg a 340-370°C.
 - Se puede preparar en el laboratorio mediante el uso de BrF₃ o IF₅ como agente en la fluoración. Banks et al. encontró que la lenta adición del agente fluoronado, la disminución de la relación de CCl₄ con BrF₃ o IF₅, así como una baja temperatura y un sistema de condensación eficiente (con el fin de mantener los intermedios más volátiles en contacto con el BrF₃) favorece la formación de CClF₃. El BrF₃ reacciona sin problemas pero vigorosamente con el CCl₄ i CBr₄ (rendimiento del 70%), mientras que la reacción es violenta en el caso del Cl₄. Estas reacciones se pueden realizar a 0°C. Por otro lado, el IF₅ es menos reactivo y las reacciones se realizan a 90-100°C.



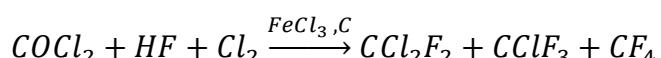
(1:0.84) (57-85)

- Otras posibilidades incluyen la fluoración del CHCl_3 , con el versátil agente fluoronador CF_3OF , que produce una mezcla de CCl_2F_2 (6%), CClF_3 (83%) y CF_4 (11%).
 - A partir del tratamiento a 265-350°C de COF_2 con PCL_5 .



(1:1.25) 265°C, 16 h 15% (67; 33; 0; -; -)

- A partir de COCl_2 con $\text{HF}/\text{CL}_2/\text{FeCl}_3$ a 425°C durante 17 h.



(6:6:1) 72% (19:75:6)

1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación se realizará la descripción de proceso productivo del freón 13. Éste se realizara según las áreas del proceso.

ÁREA 100: Almacenaje de materias primas

Ésta área es en la cual se almacenan los reactivos (ácido fluorhídrico y tetracloruro de carbono), y el catalizador (pentacloruro de antimonio). Para comenzar el proceso, en la puesta en marcha, se cargará el reactor con el catalizador mediante una bomba que provocará un aumento de presión al catalizador para que este llegue al reactor a 7 atm, en donde, mediante la mediacaña, se eleva la temperatura del catalizador hasta 95°C.

Asimismo, los reactivos salen de sus respectivos tanques de almacenaje mediante su bomba, la cual tiene la función de aumentar la presión y llevar cada reactivo al primer mezclador del área 100.

ÁREA 200: Reacción y Recuperación de Reactivos

Una vez los reactivos se encuentran en el MIX-201, donde se homogeniza la mezcla mediante un agitador, estos se dirigen hacia el reactor, previo a esto pasan por el IC-205, donde se calientan a la temperatura necesaria para realizar la reacción. El fluido encargado de realizar el aumento de esta temperatura es la salida gaseosa de productos del mismo reactor.

Una vez calientes los reactivos entran al reactor mediante una bomba que impulsa el fluido para soportar las pérdidas de carga del IC-205 y el MIX-201.

Además de la alimentación de reactivos fresco, se incorpora la recirculación del catalizador más reactivo recuperado a lo largo del proceso. Una vez incorporado todos los reactivos y el catalizador, comienza la reacción en el interior de reactor, la cual ocurre a 170°C y 7 atm.

Esta reacción ocurre en fase líquida, y es del tipo endotérmico, por lo cual hay que incorporarle calor, el cual se ingresa mediante el uso de una media caña que posee el reactor, además para mantener la mezcla homogénea, el reactor posee un agitador.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Como ya fue mencionado, la reacción ocurre en estado líquido, pero debido a los productos formados a las condiciones de operación, se encuentran en fase gaseosa. Es por esto que la mayor parte de los productos salen en esta fase, pero además hay producto en la fase liquida.

Ahora para una óptima separación de los productos y los reactivos obtenidos en el R-201, es necesario llevarlos a una torre de destilación, pero para esto hay que bajar la temperatura de las salidas del reactor.

La primera de estas es la fase liquida, la cual se refrigerara en el IC-203, mediante el uso del aceite térmico Dowtherm J a -50°C, para que llegue a 18°C. En seguida, la fase gaseosa, como ya fue mencionado, se dirige al IC-205, y se pre-enfría, pero solo hasta 92°C, por lo cual se tiene que llevar al IC-202/6, en donde continua el descenso de su temperatura hasta -3,5°C mediante el uso del aceite térmico Dowtherm J a -50°C.

Una vez obtenida ambas corrientes en estado líquido, se introducen a un mezclador, el cual consta de un agitador, para obtener una mezcla homogénea a la entrada de la columna de absorción. ésta mezcla se lleva mediante una bomba a la columna para soportar la caída de presión entre el mezclador y la columna.

Esta columna cumple la función de separar los reactivos (ácido fluorhídrico, tetracloruro de carbono, pentacloruro de antimonio) y productos intermedios (freón 11), de los productos de la reacción (freón 12 y ácido clorhídrico). Los reactivos, obtenidos por la parte baja de la columna, se recirculan al R-201, mediante el uso de una bomba, para soportar la caída de presión del intercambiador de calor que lo enfriara hasta la temperatura de operación del reactor. Mientras que el destilado, subproductos intermedios, se dirigirán la siguiente columna ubicada en el área 300 mediante una bomba.

ÁREA 300: Purificación y Absorción

Del destilado obtenido en la CD-201 se separará el ácido del R-12, para lo cual se incorpora a la CD-301, en la cuales se obtiene como destilado ácido clorhídrico, mientras que por la parte baja de la columna se obtiene el freón 12, el cual se dirige al mezclador del área 400 mediante una bomba.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

El destilado, para poder venderlo como subproducto del proceso, se realizara una absorción con agua, pero para esto el ácido hay que bajarle la presión mediante una válvula y luego mezclarlo con aire comprimido. Esta mezcla se incorpora a la torre de absorción, en donde entra por el fondo de esta, mientras que por la parte superior entra agua descalcificada impulsada por una bomba.

Ahora por la parte superior de la torre de absorción se obtiene aire húmedo, el cual se hace pasar por el IC-301 para recuperar el agua que se lleva el aire. Y por la parte baja de la columna se obtiene ácido clorhídrico al 35%, el cual, mediante el uso de una bomba, se lleva al área de almacenamiento de producto.

ÁREA 400: Reacción

En esta área se produce la reacción en la cual se obtiene nuestro producto, el freón13, para esto se junta los reactivos provenientes de la CD-301 y -502 en el MIX-401, el cual consta con un agitador para obtener una mezcla homogénea. Ahora esta reacción ocurre a presión atmosférica y 130°C, esto se logra haciendo pasar la mezcla por el IC-402, donde se calienta con el gas obtenido como producto del mismo reactor, y se le baja la presión mediante el uso de la válvula, ya que la reacción es en estado gaseoso.

Ahora el reactivo, el freón 12, entra al R-401, el cual es un reactor multitubular, en donde el catalizador, tricloruro de Aluminio, se encuentra en un lecho empacado al interior de los tubos formado por sílica gel. El gas de freón 12 pasa a través de este lecho, donde reacciona con el catalizador formando tetracloruro de carbono y nuestro producto, freo 13. Esta reacción es de tipo exotérmica, por lo cual es necesario enfriarla mediante el uso del aceite térmico Dowtherm A a 50°C que pasa por la coraza del R-401.

Ya que la conversión no es del 100%, se hace necesaria la recuperación del freón 12, como asimismo, la purificación del producto, y la separación del tetracloruro de carbono, ya que es un reactivo de la primera reacción el cual se puede reutilizar disminuyendo costos. Para esto se hace pasar la mezcla gaseosa por dos columnas de destilación en el área 500, pero previo a esto, se le vuelve a entregar presión al gas mediante un compresor, para que las columnas operen a 7 atm. Además, este

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

gas se pre-enfría en el IC-402, calentando la entrada al R-401, del cual sale a 43°C y debe seguir enfriando en el área 500

ÁREA 500: Purificación y recuperación

En esta área es donde se purifica el producto y se recuperan reactivos para ambos reactores. Para comenzar, la salida gaseosa del reactor, el cual se pre-enfría en el IC-402, se termina de enfriar y condensar en el IC-501/3, del cual sale en estado líquido y -16°C, para ingresarlo a la CD-501, en donde, por la parte inferior sale una mezcla de reactivos, R-12 y tetracloruro de carbono, mientras que es el destilado corresponde a nuestro producto, el cual sale con una pureza de 99,99%, y se dirige al área de almacenaje de productos mediante el uso de una bomba.

El producto que se obtienen por la parte inferior de la CD-501, ingresa a la CD-502, en la cual se separa. Por la parte inferior se obtiene mayoritariamente tetracloruro de carbono, el cual se recircula al R-201 mediante una bomba, previamente se enfriá en el IC-502, para que entre a la temperatura de operación de este último.

Ahora el destilado, que contiene en mayor proporción R-12, y en menor R-13 y tetracloruro de carbono, se recirculan hacia el MIX-401.

ÁREA 600: Almacenaje de Productos y Subproductos.

En esta área se almacena el ácido clorhídrico proveniente de la columna de absorción del área 300, como también se almacena nuestro producto principal, el freón 13, el cual se almacena en un tanque a alta presión (7 atm) y baja temperatura (-35°C). Para mantener las condiciones de este debe estar aislado y debe constar con un sistema de recuperación mediante compresión y condensación del producto que se evapore en el interior de los tanques de almacenamiento.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

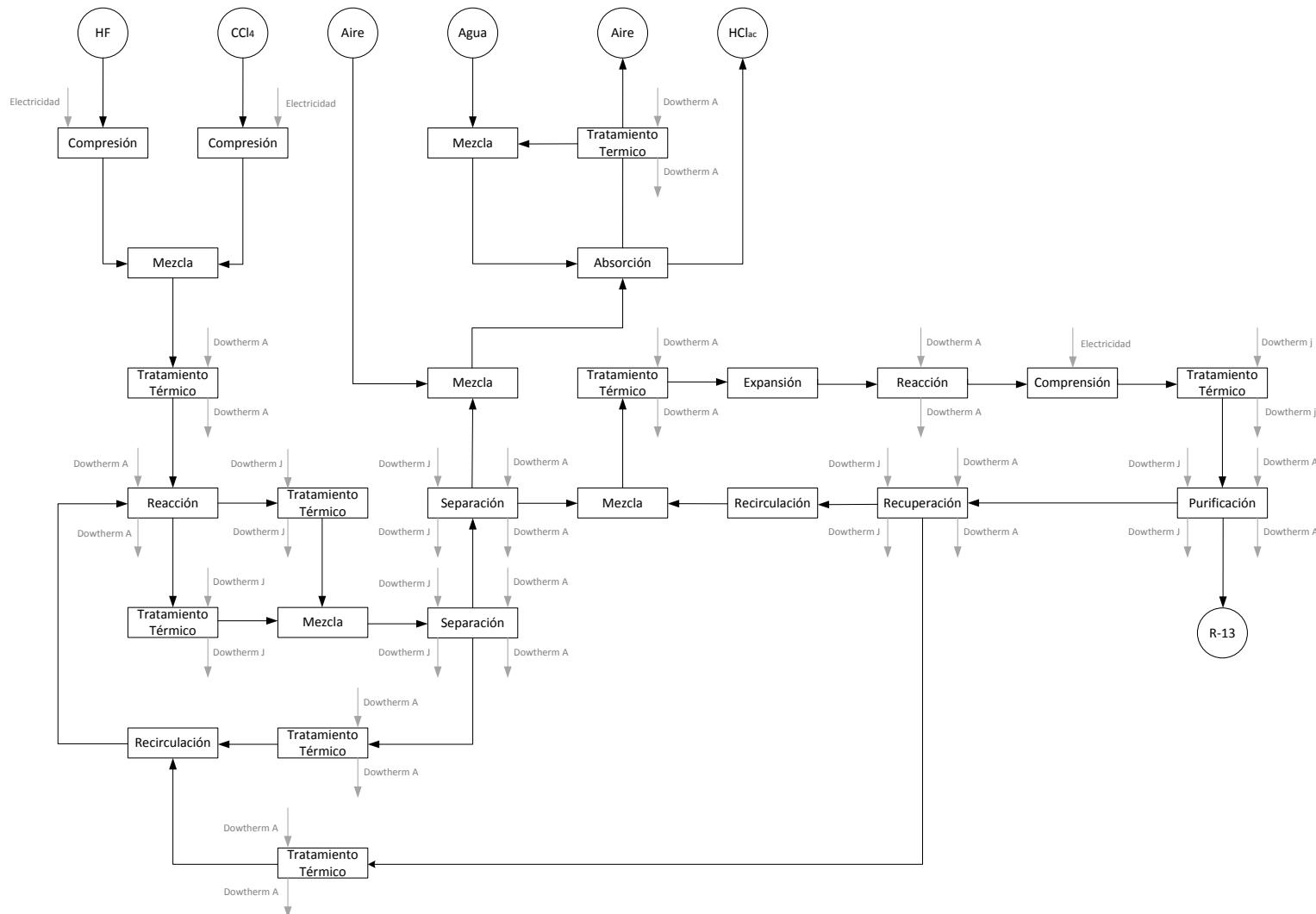


Figura 1.19. Diagrama de bloques del proceso de fabricación

1.7. BALANCES DE MATERIA

Como su nombre indica, en esta apartado se muestran los balances de materia que se producen durante el proceso de fabricación del Freon-13. Primero se muestra el diagrama de proceso realizado con el programa Microsoft Word y posteriormente se muestran las tablas de los balances.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

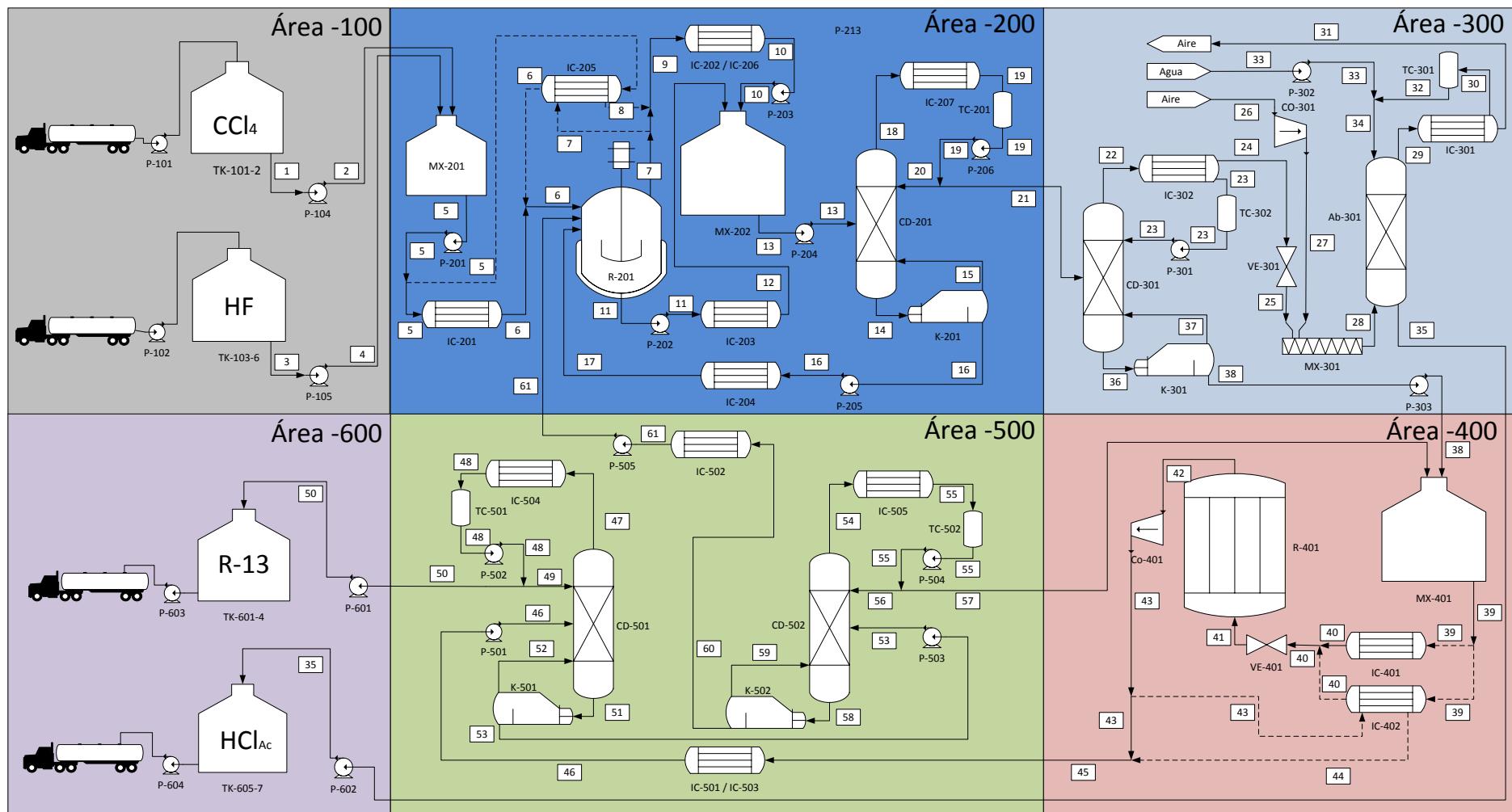


Figura 1.20. Diagrama de proceso hecho con Microsoft Word

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Balances de materia

		1	2	3	4	5	6	7
Condiciones	Fracción de vapor	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	Temperatura	°C	25,00	25,62	25,00	25,29	25,44	95,00
	Presión	atm	1,00	7,00	2,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	13,57	13,57	40,74	40,74	54,31	54,31
	Flujo másico	kg/h	2088,00	2088,00	815,00	815,00	2903,00	2903,00
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	1,32	1,32	0,84	0,84	2,00	2,29
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,29%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	21,98%
	CCl₄	%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	24,99%	24,99%
	HF	%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	75,01%	75,01%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	34,09%
	R-12	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	17,24%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	153,82	153,82	20,01	20,01	53,45	53,45
	Densidad molar	kmol/m ³	10,27	10,27	48,41	48,39	27,12	23,75
	Densidad	kg/m ³	1579,25	1579,18	968,45	968,16	1449,32	1269,41
	Entalpia molar	kJ/kmol	-132714,13	-132635,18	-288912,94	-288898,98	-249844,10	-245024,16
	Entropía molar	kJ/kmol °C	291,70	279,11	82,88	73,54	129,11	155,92
	Entalpía Másica	kJ/kg	-862,78	-862,26	-14441,31	-14440,62	-4674,31	-4584,13
	Entropía másica	kJ/kg °C	1,90	1,81	4,14	3,68	2,42	2,92
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	126,84	126,89	48,82	48,81	68,32	71,49
	Calor Específico	kJ/kg °C	0,82	0,82	2,44	2,44	1,28	1,34
	Viscosidad	cP	0,84	0,83	0,24	0,24	0,48	0,25

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.17. Continuación balances de materia

		8	9	10	11	12	13	14
Condiciones	Fracción de vapor	%	72,85%	72,85%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	92,00	92,00	-2,32	94,95	18,61	-1,51
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	119,34	119,34	119,34	3,45	3,45	122,79
	Flujo másico	kg/h	9100,94	9100,94	9100,94	616,18	616,18	9717,12
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	6,20	6,20	6,20	0,27	0,25	6,44
Composición	SbCl ₅	%	2,29%	2,29%	2,29%	45,58%	45,58%	3,51% 0,92%
	R-11	%	21,98%	21,98%	21,98%	20,73%	20,73%	21,95% 45,02%
	CCl ₄	%	0,78%	0,78%	0,78%	2,86%	2,86%	0,84% 0,65%
	HF	%	23,61%	23,61%	23,61%	24,72%	24,72%	23,64% 53,31%
	HCl	%	34,09%	34,09%	34,09%	3,16%	3,16%	33,22% 0,00%
	R-12	%	17,24%	17,24%	17,24%	2,95%	2,95%	16,84% 0,10%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00% 0,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00% 0,00%
	H ₂ O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00% 0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	76,26	76,26	76,26	178,82	178,82	79,14 76,38
	Densidad molar	kmol/m ³	19,25	19,25	19,25	12,61	13,90	19,07 16,67
	Densidad	kg/m ³	1468,26	1468,26	1468,23	2254,86	2485,21	1509,50 1273,14
	Entalpia molar	kJ/kmol	-285954,15	-285954,15	-285956,57	1725857,04	-480634,18	-291420,03 -260098,40
	Entropía molar	kJ/kmol °C	-37161,08	-37161,08	-37161,09	-734910,18	-741438,54	-56925,67 -14668,94
	Entalpía Másica	kJ/kg	-3749,69	-3749,69	-3749,73	9651,52	-2687,85	-3682,39 -3405,14
	Entropía másica	kJ/kg °C	-487,29	-487,29	-487,29	-4109,84	-4146,35	-719,31 -192,04
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	81,64	81,64	---	52386,39	5681,10	---
	Calor Específico	kJ/kg °C	1,07	1,07	---	292,96	31,77	---
	Viscosidad	cP	0,34	0,34	0,34	0,55	0,79	0,34 0,22

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			15	16	17	18	19	20	21
Condiciones	Fracción de vapor	%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	102,42	102,42	95,00	-0,74	-27,99	-27,99	-27,99
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	1193,61	61,34	61,34	79,27	79,27	17,82	61,45
	Flujo másico	kg/h	90126,03	5731,81	5731,84	5141,06	5141,06	1155,74	3985,32
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	4700,02	3,96	3,89	230,19	3,96	0,89	3,07
Composición	SbCl₅	%	0,61%	7,02%	7,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	45,07%	43,94%	43,94%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	0,60%	1,69%	1,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HF	%	53,62%	47,32%	47,32%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	66,38%	66,38%	66,38%	66,38%
	R-12	%	0,11%	0,03%	0,03%	33,62%	33,62%	33,62%	33,62%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	75,51	93,45	93,45	64,85	64,85	64,85	64,85
	Densidad molar	kmol/m ³	0,25	15,50	15,78	0,34	20,02	20,02	20,02
	Densidad	kg/m ³	19,18	1448,37	1474,66	22,33	1298,62	1298,62	1298,62
	Entalpia molar	kJ/kmol	-255052,31	70933,82	7809,06	-229887,96	-246777,16	-246777,16	-246777,16
	Entropía molar	kJ/kmol °C	-9562,75	-112884,86	-113055,17	182,86	113,91	113,91	113,91
	Entalpía Másica	kJ/kg	-3377,86	759,06	83,56	-3544,68	-3805,10	-3805,10	-3805,10
	Entropía másica	kJ/kg °C	-126,65	-1207,97	-1209,79	2,82	1,76	1,76	1,76
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	819,17	8864,64	8151,26	46,42	80,89	80,89	80,89
	Calor Específico	kJ/kg °C	10,85	94,86	87,23	0,72	1,25	1,25	1,25
	Viscosidad	cP	0,01	0,25	0,26	0,01	0,26	0,26	0,26

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			22	23	24	25	26	27	28
Condiciones	Fracción de vapor	%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	Temperatura	°C	-41,96	-41,96	-41,96	-54,80	-248,15	-248,15	-291,97
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	1,00	101,33	101,33	101,33
	Flujo molar	kmol/h	53,85	13,06	40,79	40,79	34,24	34,24	75,03
	Flujo másico	kg/h	1963,33	476,09	1487,24	1487,24	991,30	991,30	2478,53
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	133,09	0,44	100,81	720,76	837,30	837,30	1559,06
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	54,36%
	R-12	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	45,64%
Propiedades	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Peso molecular	kg/kmol	36,46	36,46	36,46	36,46	28,95	28,95	33,03
	Densidad molar	kmol/m ³	0,40	29,55	0,40	0,06	0,04	0,04	0,05
	Densidad	kg/m ³	14,75	1077,48	14,75	2,06	1,18	1,18	1,59
	Entalpia molar	kJ/kmol	-94785,30	-109029,66	-94785,01	-94785,01	-6,79	-6,79	-51484,48
	Entropía molar	kJ/kmol °C	146,33	84,72	146,33	161,85	-0,02	-0,02	6,49
	Entalpía Másica	kJ/kg	-2599,64	-2990,30	-2599,64	-2599,64	-0,23	-0,23	-1558,55
	Entropía másica	kJ/kg °C	4,01	2,32	4,01	4,44	0,00	0,00	0,20
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	32,77	65,24	32,77	30,07	29,04	29,04	29,24
	Calor Específico	kJ/kg °C	0,90	1,79	0,90	0,82	1,00	1,00	0,89
	Viscosidad	cP	0,01	0,20	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

		29	30	31	32	33	34	35
Condiciones	Fracción de vapor	%	100,00%	44,54%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	-187,91	-238,15	-238,15	-238,15	-248,15	-245,91
	Presión	atm	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33	101,33
	Flujo molar	kmol/h	81,33	81,33	36,23	45,11	155,15	200,16
	Flujo másico	kg/h	1840,86	1840,86	1026,66	814,20	2795,00	3607,54
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	2383,10	916,20	915,38	0,83	2,80	3,63
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	21,05%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-12	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aire	%	42,23%	42,23%	94,40%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	57,77%	57,77%	5,60%	100,00%	100,00%	78,95%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	22,63	22,63	28,34	18,02	18,02	21,90
	Densidad molar	kmol/m ³	0,03	0,09	0,04	54,52	55,35	55,17
	Densidad	kg/m ³	0,77	2,01	1,12	984,21	997,17	994,30
	Entalpia molar	kJ/kmol	-137818,30	-163484,72	-13247,47	-284150,26	-285826,74	-285449,72
	Entropía molar	kJ/kmol °C	-14,22	-88,74	0,25	-160,21	-163,22	-162,52
	Entalpía Másica	kJ/kg	-6089,18	-7223,19	-467,46	-15741,77	-15865,80	-15837,86
	Entropía másica	kJ/kg °C	-0,63	-3,92	0,01	-8,88	-9,06	-9,02
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	32,02	54,66	29,32	75,01	75,20	75,15
	Calor Específico	kJ/kg °C	1,41	2,41	1,03	4,16	4,17	4,17
	Viscosidad	cP	0,02	<empty>	0,02	0,72	0,91	0,86

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			36	37	38	39	40	41	42
Condiciones	Fracción de vapor	%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	Temperatura	°C	28,19	28,19	28,19	27,65	136,04	130,00	129,95
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	1,00	1,00
	Flujo molar	kmol/h	71,54	50,88	20,66	23,18	23,18	23,18	23,18
	Flujo másico	kg/h	8649,48	6151,40	2498,08	2802,82	2802,82	2802,82	2803,07
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	6,66	153,42	1,92	2,15	105,00	760,45	760,29
Composición	SbCl ₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl ₄	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,41%	0,41%	0,41%	29,76%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-12	%	100,00%	100,00%	100,00%	98,91%	98,91%	98,91%	10,88%
	R-13	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,68%	0,68%	0,68%	59,36%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H ₂ O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	120,91	120,91	120,91	120,93	120,93	120,93	120,94
	Densidad molar	kmol/m ³	10,74	0,33	10,74	10,76	0,22	0,03	0,03
	Densidad	kg/m ³	1298,95	40,09	1298,95	1301,65	26,69	3,69	3,69
	Entalpia molar	kJ/kmol	-514138,88	-497196,29	-514143,44	-513946,60	-488026,87	-488026,87	-488221,30
	Entropía molar	kJ/kmol °C	179,90	236,12	179,90	180,69	262,47	278,25	323,47
	Entalpía Másica	kJ/kg	-4252,19	-4112,08	-4252,20	-4249,81	-4035,48	-4035,48	-4036,77
	Entropía másica	kJ/kg °C	1,49	1,95	1,49	1,49	2,17	2,30	2,67
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	122,00	79,55	122,00	124,08	86,24	83,58	86,10
	Calor Específico	kJ/kg °C	1,01	0,66	1,01	1,03	0,71	0,69	0,71
	Viscosidad	cP	0,20	0,01	0,20	0,21	0,02	0,02	0,02

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			43	44	45	46	47	48	49
Condiciones	Fracción de vapor	%	100,00%	41,11%	41,11%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	235,85	44,00	44,00	-15,13	-34,95	-34,95	-34,95
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	23,18	23,18	23,18	23,18	21,35	21,35	7,75
	Flujo másico	kg/h	2803,07	2803,07	2803,07	2803,07	2230,78	2230,78	809,90
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	134,57	29,55	29,55	1,90	50,46	1,68	0,61
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	29,76%	29,76%	29,76%	29,76%	0,00%	0,00%	0,00%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-12	%	10,88%	10,88%	10,88%	10,88%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-13	%	59,36%	59,36%	59,36%	59,36%	100,00%	100,00%	100,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	120,94	120,94	120,94	120,94	104,47	104,47	104,47
	Densidad molar	kmol/m ³	0,17	0,78	0,78	12,19	0,42	12,68	12,68
	Densidad	kg/m ³	20,83	94,86	94,86	1473,89	44,21	1324,30	1324,30
	Entalpia molar	kJ/kmol	-478832,82	-511587,52	-511587,52	-519054,72	-699608,52	-712345,87	-712345,87
	Entropía molar	kJ/kmol °C	328,19	229,10	229,10	197,81	212,75	159,27	159,27
	Entalpía Másica	kJ/kg	-3959,15	-4230,06	-4230,06	-4291,72	-6696,78	-6818,70	-6818,70
	Entropía másica	kJ/kg °C	2,71	1,89	1,89	1,64	2,04	1,52	1,52
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	98,80	107,01	107,01	118,24	65,83	104,86	104,86
	Calor Específico	kJ/kg °C	0,82	0,88	0,88	0,98	0,63	1,00	1,00
	Viscosidad	cP	0,02	0,26	0,26	0,36	0,01	0,18	0,18

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			50	51	52	53	54	55	56
Condiciones	Fracción de vapor	%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	-34,95	47,37	97,11	97,11	55,89	23,56	23,56
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	13,60	23,65	14,07	9,58	4,07	4,07	1,56
	Flujo másico	kg/h	1420,88	3158,91	1776,79	1382,12	493,24	493,24	188,40
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	1,07	2,26	55,38	1,01	13,96	0,37	0,14
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	0,00%	41,52%	20,78%	72,01%	3,75%	3,75%	3,75%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-12	%	0,00%	52,36%	70,06%	26,33%	89,93%	89,93%	89,93%
	R-13	%	100,00%	6,12%	9,16%	1,66%	6,32%	6,32%	6,32%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	104,47	133,57	126,25	144,34	121,11	121,11	121,11
	Densidad molar	kmol/m ³	12,68	10,47	0,25	9,47	0,29	10,92	10,92
	Densidad	kg/m ³	1324,30	1398,04	32,08	1367,45	35,34	1321,99	1321,99
	Entalpía molar	kJ/kmol	-712345,87	-364945,42	-427489,51	-233166,41	-492670,45	-512355,38	-512355,38
	Entropía molar	kJ/kmol °C	159,27	241,06	289,16	300,25	251,38	185,34	185,34
	Entalpía Másica	kJ/kg	-6818,70	-2732,22	-3386,14	-1615,44	-4067,98	-4230,52	-4230,52
	Entropía másica	kJ/kg °C	1,52	1,80	2,29	2,08	2,08	1,53	1,53
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	104,86	126,90	86,17	151,66	81,14	128,78	128,78
	Calor Específico	kJ/kg °C	1,00	0,95	0,68	1,05	0,67	1,06	1,06
	Viscosidad	cP	0,18	0,31	0,02	0,31	0,01	0,22	0,22

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Tabla 1.19. Continuación balances de materia

			57	58	59	60	61
Condiciones	Fracción de vapor	%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
	Temperatura	°C	23,56	147,19	152,44	152,44	94,95
	Presión	atm	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Flujo molar	kmol/h	2,52	11,23	4,17	7,06	7,06
	Flujo másico	kg/h	304,85	1702,20	624,93	1077,27	1077,34
	Flujo Volumétrico	m ³ /h	0,23	1,30	18,17	0,83	0,75
Composición	SbCl₅	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-11	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CCl₄	%	3,75%	93,21%	87,91%	96,34%	96,35%
	HF	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	HCl	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	R-12	%	89,93%	6,79%	12,09%	3,65%	3,64%
	R-13	%	6,32%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
	Aire	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	H₂O	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Propiedades	Peso molecular	kg/kmol	121,11	151,59	149,84	152,62	152,62
	Densidad molar	kmol/m ³	10,92	8,63	0,23	8,54	9,42
	Densidad	kg/m ³	1321,99	1307,52	34,39	1303,99	1437,02
	Entalpia molar	kJ/kmol	-512355,38	-142539,84	-138427,66	-129771,22	-137513,93
	Entropía molar	kJ/kmol °C	185,34	344,84	397,94	350,31	321,02
	Entalpía Másica	kJ/kg	-4230,52	-940,32	-923,83	-850,30	-901,01
	Entropía másica	kJ/kg °C	1,53	2,27	2,66	2,30	2,10
	Calor Específico Molar	kJ/kmol °C	128,78	138,11	98,15	140,40	135,64
	Calor Específico	kJ/kg °C	1,06	0,91	0,66	0,92	0,89
	Viscosidad	cP	0,22	0,28	0,01	0,28	0,42

1.8. SERVICIOS DE PLANTA

En esta sección se detallan las distintas necesidades y servicios que requiere la actividad industrial:

- Energía Eléctrica: Conexión des de la línea de 20 kV a pie de parcela. Se ha previsto también una estación transformadora.
- Gas natural: Conexión a pie de parcela a media presión (1.5 kg/cm^2).
- Alcantarillado: Red unitaria al centro de la calle a una profundidad de 3.5 m (diámetro del colector de 800 mm).
- Agua de incendios: La máxima presión es de 4 kg/cm^2 . Se ha diseñado una estación de bombeo i reserva de agua.
- Agua de red: Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm^2 , con un diámetro de 200 mm.
- Terreno: Resistencia del terreno de 2 kg/cm^2 a 1.5 m de profundidad sobre gravas.

1.8.5. EQUIPOS DE TÉRMICOS

Para la realización óptima del proceso, es necesario, a lo largo de este suministrar y retirar energía en distintos niveles. Para lo cual es necesario el diseño de los equipos suministradores o generadores de esta energía, los cuales serán una caldera (nivel alto), una torre de agua (nivel medio) y un enfriador o Chiller (nivel bajo).

Ahora en la planta esta energía se entregará o retirará mediante un fluido secundario, el cual será el aceite térmico “Dowtherm A” para el caso de los dos niveles más altos y el “Dowtherm J” para el de menor nivel de energía. Estos fluidos recibirán o se le extraerá la energía, según sea necesario, en los distintos equipos ya mencionados, a excepción del de mayor nivel de energía, el cual se incorporará en un intercambiador y se le entregará la energía de la caldera mediante el vapor producido por esta última.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Antes de entregarle la energía a estos aceites térmicos se hace necesario el uso de tanque colectores para estos, ya que no todo el aceite térmico de un determinado nivel vendrá a la misma temperatura de toda la planta. Estos tanques ya diseñados y sus características, se encuentran en la siguiente tabla. Además para la puesta en marcha estos tanques se utilizaran como almacenadores de los respectivos aceites.

Tabla 1.20. Datos de tanques colectores de aceite térmico

Aceite térmico	Tanque	V _{tot} (m ³)	D (m)	h (m)
"Dowtherm A" 170°C	TK-1501	35,5	3,1	4,7
"Dowtherm A" 50°C	TK-1502	9,7	2,0	3,0
"Dowtherm J" -50°C	TK-1503	71,4	3,9	5,9

A continuación se muestran las hojas de especificaciones para los 3 tanques mencionados:

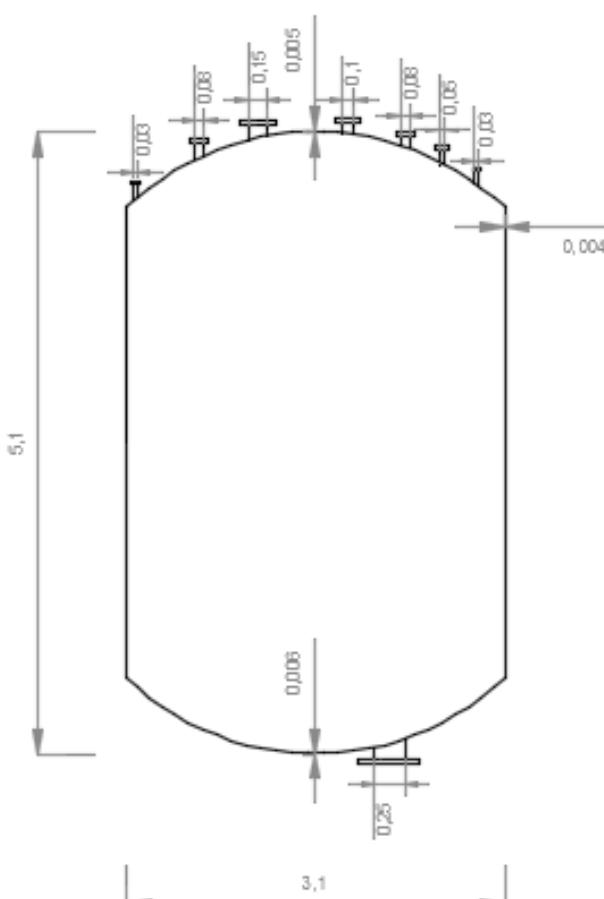
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE		Área 1500			
	Ítem TK-1501		Fecha: 15/05/2015			
	Planta de producción de Freon-13	Revisado:	26/05/2015			
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 1 de 2				
DATOS GENERALES						
DENOMINACIÓN	Tanque colector de Dowther A TK-1501					
ACCESORIOS	-					
FINALIDAD	Acumular aceite térmico Dowther A proveniente de toda la planta.					
FLUIDO	Dowtherm A					
PRESIÓN DE TRABAJO (atm)	1					
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	150					
DENSIDAD (kg/m³)	943,3					
ORIENTACIÓN	Vertical					
CAPACIDAD (m³)	35,5					
OCUPACIÓN (%)	50%					
DIÁMETRO (m)	3,1					
ALTURA (m)	4,7					
DATOS DE DISEÑO						
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	AISI 304 L					
PRESIÓN DE DISEÑO (atm)	1,1					
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	170					
NORMA DE DISEÑO	ASME					
FACTOR DE ESTRÉS S (atm)	18800					
FACTOR DE SOLDADURA E	0,85					
GEOMETRIA CUERPO	Cilíndrico					
GEOMETRIA CABEZAL	Torisférico					
GEOMETRIA FONDO	Torisférico					
ALTURA CUERPO (m)	3,853					
ALTURA CABEZAL (m)	0,621					
ALTURA FONDO (m)	0,625					
VOLUMEN CUERPO (m³)	29,3					
VOLUMEN CABEZAL (m³)	3,1					
VOLUMEN FONDO (m³)	3,1					
ESPESOR CUERPO (mm)	4					
ESPESOR CABEZAL (mm)	5					
ESPESOR FONDO (mm)	6					
SOBREESPESOR DE CORROSIÓN (mm)	2					
PESO TANQUE VACÍO (kg)	1544					
PESO LÍQUIDO (kg)	16736,6					
PESO TANQUE EN OPERACIÓN (kg)	18280,6					
AISLANTE						
AISLANTE						
GROSOR (mm)						
VENTEO						
NORMAL (m³/h)	-					
EMERGENCIA (m³/h)	-					
OBSERVACIONES						

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1501	Fecha: 15/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2
 A technical drawing of a tank cross-section. The overall height is 5,1 and the width is 3,1. The top edge has a thickness of 0,004. The top flange has a thickness of 0,006. The bottom flange has a thickness of 0,25. The wall thickness varies along the bottom edge, with values of 0,006, 0,008, 0,006, 0,008, 0,006, 0,008, 0,006, 0,008, 0,006, and 0,008. The top flange has a thickness of 0,005.		

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

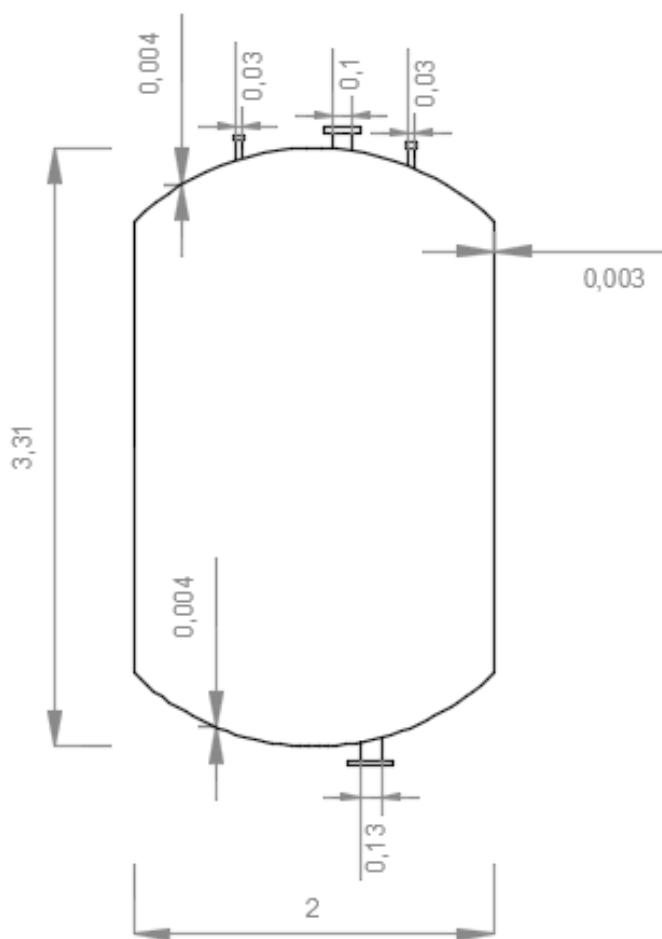
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1502	Fecha: 15/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 1 de 2
DATOS GENERALES		
DENOMINACIÓN	Tanque colector de Dowther A TK-1502	
ACCESORIOS	-	
FINALIDAD	Acumular aceite térmico Dowther A proveniente de toda la planta.	
FLUIDO	Dowtherm A	
PRESIÓN DE TRABAJO (atm)	1	
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	60	
DENSIDAD (kg/m³)	1027,8	
ORIENTACIÓN	Vertical	
CAPACIDAD (m³)	9,7	
OCUPACIÓN (%)	50%	
DIÁMETRO (m)	2	
ALTURA (m)	3	
DATOS DE DISEÑO		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	AISI 304 L	
PRESIÓN DE DISEÑO (atm)	1,1	
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	80	
NORMA DE DISEÑO	ASME	
FACTOR DE ESTRÉS S (atm)	18800	
FACTOR DE SOLDADURA E	0,85	
GEOMETRIA CUERPO	Cilíndrico	
GEOMETRIA CABEZAL	Torisférico	
GEOMETRIA FONDO	Torisférico	
ALTURA CUERPO (m)	2,5	
ALTURA CABEZAL (m)	0,407	
ALTURA FONDO (m)	0,407	
VOLUMEN CUERPO (m³)	8	
VOLUMEN CABEZAL (m³)	0,85	
VOLUMEN FONDO (m³)	0,85	
ESPESOR CUERPO (mm)	3	
ESPESOR CABEZAL (mm)	4	
ESPESOR FONDO (mm)	4	
SOBREESPESOR DE CORROSIÓN (mm)	2	
PESO TANQUE VACÍO (kg)	485,6	
PESO LÍQUIDO (kg)	5000	
PESO TANQUE EN OPERACIÓN (kg)	5485,6	
AISLANTE		
AISLANTE		
GROSOR (mm)		
VENTEO		
NORMAL (m³/h)	-	
EMERGENCIA (m³/h)	-	
OBSERVACIONES		

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1502	Fecha: 15/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2



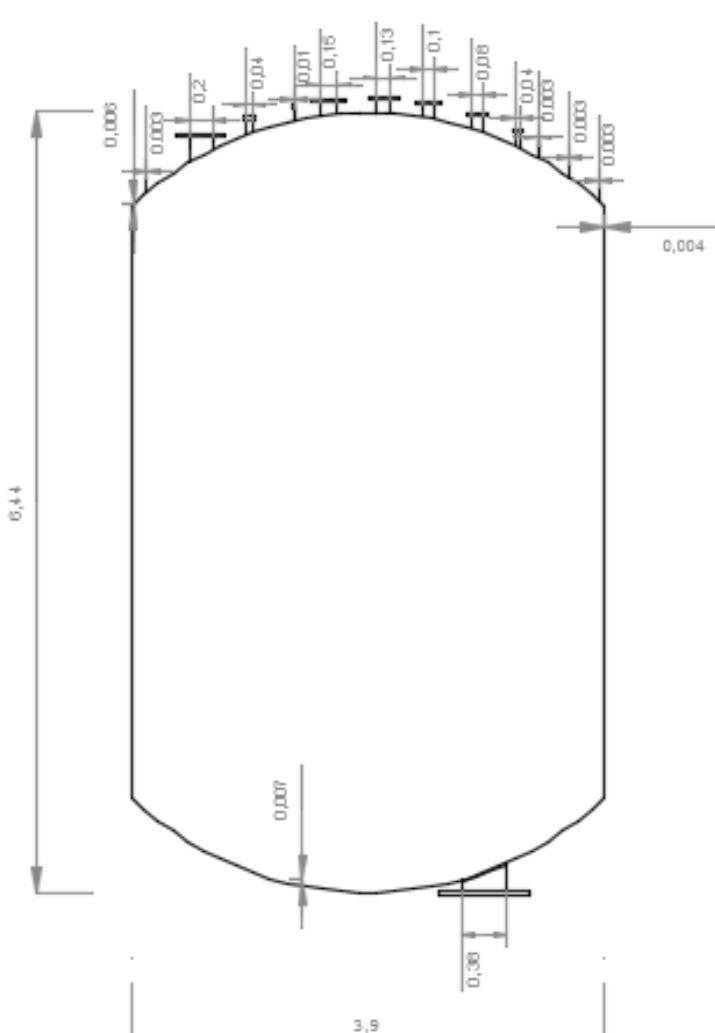
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1503	Fecha: 15/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 1 de 2
DATOS GENERALES		
DENOMINACIÓN	Tanque colector de Dowther J TK-1503	
ACCESORIOS	-	
FINALIDAD	Acumular aceite térmico Dowther J proveniente de toda la planta.	
FLUIDO	Dowtherm J	
PRESIÓN DE TRABAJO (atm)	1	
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	-35	
DENSIDAD (kg/m³)	903,5	
ORIENTACIÓN	Vertical	
CAPACIDAD (m³)	71,4	
OCUPACIÓN (%)	50	
DIÁMETRO (m)	3,9	
ALTURA (m)	5,9	
DATOS DE DISEÑO		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	AISI 304 L	
PRESIÓN DE DISEÑO (atm)	1,1	
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	-15	
NORMA DE DISEÑO	ASME	
FACTOR DE ESTRÉS S (atm)	18800	
FACTOR DE SOLDADURA E	0,85	
GEOMETRÍA CUERPO	Cilíndrico	
GEOMETRÍA CABEZAL	Torisférico	
GEOMETRÍA FONDO	Torisférico	
ALTURA CUERPO (m)	4,866	
ALTURA CABEZAL (m)	0,783	
ALTURA FONDO (m)	0,787	
VOLUMEN CUERPO (m³)	59	
VOLUMEN CABEZAL (m³)	6,2	
VOLUMEN FONDO (m³)	6,23	
ESPESOR CUERPO (mm)	4	
ESPESOR CABEZAL (mm)	6	
ESPESOR FONDO (mm)	7	
SOBREESPESOR DE CORROSIÓN (mm)	2	
PESO TANQUE VACÍO (kg)	2560,7	
PESO LÍQUIDO (kg)	32259,3	
PESO TANQUE EN OPERACIÓN (kg)	34819,9	
AISLANTE		
AISLANTE	-	
GROSOR (mm)	-	
VENTEO		
NORMAL (m³/h)	-	
EMERGENCIA (m³/h)	-	
OBSERVACIONES		

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1503	Fecha: 15/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2
 <p>The technical drawing shows a cross-section of a tank. Key dimensions include a total height of 6,44 meters, a top width of 0,006 meters, a bottom width of 3,9 meters, and a bottom thickness of 0,30 meters. The top edge features a series of stepped or flared sections with various thicknesses: 0,000, 0,2, 0,04, 0,01, 0,15, 0,13, 0,1, 0,08, 0,04, and 0,003 meters. A horizontal dimension of 0,004 is also indicated.</p>		

1.8.5.3. TORRE DE REFRIGERACIÓN

Equipos de baja complejidad, bajo consumo energético, simple mantenimiento y control operativo. Su desventaja es que su operación está controlada por la temperatura de bulbo húmedo que hay en el exterior y su bajo salto térmico (máximo 10°C).

Estos equipos, dada su naturaleza y el uso del agua como elemento de refrigeración, tienen asociados riesgos químicos e higiénicos o sanitarios.

- Sanitarios por su capacidad potencial de proliferación y dispersión de cepas de *Legionella pneumophila*. Estos riesgos deben minimizarse mediante un mantenimiento de la calidad del agua de refrigeración.
- Químicos por la variación de la composición de la matriz del agua pudiéndola hacer agresiva o incrustante afectando a los equipos y a su duración.

Su operación es mediante dos equipos electrónicos, el primero es un ventilador que se encuentra en la parte superior de la torre el cual hace circular el viento desde la parte media baja de la torre hasta la parte superior, por el interior de esta, y así este viendo enfriar el agua que cae en forma de ducha.

Esta agua, que se enfriá con el viento, cae en la parte baja de la torre donde se acumula y se calienta producto de un serpentín que se encuentra sumergido en esta, y es donde se le extrae el calor a un fluido secundario, esta agua vuelve a circular retornando a la parte superior de la torre mediante el uso de una bomba. Es necesario mencionar que producto del enfriamiento del agua mediante el uso de aire, este último se lleva una pequeña porción de agua, la cual hay que ir reponiendo.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

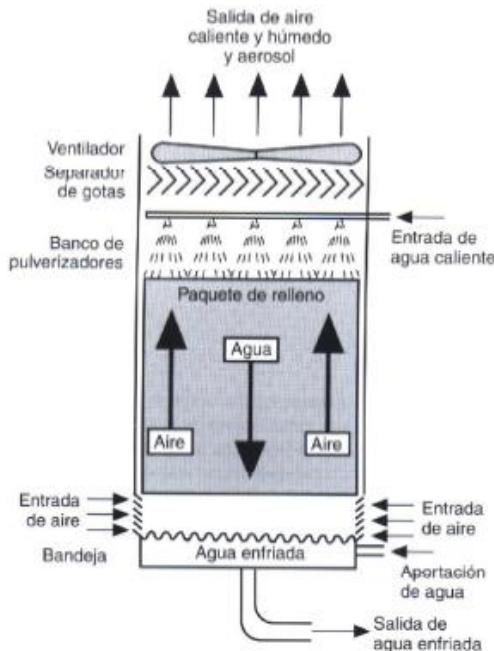


Figura 1.21. Esquema de funcionamiento de una torre de refrigeración

Para el caso de nuestra planta, el fluido secundario corresponde a aceite térmico Dowtherm A, el cual se encuentra a 60°C y hay que disminuir su temperatura hasta 50°C, mediante el paso de este por el serpentín que se encuentra sumergido en el agua de la parte baja de la torre.

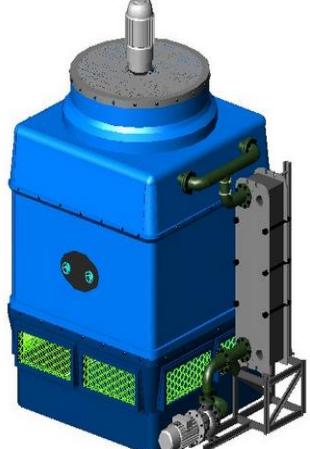
Mediante un balance de energía, se determinó que la cantidad de energía que debe retirar la torre debe ser 350 kw, operando la torre a un 80%. El proveedor EWK entrega catalogo el cual ofrece una diversa variedad de torres, y se escogió el modelo “EWK-I”, y las especificaciones son las siguientes:

Tabla 1.21. Características de la torre de refrigeración

Marca	EWK
Modelo	EWK-I 324
Dissipación (kw)	347
Potencia Bomba (kw)	5,5
Potencia Ventilador (kw)	4,0

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TORRE	Área 1500
	Ítem TR-1501	Fecha: 11/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 1 de 2
DATOS GENERALES		
DENOMINACIÓN	TORRE DE FRÍO	
FINALIDAD	ENFRIAR ACEITE TÉRMICO DOWTHERM A HASTA 50°C	
PRODUCTO MANIPULADO	AGUA-AIRE	
DATOS DE OPERACIÓN		
PROVEEDOR	EWK	
EMPRESA	EWK	
MODELO	EWK-I	
NÚMERO DE MODELO	324	
DISIPACIÓN (kW)	347	
CANTIDAD	1	
POTENCIA BOMBA (kW)	5,5	
POTENCIA VENTILADOR (kW)	5,0	
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
LARGO (mm)	2450	
ANCHO (mm)	1855	
ALTO (mm)	2890	
PESO VACÍO (kg)	1350	
PESO SERVICIO (kg)	2800	

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO



HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TORRE

Área 1500

Ítem TR-1501

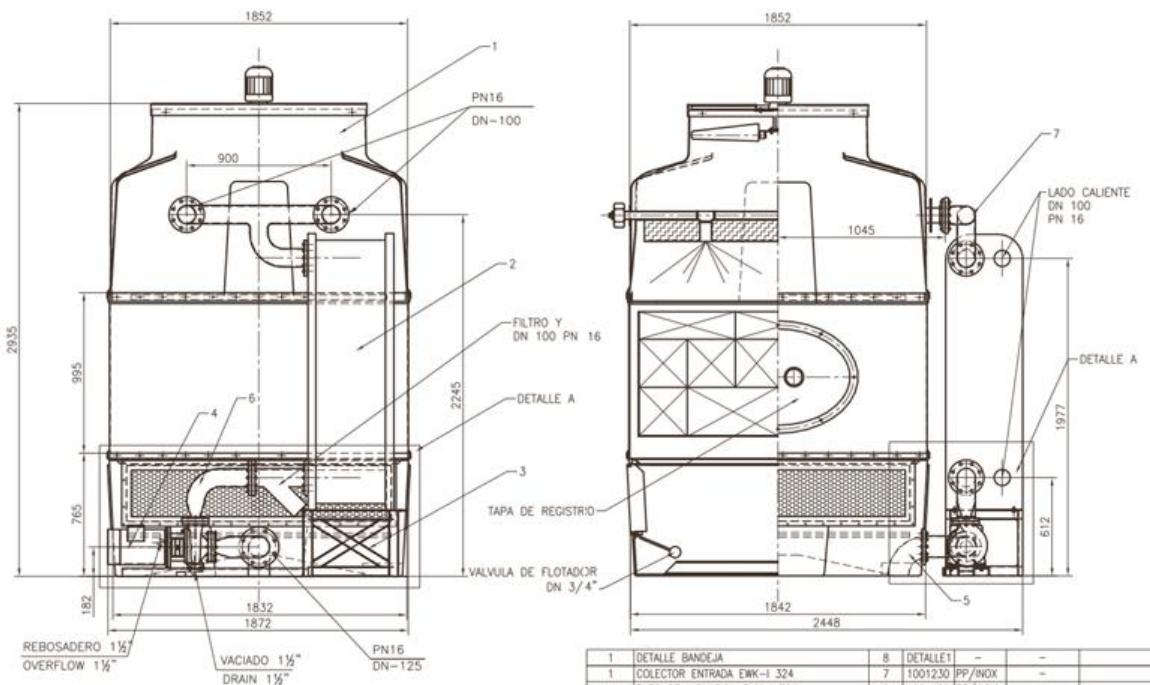
Fecha: 10/05/2015

Planta de producción de Freon-13

Revisado: 26/05/2015

Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles

Hoja 2 de 2



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.8.5.4. EQUIPOS CHILLER

Este es un sistema más complejo que el anterior, y al igual que la caldera es un ciclo cerrado, pero al igual que la torre de frío, la energía que se entrega es mediante equipos eléctricos, específicamente un compresor.

Para comenzar se comprime el gas, aumentando su presión, luego este se hace pasar por un condensador, en el cual entrega energía y el fluido se condensa. Luego mediante el uso de una válvula de expansión se vuelve la presión de fluido en estado líquido, el cual entra a un evaporador y es donde ocurre el intercambio de calor con un fluido secundario, en donde entrega calor latente evaporados, y enfriando el fluido secundario.

Para el caso del proceso, el fluido que circulará por el ciclo de compresión será amoniaco a -60°C, mientras que el fluido secundario a enfriar será el aceite térmico Dowtherm J desde -35 a -50°C.

Según el balance de energía el calor a retirar por el ciclo de compresión es de 3300 kW, operando este último a un 80% de su capacidad. El proveedor GEA Grasso chillers, ofrece catálogos en los cuales se escoge el siguiente equipo de frío:

Tabla 1.22. Características del equipo de frío o Chiller

Marca	GEA
Modelo	GEA Grasso FX P
Disipación (kw)	3260
Modelo Compresor	GEA Grasso LT-XA
Potencia Compresor (kw)	3300

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE CHILLER	Área 1500
	Ítem CH-1501	Fecha: 10/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 1 de 1
DATOS GENERALES		
DENOMINACIÓN	Ciclo de frío por compresión de amoniaco	
FINALIDAD	Enfriar aceite térmico Dowtherm J hasta -50°C	
PRODUCTO MANIPULADO	Amoníaco	
DATOS DE OPERACIÓN		
PROVEEDOR	GEA	
EMPRESA	GEA	
MODELO	GEA Grasso FX P	
NÚMERO DE MODELO	3300	
CAPACIDAD (kW)	3260	
CANTIDAD	1	
COMPRESOR		
MARCA	GEA	
MODELO	GEA Grasso LT-XA	
POTENCIA (kW)	3300	
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
LARGO (mm)	6700	
ANCHO (mm)	3000	
ALTO (mm)	3650	

1.8.5.5. CALDERA

Las calderas de vapor son equipos de ciclo cerrado, en la cual, mediante el uso de algún combustible, gas natural en nuestro caso, se proporciona energía a agua que se encuentra en estado líquida y alta temperatura (sobre 80°C), esta agua se evapora y adquiere una gran cantidad de energía por unidad de masa debido a su alto calor latente, la cual se suministrara en nuestra planta mediante el uso de un fluido secundario.

La caldera se utilizara específicamente para elevar la temperatura del aceite térmico Dowtherm A desde 150 hasta 170°C, mediante la producción de vapor a 10 bar el cual tiene una temperatura de 180°C. Este intercambio de calor se realizará en un intercambiador de calor diseñado específicamente para estas dos corrientes.

Según el balance de energía necesario para la producción de calor de la caldera, y que esta opere a un 80% de su capacidad, esta debe producir 4,8 toneladas de vapor por hora. El proveedor Babcock-Wanson ofrece, mediante el uso de catálogos, una caldera que produce 5 ton/h, la cual es del tipo serpentín modelo BWD, sus características se encuentran a continuación:

Tabla 1.23. Características del equipo de calor o caldera

Marca	Babcock-Wanson
Modelo	BWD 50
Volumen agua (m ³)	9,55
Peso en carga (kg)	14500

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

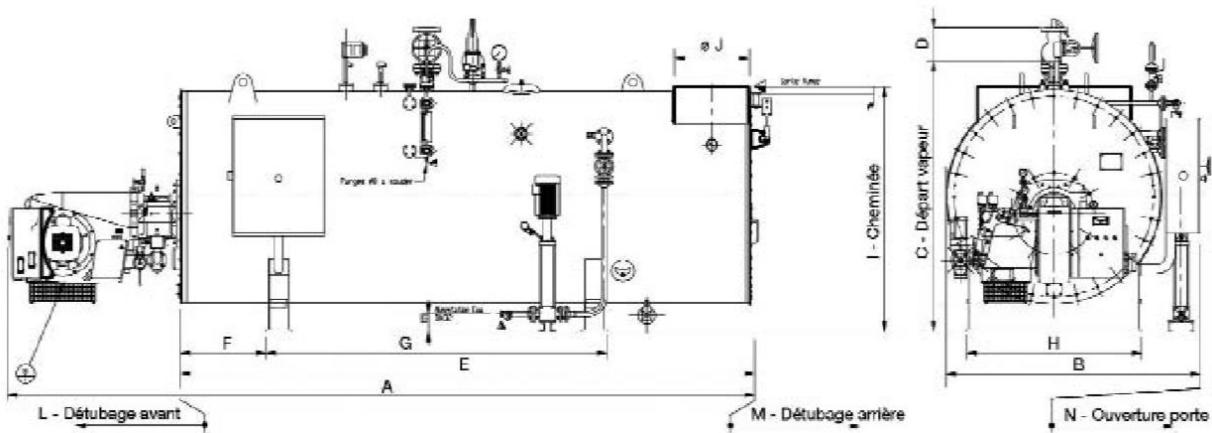
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE CALDERA	Área 1500
	Ítem C-1501	Fecha: 10/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 1 de 2
DATOS GENERALES		
DENOMINACIÓN	CALDERA DE VAPOR DE AGUA	
FINALIDAD	Calefaccionar aceite térmico Dowtherm A hasta 170°C	
PRODUCTO MANIPULADO	Vapor de Agua	
DATOS DE OPERACIÓN		
PROVEEDOR	Grupe CNEM	
EMPRESA	Babcock Wanson International	
MODELO	BWD	
NÚMERO DE MODELO	50	
CAPACIDAD (Tn/h)	5	
POTENCIA NETA (kW)	3418	
CANTIDAD	1	
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
LARGO (mm)	6700	
ANCHO (mm)	3000	
ALTO (mm)	3650	
PESO (kg)	24750	

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE CALDERA	Área 1500
	Ítem C-1501	Fecha: 10/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 2 de 2



A (mm)	7700	H (mm)	1850
B (mm)	2660	I (mm)	2360
C (mm)	2580	J (mm)	φ 450
D (mm)	400	L (mm)	4750
E (mm)	6200	M (mm)	4250
F (mm)	595	N (mm)	800
G (mm)	3950		

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

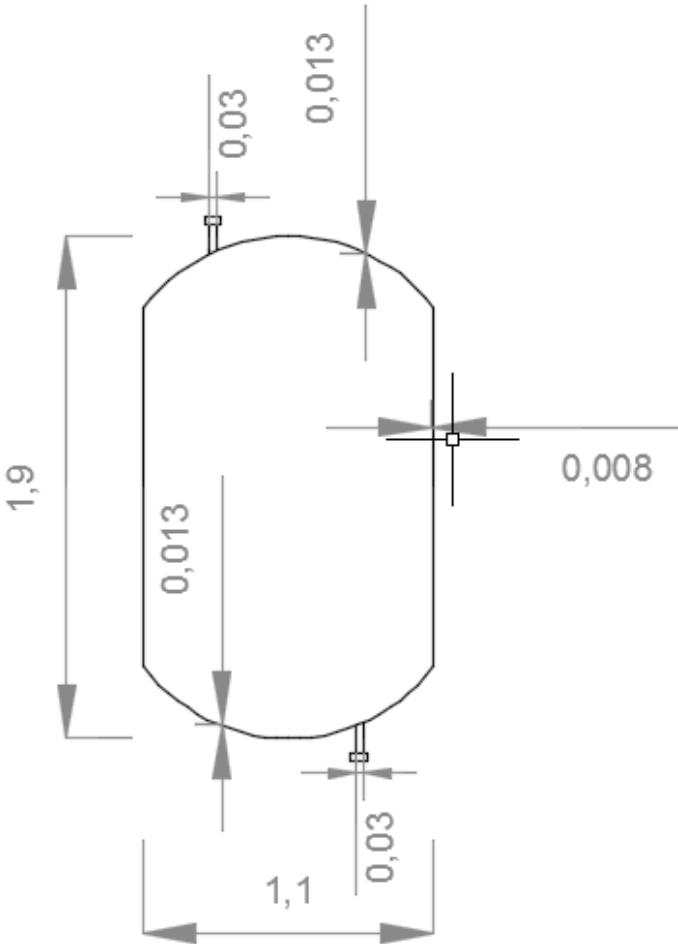
A demás se debe contar con un intercambiador de calor y dos tanques, uno horizontal colector de vapor, y otro vertical colector del condensado ya utilizado.

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE		Área 1500			
	Ítem TK-1504	Fecha:	11/05/2015			
	Planta de producción de Freon-13	Revisado:	26/05/2015			
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 1 de 2				
DATOS GENERALES						
DENOMINACIÓN	Tanque colector de condensado de vapor TK-1504					
ACCESORIOS	-					
FINALIDAD	Acumular condensado proveniente del IC-1501.					
FLUIDO	Condensado de Vapor de Agua					
PRESIÓN DE TRABAJO (atm)	9,87					
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	180					
DENSIDAD (kg/m³)	886,6					
ORIENTACIÓN	Vertical					
CAPACIDAD (m³)	1,8					
OCUPACIÓN (%)	80					
DIÁMETRO (m)	1,1					
ALTURA (m)	1,7					
DATOS DE DISEÑO						
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	AISI 304 L					
PRESIÓN DE DISEÑO (atm)	10,85					
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	200					
NORMA DE DISEÑO	ASME					
FACTOR DE ESTRÉS S (atm)	18800					
FACTOR DE SOLDADURA E	0,85					
GEOMETRÍA CUERPO	Cilíndrico					
GEOMETRÍA CABEZAL	Torisférico					
GEOMETRÍA FONDO	Torisférico					
ALTURA CUERPO (m)	1,36					
ALTURA CABEZAL (m)	0,272					
ALTURA FONDO (m)	0,272					
VOLUMEN CUERPO (m³)	1,4					
VOLUMEN CABEZAL (m³)	0,18					
VOLUMEN FONDO (m³)	0,18					
ESPESOR CUERPO (mm)	8					
ESPESOR CABEZAL (mm)	13					
ESPESOR FONDO (mm)	13					
SOBREESPESOR DE CORROSIÓN (mm)	2					
PESO TANQUE VACÍO (kg)	445,3					
PESO LÍQUIDO (kg)	781,3					
PESO TANQUE EN OPERACIÓN (kg)	1226,5					
AISLANTE						
AISLANTE						
GROSOR (mm)						
VENTEO						
NORMAL (m³/h)	-					
EMERGENCIA (m³/h)	-					
OBSERVACIONES						

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	ÁREA 1500
	Ítem TK-1504	Fecha: 11/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2



The technical drawing shows a vertical tank with a flanged top and bottom. Key dimensions are indicated: total height of 1,9, top flange thickness of 0,013, bottom flange thickness of 0,013, bottom width of 1,1, bottom flange thickness of 0,03, top flange thickness of 0,03, and a side wall thickness of 0,008.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

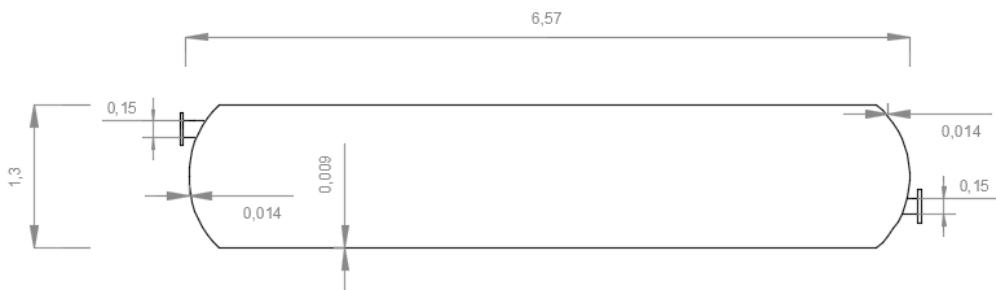
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE			
	ÁREA 1500			
	Ítem TK-1505	Fecha: 12/05/2015		
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015		
Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles		Hoja 1 de 2		
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	Tanque colector de Vapor TK-1505			
ACCESORIOS	-			
FINALIDAD	Acumular Vapor proveniente de la caldera.			
FLUIDO	Vapor de agua			
PRESIÓN DE TRABAJO (atm)	9,87			
TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	180			
DENSIDAD (kg/m³)	5,15			
ORIENTACIÓN	Horizontal			
CAPACIDAD (m³)	8,1			
OCCUPACIÓN (%)	100			
DIÁMETRO (m)	1,3			
ALTURA (m)	6,4			
DATOS DE DISEÑO				
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	AISI 304 L			
PRESIÓN DE DISEÑO (atm)	10,85			
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	200			
NORMA DE DISEÑO	ASME			
FACTOR DE ESTRÉS S (atm)	18800			
FACTOR DE SOLDADURA E	0,85			
GEOMETRÍA CUERPO	Cilíndrico			
GEOMETRÍA CABEZAL	Torisférico			
GEOMETRÍA FONDO	Torisférico			
ALTURA CUERPO (m)	5,969			
ALTURA CABEZAL (m)	0,301			
ALTURA FONDO (m)	0,301			
VOLUMEN CUERPO (m³)	7,6			
VOLUMEN CABEZAL (m³)	0,25			
VOLUMEN FONDO (m³)	0,25			
ESPESOR CUERPO (mm)	9			
ESPESOR CABEZAL (mm)	14			
ESPESOR FONDO (mm)	14			
SOBREESPESOR DE CORROSIÓN (mm)	2			
PESO TANQUE VACÍO (kg)	1890,9			
PESO LÍQUIDO (kg)	20,8			
PESO TANQUE EN OPERACIÓN (kg)	1911,7			
AISLANTE				
AISLANTE				
GROSOR (mm)				
VENTEO				
NORMAL (m³/h)	-			
EMERGENCIA (m³/h)	-			
OBSERVACIONES				

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TANQUE	Área 1500
	Ítem TK-1505	Fecha: 12/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2



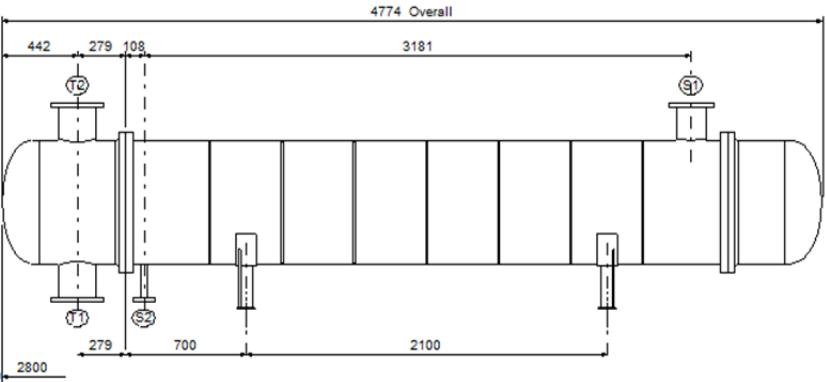
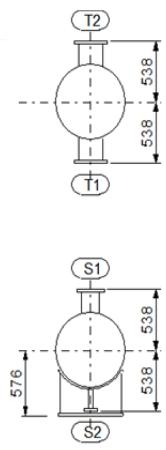
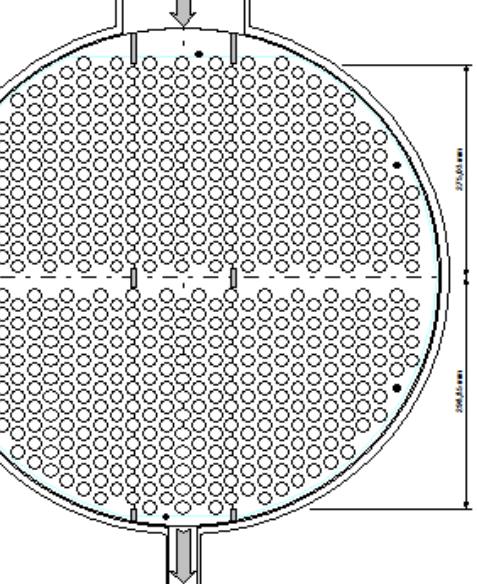
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA ESPECIFICACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR						Área 1500						
	Ítem IC-1501						Fecha: 12/05/2015						
	Planta de producción Freon-13						Revisado: 26/05/2015						
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles						Hoja 1 de 2						
TAMAÑO /	635	3500	mm	TIPO	BEM	Hor	CONECTADO EN	1	Paralelo 1 series				
ÁREA/UNIDAD(ef.)	115,5	m ²		CORAZAS/UNIT		1	ÁREA/CORAZA(ef.)	115,5	m ²				
RENDIMIENTO DE LA UNIDAD													
LOCALIZACIÓN FLUIDO			Coraza			Tubos							
NOMBRE FLUIDO			Vapor de Caldera			Dowtherm A							
CAUDAL FLUIDO, TOTAL			kg/h			3703							
VAPOR (IN/OUT)			kg/h			0							
LÍQUIDO			kg/h			3703							
TEMPERATURA (IN/OUT)			°C			180							
DENSIDAD (VAP / LIQ)			kg/m ³			4,87 / -							
VISCOSEIDAD			mPa·s			0,016 / -							
PESO MOLECULAR						18,02							
CALOR ESPECÍFICO			kJ/(kg·K)			1,929 / -							
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			W/(m·K)			0,032 / -							
CALOR LATENTE			kJ/kg			2015,4							
PRESIÓN (abs)			atm			10,076							
VELOCIDAD			m/s			3,21							
CAÍDA PRESIÓN PERM/CALC.			atm			0,255							
RESISTENCIA ENSUCIAMIENTO (min)			m ² ·K/W			0,001							
CALOR INTERCAMBIADO			2077,9 kW			DTML CORREGIDA							
COEFICIENTE GLOBAL INTERCAMBIO, SERV.			943,1			Sucio							
CONSTRUCCIÓN DE UNA CORAZA							Esbozo						
			Coraza			Tubos							
PRESIÓN DE DISEÑO			atm			11,568							
TEMPERATURA DE DISEÑO			C			215,56							
NUMERO PASOS POR CORAZA						1							
TOLERANCIA DE CORROSIÓN			mm			3,18							
CONEXIONES	IN	mm	1	152,4	/ -	1	203,2	/ -					
	OUT	mm	1	31,75	/ -	1	203,2	/ -					
	NOMINAL	mm		/	-		/	-					
NUM. TUBOS	566	OD	19,05	Tks-	Avg	2,11	mm	Long.	3500 mm				
TIPO TUBO	PLAIN				MATERIAL			SS 304					
CORAZA	SS 304	ID	651	OD	669,92	mm	CUBIERTA CORAZA						
CANAL O CAPÓ	SS 304				CUBIERTA CANAL			-					
HAZ DE TUBOS ESTACIONARIO	SS 304				HAZ DE TUBOS FLOTANTE			-					
CUBIERTA CABEZA FLOTANTE	-				PROTECCIÓN DE PINZAMIENTO			Ninguna					
BAFFLE-CRUZ	SS 304	Tipo	Segmento único		Corte(%d)	40	V	Espacio: c/c	419,1 mm				
BAFFLE-LONG	-	Tipo junta					Inlet	448,25 mm					
SOPORTE TUBOS	U-bend				Type								
SELLO BYPASS	Junta tubos-placa tubular				Exp.								
JUNTA DE DILATACIÓN	-	Tipo											
RHOV2-BOQUILLA ENTRADA	625	Entrada haz		112			Salida haz	1	kg/(m·s ²)				
JUNTAS - CORAZA	-	Tubos		Cabeza metálica plana Fibre									
CABEZA FLOTANTE	-												
CÓDIGO REQUERIMIENTOS	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class			R - refinery service					
PESO/CORAZA	2999,8	Lleno de agua		4193,2			Haz tubos	1997,3	kg				

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA ESPECIFICACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR	Área 1500
	Ítem IC-1501	Fecha: 12/05/2015
	Planta de producción Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 2 de 2
A		
B		

1.8.6. NITROGENO DE INERTIZACIÓN

La principal función del nitrógeno de blanketing o inertización es mantener la presión en los tanques de almacenamiento de los reactivos, del sub-producto, ácido clorhídrico, además de los mezcladores del proceso, la función de este es, al momento de sacar un determinado volumen de los distintos tanques, en el interior de estos se produce vacío, para que esto no afecte los tanque se incorpora el nitrógeno es estado gaseoso.

Se escoge este gas, ya que es un gas inerte con los distintos tipos de compuestos que existen en la planta, además de que es uno de los más económico, después de aire, el cual no se puede utilizar debido la presencia de oxígeno y humedad en este.

El suministro de este se realizará mediante un camión cisterna por la empresa "CARBUROS METÁLICOS Grup Air Products", en estado líquido, a un tanque que nos proveerá, el suministrador de este producto. El caudal promedio necesario para nuestra planta es de $15 \text{ m}^3/\text{h}$, lo cual requiere un depósito de $5,7 \text{ m}^3$, para una autonomía de 10 días.

1.8.7. AIRE COMPRIMIDO

El uso de este aire, es únicamente para el óptimo funcionamiento de las válvulas automáticas que posee el proceso. A lo largo de este se cuenta con alrededor de 100 válvulas de este tipo, las que cada una en promedio requiere un caudal de $1,7 \text{ m}^3/\text{h}$ en caso de su uso, con lo cual el compresor debe suministrar un caudal de $170 \text{ m}^3/\text{h}$, si es que se llegan a utilizar todas estas al mismo tiempo.

Con estas características el compresor debe poseer una potencia real de aproximadamente 40 (kw). La hoja de especificación se encuentra a continuación.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

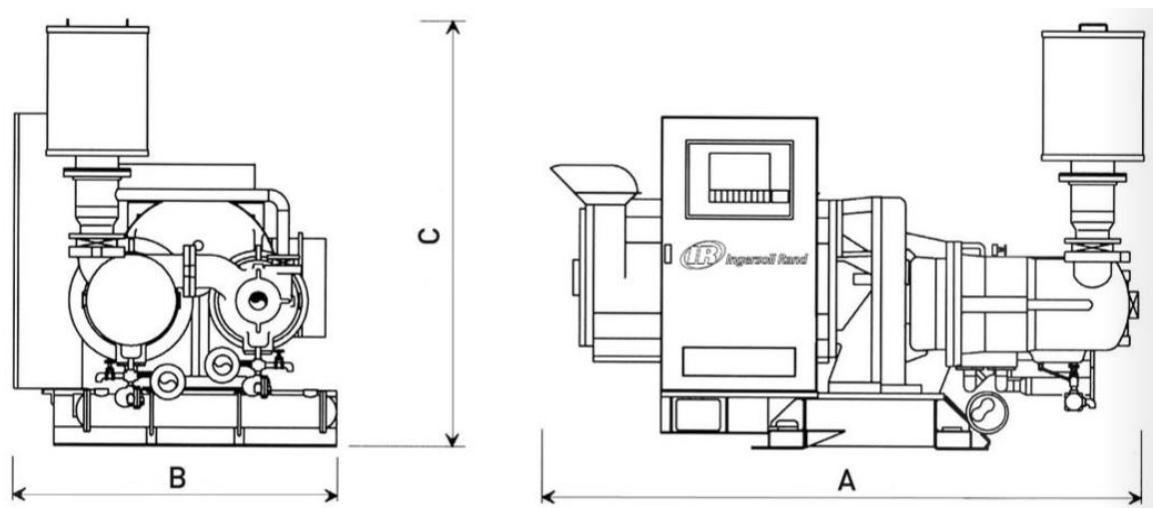
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	Área 1500	
	Ítem AC-1501	Fecha: 13/05/2015	
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015	
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 1 de 2	
DATOS GENERALES			
DENOMINACIÓN	COMPRESOR CENTRÍFUGO		
FINALIDAD	Comprimir aire para las válvulas automáticas		
PRODUCTO MANIPULADO	Aire		
DATOS DE OPERACIÓN			
FLUIDO	Aire		
CAUDAL VOLUMÉTRICO (m³/h)	170		
CAUDAL MÁSICO (Kg/h)	200,6		
TEMPERATURA DE TRABAJO (K)	298		
PRESIÓN ASPIRACIÓN (bar)	1,01		
PRESIÓN IMPULSIÓN (bar)	5		
DENSIDAD (Kg/m³)	1,18		
VISCOSIDAD (Cp)	0,02		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
TIPO	Centrífugo		
FABRICANTE	SAUER COMPRESSORS		
MODELO	Mistral Series (WP-45L)		
PESO (Kg)	320		
ETAPAS	1		
POTENCIA (Kw)	38,76		
RENDIMIENTO (%)	70		

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	Área 1500
	Ítem AC-1501	Fecha: 12/05/2015
	Planta de producción de Freon-13	Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles	Hoja 2 de 2



A (mm)	1220
B (mm)	737
C (mm)	813

1.8.8. DESCALCIFICADOR

Este es accesorio es una especie de tubería, la cual cumple la función, como su nombre lo dice, de descalcificar el agua utilizada en el tratamiento. El objetivo de realizar este tratamiento al agua, es debido a que el agua de sabadell es demasiado dura, y se debe “ablandar” un poco, ya que daña los equipos de acero, y además mejora la solubilidad de esta con el ácido clorhídrico.

1.8.9. ELECTRICIDAD

1.8.9.3. TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Debido a que todos los equipos utilizados en la planta utilizan alto voltaje, 400 V, y el suministro eléctrico es tan solo de 230 V, es necesaria la instalación de un transformador eléctrico para el correcto uso de los equipos en las instalaciones.

Una vez realizados el cálculo de la potencia total necesitada en planta, la cual es de alrededor de 755 kW, considerando un sobredimensionamiento de un 25%, se escoge el transformador más adecuado, el cual es de 800 kW. La hoja de especificación se presenta a continuación:

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TRANSFORMADOR ELÉCTRICO		Área 1500
	Ítem TE-1501		Fecha: 12/05/2015
	Planta de producción de Freon-13		Revisado: 26/05/2015
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles		Hoja 1 de 2
DATOS GENERALES			
DENOMINACIÓN	TRANSFORMADOR ELÉCTRICO		
FINALIDAD	Cambiar la intensidad de corriente proporcionada por la empresa		
DATOS DE OPERACIÓN			
PROVEEDOR	Jara Transformadores		
EMPRESA	Jara Transformadores		
MODELO	Jara-800 serie 36		
SERIE (KV)	36		
POTENCIA (KW)	800		
PERDIDAS NOMINALES (w)	En Vacío	1500	
	Debidas a la carga (75°C)	8400	
PÉRDIDAS MÁXIMAS PARA EL CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE VENTILACIÓN (w)	11825		
RENDIMIENTO	Cos φ=1	A plena carga	98,78
		A media carga	99,11
	Cos φ=1	A plena carga	98,48
		A media carga	98,89
CAÍDA DE TENSIÓN A PLENA CARGA	Cosφ=1		1,22
	Cosφ=0,8		4,47
POTENCIA ACÚSTICA MÁX DB (A)	68		
GRUPO DE CONEXIONES	Dyn11		
Tensión de corto circuito (%)	6		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
LARGO (mm)	1380		
ANCHO (mm)	920		
ALTO (mm)	1380		
PESO A DES ENCUBAR (kg)	1300		
PESO TOTAL (kg)	2100		
VOLUMEN DE ACEITE (L)	400		



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO



HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Área 1500

Ítem TE-1501

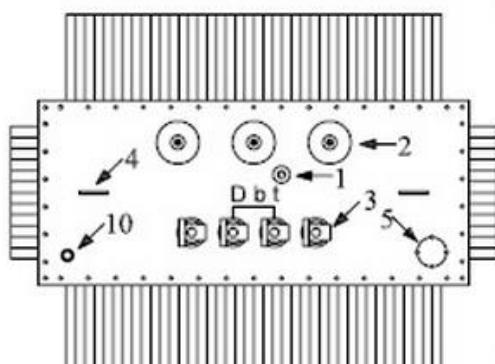
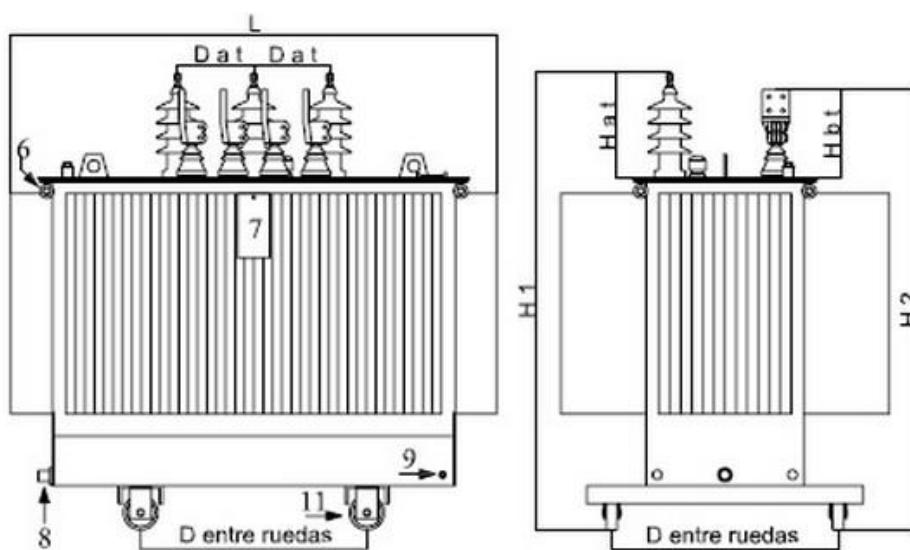
Fecha: 12/05/2015

Planta de producción de Freon-13

Revisado: 26/12/2015

Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles

Hoja 2 de 2



- 1 Comutador de regulaciones
- 2 Pasapatas de alta tensión
- 3 Pasapatas de baja tensión
- 4 Cáncamos de elevación
- 5 Tapón de llenado
- 6 Argollas de arrastre
- 7 Placa de características
- 8 Válvula de vaciado y toma de muestras
- 9 Toma de tierra M12
- 10 Funda de termómetro
- 11 Ruedas orientables

H bt (mm)	150	A (mm)	920
H2 (mm)	1225	D at (mm)	375
H at (mm)	440	D bt (mm)	150
H1 (mm)	1565	D entre ruedas (mm)	670
L (mm)	1380		

1.8.9.4. GRUPO ELECTRÓGENO

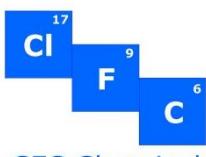
Esta es una medida de seguridad, la cual consiste en generar energía eléctrica mediante el uso de combustible, el cual será gas natural. Esta energía eléctrica se suministrara al proceso, sala de control, implante de seguridad y oficinas y se suministrara cuando la empresa encargada del suministro realice cortes de este, ya sean planificados o repentinos.

El dimensionamiento de este se realizara mediante el consumo de potencia d los equipos de planta, con un sobredimensionamiento de un 100%, lo cual da un consumo de 1250 kV de potencia.

Según lo equipos que se ofrecen en el mercado, el de mayor potencia es de 250 kV, por lo cual se hace necesaria la instalación de cinco de estos equipos, a continuación se encuentra la ficha de especificaciones técnicas de estos.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO		Área 1500		
	Ítem G-1501		Fecha: 12/05/2015		
	Planta de producción de Freon-13		Revisado: 26/05/2015		
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos nobles		Hoja 1 de 2		
DATOS GENERALES					
DENOMINACIÓN	GENERADOR ELÉCTRICO DE EMERGENCIA				
FINALIDAD	Suministrar energía eléctrica en caso de que el servicio sea cortado				
DATOS DE OPERACIÓN					
PROVEEDOR	TG GENERAC				
EMPRESA	Todo generadores				
MODELO	SG 250				
CANTIDAD	5				
RESERVA (kw)	250				
CONSUMO COMBUSTIBLE (m ³ /h)	25%	31			
	50%	46,5			
	75%	65			
	100 %	79,8			
DATOS DE CONSTRUCCIÓN					
LARGO (mm)	3920				
ANCHO (mm)	1370				
ALTO (mm)	2370				
PESO (kg)	3282				



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREON-13

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.8.10. PESAJE

La báscula de pesaje se utilizará para poder determinar las entradas y salidas de material mediante camiones.

Los requisitos de la misma son bastante simples, un margen de peso óptimo entre el peso habitual de un camión y el MMA (masa máxima autorizada) de los mismos.

Para poder satisfacer la necesidad de pesaje, se determina un equipo de una marca reconocida, POWERCELL MTX de METTLER-TOLEDO.

 CFC Chemical	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE BÁSCULA DE CAMIONES		ÁREA 1500		
	Ítem W-1505	Fecha:	12/05/2015		
	Planta de producción de Freon-13	Revisado:	26/05/2015		
	Localidad: Sabadell, Polígono Gasos Nobles	Hoja 1 de 1			
DATOS GENERALES					
DENOMINACIÓN	Báscula				
PRODUCTOS MANIPULADOS	varios				
FINALIDAD	Pesaje de camiones				
DATOS DE OPERACIÓN					
PROVEEDOR	METTLER-TOLEDO S.A.E				
EMPRESA	METTLER TOLEDO				
SERIE	7563				
CÉLULAS DE CARGA	Powercell MTX				
ALCANCE NOMINAL	25 Y 45				
DISEÑO	Compresión columna basculante				
MATERIAL	Acero inoxidable AISI 304 y 17-4 PH				
PROTECCIÓN MEDIAMBIENTAL	IP68/IP69K				
PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	IEEE 4-1978				
APROVACIÓN ATEX	KEMA 03ATEX1166, KEMA 03ATEX1250				
DATOS DE CONSTRUCCIÓN					
LONGITUD (mm)	19480				
ANCHO (mm)	3440				

1.8.11. CONSUMOS

A continuación se recogen los principales consumos de servicios públicos de suministro de los principales procesos. Para ello se han tenido en cuenta los principales consumidores de estos servicios.

1.8.11.3. GAS NATURAL

El gas natural se utilizará solo para el uso de la caldera y de los generadores eléctrico de emergencia, suponiendo que el generador operara una vez cada 30 días durante 24 horas cada vez, si la planta opera solo 300 días al año, lo que da un total de 240 horas operando. Además se considera el uso de la caldera durante las 24 horas, y los 300 días de operación de la planta. El consumo anual aproximadamente 27500 Mw.

1.8.11.4. ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo de energía eléctrica está considerada en las instalaciones de la planta o proceso productivo, sala de control, servicios, laboratorio, oficinas, y toda la luminaria que necesitan las distintas áreas, el consumo anual es de 10800 MWh.

1.8.11.5. AGUA DE RED

Este servicio está considerado dentro del proceso productivo, ya sea dentro de la torre de absorción como la incorporación de agua fresca en la torre y en el uso del área de tratamiento para disolver la sosa, el consumo anual será aproximadamente de. Además, se considera el consumo de agua que realiza el personal en el uso de las instalaciones sanitarias. Esto, aproximadamente de un consumo anual es de 150000 m³.

1.8.11.6. NITRÓGENO

Este, como ya fue mencionado se utiliza principalmente en los tanque de almacenamiento y mescladores. El consumo anual es de aproximadamente 52000 m³.

