



Planta de reciclaje de aceites industriales usados

PROYECTO FIN DE CARRERA

Bartolomé Manobel Ponce

Tutor: Manuel Rubio Cobos

Febrero 2015

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Memoria | 1 |
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Objeto y alcance | 1 |
| 3. Definición de aceites industriales usados | 1 |
| 4. Aspectos generales. | 3 |
| 5. Antecedentes..... | 4 |
| 6. Legislación vigente..... | 9 |
| 7. Bases de diseño..... | 15 |
| 8. Propiedades de las materias primas y de los productos..... | 19 |
| 9. Análisis de soluciones | 22 |
| 10. Elección del método..... | 23 |
| 11. Descripción del proceso..... | 24 |
| Anexo | 27 |
| 1. Lista de equipos | 27 |
| 2. Cálculo de equipos | 29 |
| 1. Cálculo de la torre de extracción líquido-líquido..... | 29 |
| 2. Cálculo de la destilación flash..... | 36 |
| 3. Cálculo torres de destilación. | 41 |
| 4. Cálculo del evaporador..... | 56 |
| 5. Cálculo de los compresores..... | 60 |
| 6. Cálculo de intercambiadores de calor. | 63 |
| 7. Cálculo de condensadores y rehervidores. | 82 |
| 8. Cálculo de enfriadores..... | 85 |
| 9. Cálculo torre de enfriamiento..... | 87 |
| 10. Cálculo de bombas y tuberías..... | 90 |
| 11. Cálculo de la caldera y chimenea..... | 102 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 12. | Cálculo de tanques de almacenamiento | 109 |
| 13. | Instrumentación y control..... | 114 |
| 14. | Instalación eléctrica..... | 117 |
| 3. | Instalación contra incendios | 120 |
| 1. | Introducción | 120 |
| 2. | Normativa..... | 121 |
| 3. | Tipos de fuego | 121 |
| 3. | Configuración del local, nivel de riesgo intrínseco..... | 122 |
| 4. | Instalaciones de detección, alarma y extinción | 125 |
| 4. | Curvas de destilación ASTM-1160 del aceite usado y de las bases SN-80, SN-150 y SN-350..... | 139 |
| 5. | Estudio de viabilidad | 141 |
| 1. | Viabilidad técnica..... | 141 |
| 2. | Viabilidad económica..... | 148 |
| 3. | Estudio de mercado | 151 |
| 4. | Tamaño y localización. | 152 |
| 5. | Gastos e ingresos | 153 |
| 6. | Cálculos financieros | 154 |
| 7. | Viabilidad legal | 158 |
| | Planos | 159 |
| | Presupuesto y mediciones..... | 161 |
| 1. | Presupuesto y mediciones detalladas..... | 161 |
| 2. | Presupuesto por equipos | 164 |
| 3. | Resumen del presupuesto e inversión inicial..... | 165 |
| | Pliego de condiciones | 167 |
| 1. | Definición y alcance del Pliego | 167 |
| 2. | Condiciones facultativas..... | 168 |

| | |
|---|-----|
| 3. Condiciones generales | 174 |
| 4. Condiciones legales | 177 |
| 5. Condiciones técnicas generales | 181 |
| Estudio de Seguridad y Salud..... | 185 |
| 1. Antecedentes y objeto..... | 185 |
| 2. Identificación de la obra | 187 |
| 3. Normas de seguridad aplicables a la obra | 188 |
| 4. Descripción, características y programación de la obra | 188 |
| 5. Oficios, maquinaria y medios auxiliares previstos para la ejecución de la obra | 219 |
| 6. Planificación obra | 220 |
| 7. Análisis general de riesgos y prevención de los mismos..... | 222 |
| 8. Señalización de los riesgos | 226 |
| 9. Prevención asistencial en caso de accidente laboral..... | 227 |
| Bibliografía..... | 229 |
| Libros..... | 229 |
| Tesis y artículos científicos | 229 |
| Páginas WEB..... | 230 |

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | |
|--|----|
| Memoria | 1 |
| Tabla 1.-Composición del residuo..... | 3 |
| Figura1.- Evolución histórica del aceite industrial puesto en el mercado nacional. SIGAUS..... | 5 |
| Tabla 2.- Características de peligrosidad de un residuo | 8 |
| Tabla 3.-Comparativa de composición y propiedades de un aceite lubricante virgen y uno usado..... | 17 |
| Tabla 4.-Propiedades de las materias primas y de los productos | 19 |

| | |
|--|----|
| Tabla 5.-Pseudocomponentes del SN-350..... | 19 |
| Tabla 6.-Pseudocomponentes del SN-150..... | 20 |
| Tabla 7.-Pseudocomponentes del SN-80..... | 20 |
| Tabla 8.-Pseudocomponentes del Aceite usado | 20 |
| Tabla 9.-Pseudocomponentes de las distintas bases..... | 21 |
| Tabla 10.-Valores medios de las propiedades individuales de cada componente..... | 21 |
| Tabla 11.-Producción anual..... | 26 |
| Anexo | 27 |
| Tabla 1.-Lista de equipos..... | 29 |
| Tabla 2.- Balance de masa torre de extracción..... | 30 |
| Figura 1.- Tipos de relleno | 31 |
| Tabla 3.-Datos de diseño para diferentes rellenos..... | 31 |
| Figura 2.- Correlación generalizada de pérdida de carga | 33 |
| Tabla 4.-Balance de masa torre de destilación flash 11 | 37 |
| Tabla 5.-Balance de masa torre de destilación flash 20 | 37 |
| Figura 3.- Torre de destilación atmosférica..... | 43 |
| Tabla 6.-Balance de masa torre de destilación atmosférica..... | 44 |
| Figura 4.- Torre de destilación. Elementos. | 47 |
| Tabla 7.- Balance de masa torre destilación SN80..... | 49 |
| Tabla 8.-Balance de masa destilación SN150 | 53 |
| Tabla 9.-Balance de masa a la salida de la torre de extracción | 57 |
| Figura 5.- Evaporador de película fina Buss-SMS..... | 60 |
| Figura 6.- Compresores Atlas Copco serie GT..... | 63 |
| Figura 7.-Intercambiador de carcasa y tubos..... | 66 |
| Figura 8. Rehervidor tipo Kettle..... | 83 |
| Tabla 10.-Resumen de intercambiadores de calor..... | 86 |
| Tabla 11.-Cálculo torre de enfriamiento..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 9.-Torre de enfriamiento TORRAVAL..... | 88 |
| Figura 10.- Torre de enfriamiento. Componentes | 89 |
| Tabla 12.-Resumen cálculo de bombas. | 93 |
| Figura 11.- Bomba centrífuga SULZER OHVL | 94 |
| Figura 12. Bomba OHVL. Especificaciones | 95 |
| Figura 13.- Bombas Tecnum Series SL..... | 96 |
| Figura 14. Bomba RH..... | 97 |
| Figura 15.- Bomba de vacío mono etapa..... | 98 |
| Figura 16.- Bomba de vacío mono etapa. Especificaciones | 99 |
| Figura 17.- Bomba de vacío doble etapa | 100 |
| Figura 18.- Bomba de vacío doble etapa. Especificaciones | 100 |
| Figura 19.- Bomba de vacío Saurus 939 Tipo VVB+RO500. Especificaciones..... | 101 |
| Tabla 13.-Calor necesario..... | 102 |
| Tabla 14.-Fluido térmico necesario | 103 |
| Figura 20. Nomograma IT-07..... | 106 |
| Figura 21. Altura corregida de chimeneas..... | 107 |
| Figura 22. Tanque de almacenamiento atmosférico..... | 110 |
| Tabla 15. Necesidades de almacenamiento. | 110 |
| Tabla 16. Dimensiones de los tanques de almacenamiento..... | 111 |
| Figura 23. Tabla de distancias depósito de propano..... | 112 |
| Figura 24. Tanque de propano. Especificaciones | 113 |
| Tabla 17.-Previsión de cargas zona de proceso | 118 |
| Tabla 18.-Previsión de cargas zona de almacenamiento | 118 |
| Tabla 19.-Previsión de cargas zona de oficina, laboratorio y aparcamiento. | 119 |
| Tabla 20.-Previsión de cargas bombas CI e iluminación de emergencia. | 119 |
| Tabla 21.-Cálculo de secciones por calentamiento. | 120 |
| Tabla 22.-Valores de densidad de carga de fuego..... | 124 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23.- Nivel de riesgo intrínseco..... | 125 |
| Tabla 24.-Tipos de BIE. | 129 |
| Tabla 25.-Hidrantes exteriores. | 130 |
| Tabla 26.-Necesidades de agua para hidrantes exteriores. | 131 |
| Figura 25.-Composición estándar de un grupo norma UNE-23-500-90. | 133 |
| Tabla 27.-Características grupo contra incendios..... | 134 |
| Tabla 28.-Agentes extintores y su adecuación a distintas fases de fuego. | 135 |
| Tabla 29.-Dotación de extintores portátiles, combustibles tipo A. | 136 |
| Tabla 30.-Dotación de extintores portátiles, combustibles tipo B..... | 137 |
| Tabla 31.-Curva de destilación ASTM-1160 del aceite usado..... | 139 |
| Tabla 32.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-80..... | 140 |
| Tabla 33.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-150..... | 140 |
| Tabla 34.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-350..... | 141 |
| Tabla 35.-Comparación entre distintas tecnologías a nivel económico y operacional | 145 |
| Figura 28.-Evolución del precio de la bases de aceite..... | 148 |
| Tabla 36.-Plantas de regeneración de aceites industriales usados en España | 152 |
| Tabla 37.-Coste energético por tonelada | 153 |
| Tabla 38.-Costes de producción del proceso..... | 154 |
| Tabla 39.-Datos iniciales para cálculo de rentabilidad..... | 155 |
| Figura 30.- Cálculo de TIR y VAN | 155 |
| Figura 31.-Análisis de sensibilidad Impacto del precio de venta..... | 156 |
| Figura 32.- Análisis de sensibilidad. Impacto precio de venta..... | 157 |
| Planos | 159 |
| Presupuesto y mediciones..... | 161 |
| Tabla 1.1.- Presupuesto detallado (continuación pág. siguiente)..... | 162 |
| Tabla 1.2.- Presupuesto detallado..... | 163 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.-Presupuesto por equipos..... | 164 |
| Tabla 3.-Resumen presupuesto. Inversión inicial..... | 165 |
| Pliego de condiciones | 167 |
| Estudio de Seguridad y Salud..... | 185 |
| Carta Gantt..... | 221 |
| Bibliografía..... | 229 |

Programas de cálculo utilizados.

En el CD adjunto se incluyen las siguientes hojas de cálculo:

1. Cálculo de intercambiadores de calor
2. Cálculo torre destilación atmosférica.
3. Cálculo torre destilación flash 11.
4. Cálculo torre destilación flash 20.
5. Cálculo torre destilación vacío. Separación SN-80.
6. Cálculo torre destilación vacío. Separación SN-150.
7. Pérdidas de carga, bombas y tuberías, tamaño de equipos.
8. Presupuesto.
9. VAN TIR.

MEMORIA

1. Introducción

El proyecto desarrolla una planta de regeneración de aceites industriales usados, la tecnología escogida entre todas las posibles es la que se adecua mejor a las condiciones actuales del mercado de aceites usados en España y la que ofrece unas mejores soluciones tecnológicas para el tamaño de la planta.

Tradicionalmente las tecnologías de regeneración no han sido las primeramente escogidas a la hora de reciclar el aceite industrial usado, con lo cual se producen constantemente vertidos no deseados y pérdidas en el monto total de aceite con posibilidad de reciclaje. En las condiciones deseables de mercado y con una regulación legal apropiada, (véase el caso de Italia, donde existe la obligatoriedad de regenerar el aceite industrial como primera opción), podemos tener un margen de mercado que haga interesantes este tipo de plantas y no estén sujetas, como en estos momentos, a la necesidad de una ayuda estatal que haga rentable el negocio.

2. Objeto y alcance

El objeto del proyecto básico es la definición de las instalaciones de tratamiento para aceites industriales usados, estableciendo para este tipo de residuos la mejor tecnología disponible para su correcto tratamiento con la finalidad de obtener una calidad de producto que responda a los estándares más exigentes para su comercialización y al mismo tiempo que produzca una cantidad mínima de vertidos, admisibles con la legislación vigente.

El proyecto comprende el diseño básico de la planta de regeneración y un estudio de rentabilidad.

3. Definición de aceites industriales usados

Aceites de origen mineral que durante su uso perdieron sus principales características, volviéndose inapropiados para continuar su utilización con el mismo propósito.

Comprenden a los aceites lubricantes de los motores, de fluidos hidráulicos y de transmisión, aceites de corte, de transferencia de calor y los aceites dieléctricos provenientes de transformadores y condensadores.

Quedan excluidos los aceites dieléctricos que contienen más de 50 ppm de PCB (bifenoles policlorados), que deben gestionarse de forma separada

Los aceites procedentes de la automoción tienen más cantidad de plomo y de zinc, los de procedencia industrial tienen más cadmio, cromo y PCB's.

Un aceite lubricante está constituido por una base lubricante y una serie de aditivos:

La base lubricante está compuesta por hidrocarburos (75 – 85 %), estos, a su vez se dividen en: Alcanos (45-76 %), ciclo alcanos (13-45 %) y aromáticos (10-30 %)

El resto lo componen aditivos (15-25 %), entre los cuales están: Antioxidantes (ditiofosfatos, fenoles, aminas), detergentes (sulfonatos, fosfonatos, fenolatos), anticorrosivos (ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos), antiespumantes (siliconas, polímeros sintéticos) y antisépticos (alcoholes, fenoles, compuestos clorados)

Los aceites lubricantes usados adquieren concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc. El origen de estos metales es principalmente el desgaste del motor o maquinaria que lubricó, otra fuente de metales es debida al contacto con el combustible, como es el caso de la presencia de plomo proveniente de la degradación del tetraetilo de plomo de las naftas.

Se encuentran solventes clorados tales como tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno, provenientes del proceso de refinación del petróleo y de la reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos.

Otros contaminantes presentes son el azufre y hollín generados en la combustión.

La descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. En todos los casos, como consecuencia de su utilización se degrada, perdiendo las propiedades que los hacen operativos y haciendo necesaria su sustitución, generándose un residuo variable en cantidad y composición.

Un ejemplo de composición del residuo:

| Contaminantes | Concentración (ppm) |
|---------------|---------------------|
| Cadmio | 1.2 |
| Cromo | 1.8 |
| Plomo | 220 |
| Zinc | 640 |
| Cloro total | 900 |
| PCB's | <2 |

Tabla 1.-Composición del residuo

La cantidad de plomo varía significativamente en función del tipo de combustible usado.

4. Aspectos generales.

Según la Orden 28 de febrero de 1989, BOE 57- Art. 2, en la definición de aceites usados están incluidos todos los aceites con base mineral o sintética lubricante que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiera asignado inicialmente y, en particular, los aceites usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas y sistemas hidráulicos.

Estos aceites usados necesitan una gestión, que es el conjunto de actividades encaminadas a dar a los aceites usados el destino final que garantice la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales. Comprende las operaciones de recogida, alimentación, tratamiento, recuperación, regeneración y combustión.

La problemática de la gestión de los aceites usados es que los aceites lubricantes usados, tanto de procedencia industrial como los empleados en automoción, están considerados en la normativa vigente como un residuo especial o residuo tóxico y peligroso, dado su contenido en metales pesados, y su capacidad de contaminación de las aguas. Como tal, la normativa ambiental exige la adecuada gestión de los mismos.

Se pueden distinguir cuatro tipos de alternativas para la gestión de aceites usados:

- Los procesos de regeneración, que mediante distintos tratamientos del residuo, permiten la recuperación material de las bases lubricantes presentes en el aceite original, de manera que resulten aptas para su reformulación y utilización.
- Los procedimientos de reciclaje a combustible, utilizable en motores diesel de generación eléctrica
- La valorización energética como fuel-oil industrial, ya sea por combustión directa o con pretratamiento del aceite (separación de agua y sedimentos)
- Los procedimientos de destrucción del residuo por incineración.

Cada una de las alternativas generales de gestión presenta múltiples alternativas técnicas para llevar a cabo las operaciones de regeneración o reciclaje. Por lo general, no hay imposiciones legales que determinen la aplicación de una u otra alternativa a un residuo determinado, aunque si una recomendación normativa sobre el orden de prioridades entre ellas.

La opción de regeneración a bases lubricantes es la definida como prioritaria en la Directiva 87/101, y en las disposiciones españolas derivadas de la misma. Esta priorización se basa en las ventajas ambientales de los procesos actuales de regeneración, por su mayor ahorro de materias primas, menores emisiones y olores, y menor producción de residuos o efluentes.

5. Antecedentes

Se define **aceite base** o **base de lubricante**, como uno de los productos derivados de la destilación de petróleo crudo.

En concreto es el residuo de la destilación atmosférica del petróleo el que se vuelve a destilar en condiciones de vacío para producir las bases lubricantes. Posteriormente se requieren procesos de desaromatización y desparafinación necesarios para ajustar los índices de viscosidad, es decir, variación de la viscosidad con la temperatura, que es la propiedad fundamental que define su calidad. Este aceite base obtenido junto con los aditivos correspondientes, conforman los lubricantes destinados a motores o industria.

Según SIGAUS (Sistema integrado de gestión de aceites usados), la evolución de la cantidad de aceite puesta en el mercado nacional hasta 2013 presenta el siguiente aspecto:

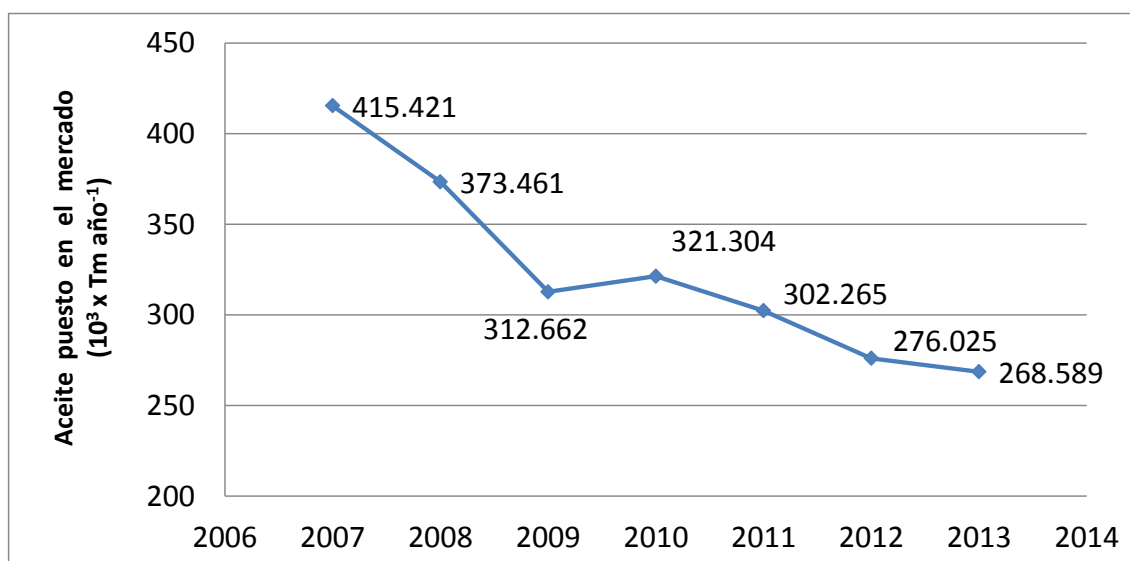


Figura1.- Evolución histórica del aceite industrial puesto en el mercado nacional. SIGAUS.

Conocidas las propiedades de los aceites lubricantes usados, como su toxicidad, baja biodegradabilidad, bioacumulación, problemas de contaminación atmosférica, contaminación de las aguas, contaminación de suelo y su gran volumen de producción; se hace necesario gestionarlos de una manera adecuada poniendo en práctica el principio de jerarquía recomendado para este tipo de residuos, en este prevalece la regeneración como primera opción.

Así mismo, si comparamos los datos de producción de aceite lubricante (según ASELUBE, asociación española de lubricantes) y la cantidad de aceite lubricante puesta en el mercado adherida a un SIG para un mismo año, por ejemplo 2008, hay una variación de aproximadamente un 23%. Según la información publicada en la web de SIGAUS para el año 2008, la cantidad de aceite lubricante puesto en el mercado por las Empresas Adheridas al SIG ascendía a 373.461 toneladas. Los datos de producción publicados por ASELUBE para ese mismo año son de 485.800 toneladas producidas; podemos interpretar que parte de esta diferencia se deba a exportaciones.

Para ese mismo año SIGAUS declara una recogida de aceite usado de 810 m³ por día laborable (Con una densidad de 910 kg/m³ esto supone un 72.1% recogido respecto a lo producido).

Otro dato a tener en cuenta es que según fuentes oficiales de la Unión Europea, se estima que entre un 65-70% de los aceites de base puestos en el mercado acaban siendo un residuo.

Aquí entra el sistema integrado de gestión. (SIGAUS).

Las acciones a ejecutar por parte del SIGAUS son las siguientes:

1. Recogida del aceite usado y traslado a centro de transferencia

En el centro de transferencia se analiza el aceite y se determina su capacidad de regeneración.

Si el aceite es apto para su reutilización éste sale desde aquí y se comercializa.

Hay que determinar en función de los contaminantes que tiene el aceite si este es apto para la regeneración (o para la valorización energética).

2. Transporte a planta de regeneración de aceite a bases lubricantes o a planta de valorización energética donde se producirá su consumo como combustible alternativo.

Se debe cumplir:

- El generador debe acondicionar y almacenar los aceites usados para ser transportados hasta un gestor autorizado. Los residuos serán correctamente etiquetados y el lugar de acopio deberá disponer de cubeto de retención.
- El transporte se realizará a través de gestor autorizado, unas veces asumirá la titularidad del residuo y otras veces sólo como mero intermediario sin asumir esa titularidad.
- En el centro de transferencia o centro de acopio se realizarán los análisis a los residuos recibidos, determinando así sus propiedades.
- Cuando los aceites recolectados están libres de PCB's y no contienen metales pesados pueden ser utilizados como aceites para máquinas de corte.
- En base a los análisis realizados se determina si el aceite es apto o no según el tratamiento que se desea aplicar.
- Si no es posible realizar un pre-tratamiento al aceite para alcanzar los estándares de calidad de las plantas de tratamiento, el aceite deberá ser tratado en un horno de incineración autorizado. Ejemplo: cuando un aceite lubricante presenta un

contenido en PCB's superior a 50 ppm, la ley obliga a su incineración en instalaciones autorizadas.

- Se deberán fijar estándares de calidad para los aceites según las condiciones del horno o de la caldera para valorización energética.

Los residuos peligrosos, como es el caso de los aceites lubricantes usados, pueden tener impactos importantes tanto en la salud de las personas como en el medio ambiente, lo que hace necesario caracterizarlos y gestionarlos de manera correcta.

Se entiende por caracterización según la Orden de 13 de octubre de 1989 “*los métodos para determinar la existencia o inexistencia de algunas características, cuya ausencia excluiría al residuo de su concepción como peligroso*”.

El proceso de caracterización en España es complejo y con frecuentes cambios legislativos. Con la publicación de la Ley 10/98 de Residuos, se incorpora la definición de residuo peligroso “*aquellos que figuren en la lista de residuos peligroso*”, aprobada por el RD 952/1997. En febrero de 2002 se publica la Orden MAM/304/2002, en la que se establecen las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la nueva lista europea de residuos (LER). Dicha lista incorpora 839 entradas individuales, de las cuales 408 son reservadas para residuos peligrosos. Aparecen las entradas espejo o también llamadas dobles entradas, se reconoce en la práctica la imposibilidad de clasificar unívocamente muchos residuos mediante su simple inclusión en una lista, obliga a llevar a cabo, al menos, una caracterización analítica química pero sin excluir la posibilidad de otros ensayos e investigaciones.

La normativa aplicable es la siguiente:

Ámbito nacional:

Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

Real Decreto 852/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante el Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos

Ámbito de la Unión Europea.

DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas reactivas

Un residuo será clasificado directamente como peligroso cuando presente algunas de las siguientes características de peligrosidad: H1, H2, H9, H12, H13 ó H14. Para el resto de características H de peligrosidad necesitan al menos las siguientes concentraciones máximas (en porcentaje) para clasificarlo como peligroso.

| | Característica de peligrosidad | Concentración máxima (%) |
|------------|--|---|
| H3 | Inflamable | Punto de inflamación por debajo de 55°C |
| H4 | Irritantes clasificadas como R14 | 10 |
| | Irritantes clasificadas como R36,R37 o R38 | 20 |
| H5 | Nocivas | 25 |
| H6 | Muy tóxicas | 0.1 |
| | Tóxicas | 3 |
| H7 | Cancerígena, categoría 1 o 2 | 0.1 |
| | Cancerígena categoría 3 | 1 |
| H8 | Corrosivas calificadas como R35 | 1 |
| | Corrosivas calificadas como R34 | 5 |
| H10 | Tóxica para la reproducción categoría 1, 2 R60 o R61 | 0.5 |
| | Tóxica para la reproducción categoría 3, R62 o R63 | 5 |
| H11 | Mutagénica de categoría | 0.1 |
| | Mutagénica de categoría | 1 |

Tabla 2.- Características de peligrosidad de un residuo

Si nos vamos a la lista de residuos nos encontramos que los códigos para los aceites lubricantes (13 02 Residuos de aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes) o cualquier otro tipo de aceites llevan un asterisco, lo cual les confiere la condición de residuo peligroso de conformidad con la Directiva 91/689/CEE.

Encontrando justificación de la condición de “residuo peligroso” para un aceite lubricante usado, podemos citar las siguientes características: son tóxicos y presentan un peligro para el medio ambiente (H6 y H14), entre otras.

El aceite usado de motor es insoluble, persistente, puede contener sustancias químicas tóxicas y metales pesados, se degrada lentamente y tiene gran poder de adherencia a la

arena de la playa, plumas de ave, etc. El aceite usado de motor es una fuente principal de contaminación de las masas de agua.

Según información publicada en la US Environmental Protection Agency (EPA), el aceite procedente de un sólo cambio del mantenimiento de un vehículo puede contaminar aproximadamente 3,7 millones de litros de agua, cantidad de agua que podrían consumir 40 personas en un año, tomando como dotación media 250 litros por habitante y día.

6. Legislación vigente

En los siguientes subapartados se recogen los principales aspectos de la nueva regulación de la gestión de los aceites usados impuesta por el Real Decreto 679/2006.

6.1 Objeto

Objeto (Artículo 1): Este real decreto tiene por objeto establecer medidas para prevenir la incidencia ambiental de los aceites industriales, así como para reducir la generación de aceites usados tras su utilización o, al menos, facilitar su valorización, preferentemente mediante regeneración u otras formas de reciclado, de acuerdo con el orden de prioridades establecido en el artículo 7.

En aplicación de lo establecido en el artículo 7 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, corresponde a los fabricantes de aceites industriales que los ponen en el mercado la obligación de garantizar el correcto cumplimiento de lo establecido en el párrafo anterior. Cada fabricante garantizará esa correcta gestión para una cantidad de aceites usados directamente proporcional a la cantidad de aceite nuevo que pone en el mercado, para lo que se tendrán en cuenta los coeficientes de generación de estos residuos por litro de aceite nuevo puesto en el mercado. Estos coeficientes podrán ser establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente, en colaboración con las comunidades autónomas, sobre la base de los mejores datos estadísticos disponibles.

6.2 Obligaciones de los fabricantes y agentes que ponen en el mercado los aceites industriales.

Fabricación y puesta en el mercado de aceites industriales. (Artículo 3).

Los aceites industriales deberán fabricarse de tal forma que en su composición figure el menor número y cantidad posibles de sustancias peligrosas o contaminantes, y que se facilite la correcta gestión ambiental de los residuos resultantes de su uso.

Corresponde a los fabricantes de aceites industriales la obligación de asegurar la gestión de los aceites usados generados por la utilización de aquéllos, según lo establecido en este real decreto, y la de sufragar el costo total de las operaciones necesarias para ello.

En las etiquetas de los envases de aceites industriales que se pongan en el mercado, y en lugar bien visible, se deberá incluir la siguiente frase: «La gestión ecológica de los aceites usados generados tras la utilización de este aceite está regulada en el Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados, que exige que esos residuos sean entregados por su poseedor al fabricante del aceite, a un gestor autorizado de aceites industriales usados, o a un Sistema Integrado de Gestión autorizado para este tipo de residuos». En estas mismas etiquetas se indicará, en su caso, el Sistema Integrado de Gestión previsto para la gestión del aceite usado que se origine tras su uso mediante un logotipo que permita identificar al responsable de su correcta gestión ambiental.

Planes empresariales de prevención de los efectos de los aceites industriales sobre el medio ambiente. (Artículo 4).

De conformidad con lo establecido en el artículo 7.1.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, los fabricantes de aceites industriales deberán elaborar y remitir a las comunidades autónomas en cuyo territorio los pongan en el mercado, para su aprobación, un plan empresarial de prevención de sus efectos sobre el medio ambiente que incluirá, al menos, la identificación de los mecanismos que se vayan a poner en marcha para alargar su vida útil y mejorar sus características, con la finalidad de facilitar su regeneración, reciclado u otras formas de valorización de los aceites usados generados tras su utilización.

Igualmente, en dichos planes se deberán señalar los porcentajes y medidas a tomar para incorporar aceites base regenerados en las formulaciones de los aceites nuevos.

Los planes empresariales de prevención de aceites industriales podrán elaborarse a través de los sistemas integrados de gestión de aceites usados regulados en el artículo 11

6.3 Obligaciones de los productores y poseedores de aceites usados.

Obligaciones en relación con el almacenamiento y tratamiento de aceites usados.

(Artículo 5).

Los productores de aceites usados deberán cumplir las siguientes obligaciones:

- a) Almacenar los aceites usados en condiciones adecuadas, evitando especialmente las mezclas con agua o con otros residuos no oleaginosos; se evitarán también sus mezclas con otros residuos oleaginosos si con ello se dificulta su correcta gestión.
- b) Disponer de instalaciones que permitan la conservación de los aceites usados hasta su recogida y que sean accesibles a los vehículos encargados para ello.
- c) Evitar que los depósitos de aceites usados, incluidos los subterráneos, tengan efectos nocivos sobre el suelo.

Los productores de aceites usados que generen más de 500 litros al año, así como los gestores de aceites usados, deberán llevar un registro con indicaciones relativas a cantidades, calidad, origen, localización y fechas de entrega y recepción

Sistema de entrega de aceites usados. (Artículo 6)

De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 11.1 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, los productores y poseedores de aceites usados estarán obligados a garantizar su entrega a un gestor autorizado al efecto, para su correcta gestión, a menos que procedan a gestionarlos por sí mismos con la autorización correspondiente.

A efectos de lo establecido en el apartado anterior, los productores y poseedores de aceites usados podrán entregarlos directamente a un gestor de residuos autorizado para ello o bien realizar dicha entrega a los fabricantes de aceites industriales

La entrega de aceites usados que efectúen los productores a los gestores de aceites usados, o de estos entre sí, tendrá que formalizarse en un «documento de control y seguimiento» que deberá contener, al menos, los datos que se indican en el anexo II.

6.4 Prioridades y objetivos.

Prioridades en la gestión de aceites usados. (Artículo 7)

El tratamiento mediante regeneración será prioritario en la gestión de los aceites usados que, en todo caso, se llevará a cabo, por este orden de preferencias: regeneración, otras formas de reciclado y valorización energética.

Objetivos ecológicos (Artículo 8).

Los agentes responsables de la puesta en el mercado de aceites industriales estarán obligados a alcanzar, como mínimo, los siguientes objetivos de recuperación, valorización y regeneración en las fechas que se indican:

- a) Recuperación del 95 por ciento de aceites usados generados a partir del 1 de julio de 2006.
- b) Valorización del 100 por cien de aceites usados recuperados a partir del 1 de julio de 2006.
- c) Regeneración de:
 1. ° Un 55 por ciento de aceites usados recuperados a partir del 1 de enero de 2007.
 2. ° Un 65 por ciento de aceites usados recuperados a partir del 1 de enero de 2008.

Los aceites usados pertenecientes a los códigos LER 13 05 y 13 08 se consideran no regenerables y quedan, por tanto, excluidos de estos objetivos de regeneración.

6.5 Condiciones para la valorización.

Gestión de aceites usados mediante regeneración. (Artículo 9)

Los aceites industriales elaborados a partir de aceites de base obtenidos de aceites usados regenerados deberán reunir las especificaciones técnicas y las condiciones de seguridad exigidas a los aceites nuevos correspondientes para los usos a los que estén destinados.

Además, la suma de su contenido en policlorobifenilos y policloroterfenilos no podrá exceder de 50 ppm. Desde la entrada en vigor de este real decreto, y deberán estar exentos de dichas sustancias a partir de un año después.

Valorización energética de aceites usados. (Artículo 10).

La valorización energética de los aceites usados sólo podrá llevarse a cabo tras los análisis y tratamientos previos o secundarios pertinentes que permitan el cumplimiento de los requisitos sobre emisiones a la atmósfera establecidos en la normativa que resulte de aplicación. En particular se deberá cumplir todo lo exigido en el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre Incineración de Residuos.

6.6 Sistemas integrados de gestión.

Sistemas integrados de gestión de aceites usados (Artículo 11).

Los sistemas integrados de gestión de aceites usados son el conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuaciones que, previa autorización y supervisión por las comunidades autónomas en cuyo ámbito territorial se implanten, pongan en marcha los agentes económicos interesados mediante la celebración de acuerdos voluntarios aprobados o autorizados por las Administraciones públicas competentes, o mediante convenios de colaboración con éstas, con la finalidad de garantizar la recogida selectiva de los aceites usados y su gestión de acuerdo con el orden de prioridades establecido en el artículo 1.1 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, y en el artículo 7 de este real decreto.

A efectos de lo establecido en el apartado anterior, los sistemas integrados de gestión de residuos deberán estar representados por una entidad sin ánimo de lucro que deberá gozar de personalidad jurídica propia que asumirá las obligaciones que correspondan al sistema integrado de gestión, de conformidad con lo establecido en este real decreto.

Financiación de los sistemas integrados de gestión de aceites usados (Artículo 13)

Los sistemas integrados de gestión de aceites usados se financiarán mediante la aportación por los fabricantes de aceites industriales de una cantidad, acordada por la entidad a la que se asigne la gestión del sistema, por cada kilogramo de aceite puesto por primera vez en el mercado nacional.

Con la recaudación obtenida en aplicación de lo establecido en el párrafo anterior, los sistemas integrados de gestión financiarán todos los costos a que dé lugar la correcta

gestión de una cantidad de aceites usados igual a la de aceite usado generado tras el uso de los aceites nuevos puestos en el mercado por sus asociados

6.7 Disposiciones finales

Disposición derogatoria única. Derogación normativa.

Queda derogada la Orden de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la gestión de aceites usados, modificada por la Orden de 13 de junio de 1990.

Disposición final tercera. Entrada en vigor.

Este real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado», con excepción de las obligaciones establecidas para los fabricantes de aceites industriales en los apartados 6.2 y 6.3 o, alternativamente, en el artículo 11, que serán exigibles a partir del 1 de enero de 2007.

Situación dentro de los parámetros PRTR (Actividades de valorización de residuos peligrosos) (PRTR es el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes)

R13. Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de la producción).

R1 Utilización principal como combustible o como otro medio de generar energía.

R2 Recuperación o regeneración de disolventes.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas).

R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.

R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

R6 Regeneración de ácidos o de bases.

R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación. -

R8 Recuperación de componentes procedentes de catalizadores.

R9 Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.

R10 Tratamiento de suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

R11 Utilización de residuos obtenidos a partir de cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R10.

R12 Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R11.

La situación de la planta dentro de los parámetros PRTR estaría en R13.

Según las cifras de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), con 3 litros de aceite usado se obtienen 2 de aceite nuevo. Para poder obtener la misma cantidad a partir de petróleo hacen falta aproximadamente 100 litros. Con 100 litros de aceite usado podríamos generar casi 67 litros de un nuevo aceite, casi 33 veces más que directamente del petróleo, estas cifras claramente apuntan a la recuperación y reciclaje.

7. Bases de diseño

El tipo de aceite susceptible de ser regenerado comprende a los aceites lubricantes de los motores, de fluidos hidráulicos y de transmisión, aceites de corte, de transferencia de calor y los aceites dieléctricos provenientes de transformadores y condensadores.

Quedan excluidos los aceites dieléctricos que contienen más de 50 ppm de PCB (bifenoles policlorados), que deben gestionarse de forma separada.

Como composición media de un aceite lubricante tenemos los siguientes porcentajes:

- 75-85% de hidrocarburos totales:
- 45-76% alcanos.
- 13-45% ciclo alcanos.
- 10-30% aromáticos
- 15-25% de aditivos:
- Antioxidantes: Ditiosulfatos, fenoles, aminas.
- Detergentes: Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos.
- Anticorrosivos: Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos.

- Antiespumantes: Siliconas, polímeros sintéticos.
- Antisépticos: Alcoholes, fenoles, compuestos clorados.

Ver Tabla 3 en la siguiente página.

Si comparamos un aceite lubricante virgen con uno usado tenemos lo siguiente:

| Propiedades físicas | <u>Aceite lubricante virgen</u> | <u>Aceite lubricante usado</u> |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Gravedad específica | 0.882 | 0.910 |
| Viscosidad dinámica en SUS a 100 °F | | 324 |
| % volumen de sedimentos y agua | 0 | 12.3 |
| % en peso de residuos de carbono | 0.82 | 3 |
| % peso de cenizas | 0.94 | 1.3 |
| Punto de inflamación (°F) | | 348 |
| Punto de Fluidez (°F) | -35 | -35 |
| Propiedades químicas | | |
| Índice de saponificación | 3.94 | 12.7 |
| Índice de acidez (TAN) | 2.2 | 4.4 |
| Índice de basicidad (TBN) | 4.7 | 1.7 |
| % en peso de nitrógeno | 0.05 | 0.08 |
| % en peso de azufre | 0.32 | 0.42 |
| Plomo (ppm) | 0 | 7535 |
| Calcio (ppm) | 1210 | 4468 |
| Zinc (ppm) | 1664 | 1097 |
| Fósforo (ppm) | 1397 | 931 |
| Magnesio (ppm) | 675 | 309 |
| Bario (ppm) | 37 | 297 |
| Hierro (ppm) | 3 | 205 |
| Sodio (ppm) | 4 | 118 |
| Potasio (ppm) | <1 | 31 |
| Cobre (ppm) | 0 | 29 |

Tabla 3.-Comparativa de composición y propiedades de un aceite lubricante virgen y uno usado

TAN: Es la cantidad de hidróxido de potasio en miligramos que se necesita para neutralizar los ácidos en un gramo de aceite. Se trata de una medida de calidad importante de petróleo crudo.

TBN: Es una medida de la reserva alcalina del lubricante. Se mide en miligramos de hidróxido de potasio por gramo (mg KOH / g).

Los aceites lubricantes se deterioran con el paso del tiempo por acción de las temperaturas y el contacto con el aire, dando lugar a la formación de ácidos y compuestos de oxidación que pueden ser corrosivos, esto se traduce en un aumento de índice de acidez y una disminución en el índice de basicidad (disminuye la capacidad reguladora de la acidez del propio lubricante). Cuando se caracteriza un aceite lubricante usado se encuentran concentraciones muy elevadas de metales pesados (tal y como vemos en la tabla anterior) cuyo origen principal es el desgaste del motor o de la maquinaria que se pretende lubricar.

Otros compuestos que se encuentran en los aceites usados que hacen mermar sus cualidades como lubricantes son:

- Agua: Procedente de la condensación del vapor presente en la atmósfera o incluso de fugas en los sistemas de enfriamiento del aceite. El agua presente en el aceite provoca la emulsión del aceite y puede llegar a disolver ciertos aditivos, restando eficacia al aceite. Lo observamos en el porcentaje de sedimentos expresado en volumen de la tabla anterior.
- Partículas: Tierra y partículas metálicas provenientes del desgaste de las piezas, hollín y subproductos de la combustión de combustibles líquidos.
- Azufre: El azufre procedente del petróleo y presente en la base lubricante puede favorecer la formación de especies ácidas, disminuyendo así el rendimiento del aceite lubricante.
- Plomo: Su presencia se debe al contacto con el combustible que proviene de la degradación del tetraetilo de plomo de las naftas.
- Etc.

Todos ellos son indicadores del tiempo de vida útil que le queda al aceite lubricante

8. Propiedades de las materias primas y de los productos

Las composiciones químicas exactas de la materia prima y los productos del proceso no se conocen. Experimentalmente se dispone de las densidades y viscosidades (Tabla 4) y de las curvas de destilación ASTM-1160 obtenidas a una presión de 1 mbar, (tablas en el anexo).

| Mezcla | Densidad (kg/m ³) | Viscosidad cinemática(cSt) |
|--------------|-------------------------------|---|
| Aceite usado | 890 ^(15°C) | 130 ^(20°C) ; 90 ^(40°C) |
| Base SN-80 | 816 ^(15°C) | 2,54 |
| Base SN-150 | 865 ^(15°C) | 25,5 ^(40°C) ; 4,8 ^(100°C) |
| Base SN-350 | 880 ^(15°C) | 56,0 ^(40°C) ; 7,9 ^(100°C) |

Tabla 4.-Propiedades de las materias primas y de los productos

Composiciones de las mezclas.

A partir de las curvas de destilación ASTM-1160 (a 1 mbar) de las bases lubricantes y el aceite usado, empleando las correlaciones empíricas implementadas en el *Oil Environment* de HYSYS se han generado mezclas hipotéticas (*blends*) de pseudocomponentes que las representan. En las tablas siguientes se detallan las composiciones de las diferentes mezclas (*blends*). Los pseudocomponentes se identifican como **NBP-No.**, NBP significa *Normal Boiling Point* y el número es la temperatura de ebullición del componente en cuestión a presión atmosférica.

| Componentes | Fracción molar | T _{Ebullición} (°C) | P.M. (kg/kmol) | Densidad (kg/m ³) |
|-------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| NBP-482 | 0,3976 | 481,5 | 476,3 | 917,9 |
| NBP-507 | 0,5158 | 506,6 | 513,3 | 925,6 |
| NBP-531 | 0,0866 | 531,4 | 548,9 | 931,2 |

Tabla 5.-Pseudocomponentes del SN-350

| Componentes | Fracción molar | T _{Ebullición} (°C) | P.M. (kg/kmol) | Densidad (kg/m ³) |
|-------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| NBP-433 | 0,1310 | 433,0 | 407,8 | 900,0 |
| NBP-449 | 0,5417 | 448,8 | 431,1 | 906,4 |
| NBP-468 | 0,3274 | 468,1 | 458,5 | 913,6 |

Tabla 6.-Pseudocomponentes del SN-150

| Componentes | Fracción molar | T _{Ebullición} (°C) | P.M. (kg/kmol) | Densidad (kg/m ³) |
|-------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| NBP-286 | 0,0241 | 286,0 | 229,8 | 836,9 |
| NBP-299 | 0,0508 | 298,6 | 245,1 | 843,3 |
| NBP-311 | 0,0270 | 311,5 | 255,5 | 847,4 |
| NBP-330 | 0,0341 | 330,2 | 275,2 | 855,0 |
| NBP-343 | 0,0949 | 342,6 | 294,6 | 862,3 |
| NBP-359 | 0,1279 | 358,9 | 313,4 | 869,3 |
| NBP-374 | 0,1230 | 374,1 | 329,9 | 875,6 |
| NBP-389 | 0,2681 | 388,5 | 346,2 | 882,0 |
| NBP-402 | 0,2501 | 401,6 | 362,8 | 887,4 |

Tabla 7.-Pseudocomponentes del SN-80

| Componentes | Fracción molar | T _{Ebullición} (°C) | P.M. (kg/kmol) | Densidad (kg/m ³) |
|-------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| NBP-241 | 0,0075 | 241,5 | 190,2 | 817,7 |
| NBP-256 | 0,0077 | 256,3 | 196,8 | 821,1 |
| NBP-271 | 0,0081 | 271,2 | 202,7 | 824,4 |
| NBP-286 | 0,0083 | 286,0 | 215,9 | 830,5 |
| NBP-301 | 0,0084 | 300,9 | 232,3 | 837,8 |
| NBP-316 | 0,0088 | 315,8 | 250,0 | 845,2 |
| NBP-331 | 0,0093 | 330,7 | 267,8 | 852,2 |
| NBP-345 | 0,0097 | 345,3 | 286,0 | 859,0 |
| NBP-360 | 0,0114 | 360,5 | 304,8 | 866,0 |
| NBP-377 | 0,0182 | 376,6 | 327,1 | 874,4 |
| NBP-388 | 0,0202 | 388,1 | 342,1 | 880,4 |
| NBP-407 | 0,0198 | 406,9 | 362,8 | 887,4 |
| NBP-420 | 0,0535 | 420,5 | 387,1 | 894,2 |
| NBP-444 | 0,2125 | 444,4 | 423,0 | 904,2 |
| NBP-468 | 0,2279 | 467,6 | 456,0 | 912,9 |
| NBP-494 | 0,1285 | 494,0 | 492,6 | 921,5 |
| NBP-524 | 0,0791 | 524,1 | 536,6 | 929,5 |
| NBP-550 | 0,0384 | 550,3 | 570,9 | 935,8 |
| NBP-579 | 0,0331 | 578,9 | 612,9 | 946,4 |
| NBP-607 | 0,0212 | 606,6 | 660,2 | 957,1 |
| NBP-636 | 0,0178 | 635,8 | 708,3 | 967,1 |
| NBP-669 | 0,0233 | 669,3 | 763,5 | 978,5 |
| NBP-722 | 0,0142 | 722,0 | 847,0 | 995,0 |
| NBP-776 | 0,0072 | 776,0 | 916,9 | 1008,5 |
| NBP-830 | 0,0059 | 830,0 | 991,5 | 1022,9 |

Tabla 8.-Pseudocomponentes del Aceite usado

Las composiciones de todas las mezclas (el aceite usado y las bases lubricantes) pueden expresarse en términos de una lista única de componentes: la del aceite usado utilizando las equivalencias que se muestran en la tabla 9, a continuación.

| Base | Compuesto en base SN-No \equiv Compuesto en aceite usado |
|--------|---|
| SN-80 | NBP-299 \equiv NBP-301; NBP-311 \equiv NBP-316; NBP-330 \equiv NBP-331; NBP-343 \equiv NBP-345; NBP-359 \equiv NBP-360; NBP-374 \equiv NBP-377; NBP-389 \equiv NBP-388; NBP-402 \equiv NBP-407. |
| SN-150 | NBP-433 \equiv NBP-420; NBP-449 \equiv NBP-444; NBP-468 \equiv NBP-468. |
| SN-350 | NBP-482 \equiv NBP-494; NBP-507 \equiv NBP-524; NBP-531 \equiv NBP-550. |

Tabla 9.-Pseudocomponentes de las distintas bases

A partir de la información contenida en las tablas 5 - 9 se pueden obtener las propiedades medias (ponderales) de cada una de las mezclas utilizando la expresión:

$$\bar{P}_i = \sum_i x_i p_i$$

Donde P_i representa el valor medio de la propiedad de la mezcla, p_i los valores individuales de la propiedad para los diferentes componentes de la misma y x_i son sus fracciones molares en la mezcla.

De esta forma las mezclas que participan en el proceso pueden ser representadas como componentes hipotéticos individuales con las propiedades medias calculadas. En la tabla 10 se dan los valores medios de los componentes individuales que representan a las mezclas.

| Componente | $T_{\text{Ebullición}}$ (°C) | P.M. (kg/kmol) | Densidad (kg/m ³) |
|--------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Aceite usado | 476,1 | 470,6 | 912,8 |
| SN-80 | 370,8 | 326,4 | 874,2 |
| SN-150 | 453,0 | 437,0 | 907,9 |
| SN-350 | 498,8 | 501,7 | 923,0 |
| Asfalto | 683,6 | 778,5 | 980,8 |

Tabla 10.-Valores medios de las propiedades individuales de cada componente

Para obtener las propiedades críticas de los componentes a partir de su densidad, temperatura de ebullición y peso molecular he utilizado las correlaciones de Kesler-Lee.

9. Análisis de soluciones

El aceite lubricante usado es un serio problema de polución. Su vertido puede contaminar el agua y el terreno y si se quema como un combustible de baja eficiencia puede arrojar a la atmósfera metales dañinos para la salud y otros contaminantes. Por lo tanto, para prevenir la polución y para preservar el medio ambiente estos aceites deben ser recolectados y adecuadamente tratados.

El reciclaje de lubricantes usados produce materiales para su reutilización, se puede realizar de dos maneras, reprocesando y re-refinando.

El reprocesado consiste en una serie de tratamientos que eliminan las aguas presentes y contaminantes solubles usando productos químicos y/o absorbentes. Incluye producción de combustible a partir de aceite usado usando métodos suaves de limpieza, (decantación, calentamiento, filtración y centrifugación). El re-refinado es el tratamiento que produce bases de aceite para su vuelta a utilizar.

En términos de consumo energético y de conservación del medio la opción del re-refinado es más atractiva que el reprocesado. La Comunidad Europea y la legislación española recomiendan este método. Sin embargo, debido a cuestiones de índole económica o a causa de los vertidos que puedan producirse, en el año 2004 menos del 20% del aceite susceptible de re-refinarse era procesado de esta forma.

Las tecnologías actuales de re-refinado convergen en un procedimiento de dos pasos: (a) separación de las bases y los contaminantes mediante una destilación en vacío y (b) terminación de las bases mediante hidrogenación.

En este esquema el primer paso presenta problemas de ensuciamiento tanto en el equipo de calentamiento como en el de destilación y problemas de cracking que ocasionan que las bases obtenidas sean de poca calidad.

Para evitar estos problemas se ha propuesto el uso de evaporadores de película fina pero la inversión y los costos de operación de estos equipos es muy elevada, sólo son competitivos para producciones mayores de 60000 Tm/año. Obviamente esto hace que la cuestión logística se convierta en otro problema a considerar.

Por otra parte la supresión de la hidrogenación catalítica es un factor deseable debido al alto coste de esta operación.

Considerando todos estos factores se impone la búsqueda de variaciones del esquema marcado anteriormente, la inclusión de una etapa anterior a la destilación a vacío que evite los problemas de suciedad, de cracking y elimine la necesidad del paso de hidrogenación catalítica.

En principio la extracción con propano cumple con todos estos requisitos, la base de este método es la extracción selectiva de las bases de aceite desde el aceite usado.

El proceso de extracción es parecido al usado en el refinado de crudo para separar los asfaltenos y producir bases de aceite.

El uso de propano para regenerar el aceite usado lo propuso el Institut Français du Pétrole, para mejorar la eficiencia de la tecnología ácido-arcilla, que se había quedado obsoleta por cuestiones técnicas, económicas y medioambientales.

10. Elección del método

El propano líquido ha sido usado con frecuencia para la extracción de lubricantes usados, en el trabajo “Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction” se ha tratado de identificar cuáles son las mejores condiciones para separar las bases del aceite susceptibles de reformulación evitando la coextracción de los productos de oxidación y los componentes metálicos. Se ha analizado el efecto de la presión (30-60 kg/cm²) y de la temperatura (20-140 °C) sobre la eficiencia y el rendimiento de la extracción.

No se ha encontrado efecto de la presión en el rendimiento ni en la extracción de componentes metálicos en el rango estudiado, sin embargo a bajas presiones los componentes metálicos son eliminados con mayor eficiencia.

En relación a la temperatura: a una presión dada los rendimientos de extracción no se ven afectados mientras el propano permanezca líquido. Sin embargo, cuando la temperatura aumenta de modo que el propano se hace gas o entra en condiciones supercríticas los rendimientos descienden. Es más, el descenso de rendimiento observado con el propano en condiciones supercríticas está directamente relacionado con la densidad, cuanto mayor sea ésta mejor será el rendimiento.

Por otra parte a presión constante, la eliminación de componentes metálicos y de oxidación aumentó con el aumento de temperatura.

En el proceso de extracción no se encuentra influencia de la presión en el rendimiento ni en la remoción de componentes metálicos, sin embargo a bajas presiones estos componentes se eliminan más eficientemente. Esto se atribuye a la variación de la densidad del propano con la presión y por lo tanto con la mayor capacidad solvente del mismo.

En relación con la temperatura, a una presión dada: el rendimiento de extracción no sufría variaciones importantes siempre que el propano permaneciese líquido. Sin embargo, si la temperatura se incrementa hasta que el propano alcanza condiciones gaseosas o supercríticas los rendimientos decrecen.

Por otra parte la remoción de elementos metálicos o de oxidación aumenta conforme aumenta la temperatura a presión constante. El efecto de esta variable se explica considerando el efecto combinado de la densidad del fluido, la presión de vapor de los diferentes componentes y la concentración de agentes dispersantes en la solubilidad de los componentes de interés.

Las condiciones óptimas de proceso son: $T=90\text{ C}$ y $P= 30\text{ kg/cm}^2$, la destilación a vacío de aceites extraídos en estas condiciones proporciona aceites con unas características físico-químicas similares a las de las bases de aceite virgen.

11. Descripción del proceso.

Las referencias numéricas con respecto al plano 01.Equipos.

El proceso de regeneración va a ser el siguiente:

Desde el tanque de almacenamiento correspondiente el aceite usado es bombeado hacia la primera vasija de pretratamiento (3), previo a la cual se mezcla con un componente básico y un catalizador.

Una diferencia sustancial entre este método y los anteriores es la presencia de agua en el aceite usado, en procesos de reciclaje convencionales el agua se debe eliminar antes de comenzar el proceso, en este caso, la presencia de agua en el aceite usado es una ventaja porque proporciona dos fases, una fase acuosa y una orgánica que ayudan a la eliminación de los contaminantes.

La cantidad óptima de agua en el aceite usado está entre el 5-10% en volumen, cuando el aceite usado tiene al menos un 5% de agua, la cantidad total de compuestos químicos

usados para el pretratamiento depende de la cantidad total de metales que se encuentran en el aceite y puede variar entre un 0.4% y un 2% en peso de aceite usado, la cantidad de catalizador está entre 0.01-0.1% de en peso de aceite usado.

Cuando la cantidad de agua no es la suficiente, se añadirá esta antes de empezar el proceso, la cantidad de esta viene dada por la ecuación:

$$(5 - x) * 303 = y$$

Siendo x el porcentaje de agua contenida en el aceite e y la cantidad en litros de agua a añadir a la vasija de pretratamiento.

Una vez realizada la mezcla, el aceite se calienta a unos 82°C, por debajo del punto de ebullición del agua para evitar pérdidas y se mantiene entre 30-90 minutos, tiempos de residencia en los tanques.

El aceite pretratado se mezcla con propano líquido, la mezcla se realiza antes de introducir la corriente en la vasija de extracción, y ésta se realiza con una válvula de globo, para favorecer que la mezcla se produzca en régimen laminar.

El propano líquido se mezcla en una proporción de 5:1

La corriente principal se introduce en la torre de extracción a 3MPa y 90C, el 80% del propano ya ha sido mezclado en la válvula de globo, el otro 20% será la corriente ligera en la entrada a la extracción.

El destilado lo formarán el agua y el componente asfáltico, que saldrán con las impurezas precipitadas por el fondo de la torre, el propano arrastrará a las bases de aceite y a los hidrocarburos ligeros.

La fracción pesada contiene asfaltenos, agua y un alto porcentaje de metales y compuestos fosforosos, polímeros y otras impurezas que se encontraban en el aceite usado; después de haber eliminado el agua mediante una evaporación la fracción restante se convierte en residuo asfáltico.

La fracción ligera sale por la cabeza de la torre y después de pasar por una válvula de expansión se introduce en una torre de destilación flash, donde se separa una parte gaseosa formada casi en su totalidad por propano de una líquida en la que permanece una parte del propano, los hidrocarburos ligeros y las bases de aceite.

Esta corriente principal se destila a presión atmosférica, se separan de esta forma los componentes ligeros de la mezcla (propano e hidrocarburos ligeros) de las bases de aceite, que trataré posteriormente en una destilación a vacío.

El destilado de la torre atmosférica lo paso a través de una torre de destilación flash en la que se separa el resto de propano de los hidrocarburos ligeros, esta corriente gaseosa la comprimo y la uno con la que proviene de la anterior destilación flash, completando todo el propano empleado en el proceso.

Esta corriente la hago pasar por un compresor y a través de un intercambiador para hacerla recuperar el estado líquido y devolverla al circuito.

La corriente formada por las bases de aceite limpias las separo mediante dos destilaciones en vacío sucesivas que me proporcionan los componentes con las características necesarias para su comercialización.

Buscando la optimización energética del proceso las corrientes producidas en las sucesivas destilaciones se utilizan para calentar los fluidos en distintas partes del proceso, el calor remanente se elimina mediante unos enfriadores y las bases de aceite producidas se almacenan en los depósitos correspondientes.

El proceso anual proporciona:

| Producto | Cantidad (Tm/año) |
|-----------------------|-------------------|
| Aceite usado | 25000 |
| SN80 | 1759 |
| SN150 | 10643 |
| SN350 | 6140 |
| Hidrocarburos ligeros | 277 |
| Asfaltos | 4920 |
| Agua | 1261 |

Tabla 11.-Producción anual

Las bases de aceite se comercializarán, el agua se traslada a un centro de depuración y el asfalto y los hidrocarburos ligeros se venden como subproductos.

ANEXO

1. Lista de equipos

La planta se dividirá en tres áreas: la de proceso (1), almacenaje (2) y tanques CI, caldera y torre de enfriamiento (3).

El código de la planta es el 1.

| Número | Descripción equipo | Código |
|----------------------------------|----------------------------|-----------|
| Tanques de almacenamiento | | |
| 1 | Recepción aceite | T-1201-A |
| 1 | Recepción aceite | T-1201-B |
| 1 | Recepción aceite | T-1201-C |
| 41 | SN80 | T-1241-A |
| 40 | SN150 | T-1240-A |
| 40 | SN150 | T-1240-B |
| 45 | SN350 | T-1245-A |
| 45 | SN350 | T-1245-B |
| 44 | Hidrocarburos ligeros | T-1244-A |
| 42 | Residuo asfáltico | T-1242-A |
| 42 | Residuo asfáltico | T-1242-B |
| 43 | Agua | T-1243-A |
| 50 | Propano | T-1350-A |
| Vasijas horizontales | | |
| 3 | Vasija de pretratamiento 1 | MD-1103-A |
| 4 | Vasija de pretratamiento 2 | MD-1103-B |
| Mezclador | | |
| 6 | Mezclador adiabático | MD-1106-A |
| 21 | Mezclador adiabático | MD-1121-A |
| Válvula de expansión | | |
| 9 | Válvula de expansión | CV-1109-A |
| Intercambiadores de calor | | |
| 2 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1102-A |
| 5 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1105-A |
| 15 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1115-A |
| 10.1 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1110-A |
| 10.2 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1155-A |
| 23 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1123-A |
| 17 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1117-A |

| | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|----------|
| 19 | Carcasa y tubos (2x1) | E-1119-A |
| 32 | Condensador C3 | E-1132-A |
| 33 | Condensador SN80 | E-1133-A |
| 34 | Condensador SN150 | E-1134-A |
| 35 | Rehervidor SN | E-1135-A |
| 36 | Rehervidor SN150 | E-1136-A |
| 37 | Rehervidor SN350 | E-1137-A |
| 25 | Enfriador SN150 | E-1125-A |
| 26 | Enfriador SN350 | E-1126-A |
| 27 | Enfriador SN80 | E-1127-A |
| 28 | Enfriador residuo asfáltico | E-1128-A |
| 29 | Enfriador Vapor | E-1129-A |
| 30 | Enfriador agua | E-1130-A |
| Bombas | | |
| B1 | Bomba centrífuga | P-1101-A |
| B4 | Bomba centrífuga | P-1104-A |
| B5 | Bomba centrífuga | P-1105-A |
| B6 | Bomba centrífuga | P-1106-A |
| B10 | Bomba centrífuga | P-1109-A |
| B11 | Bomba centrífuga | P-1110-A |
| B13 | Bomba centrífuga | P-1112-A |
| B14 | Bomba centrífuga | P-1113-A |
| B15 | Bomba centrífuga | P-1114-A |
| B17 | Bomba centrífuga | P-1116-A |
| Compresores | | |
| 22 | Compresor 1-15 | K-1122-A |
| 12 | Compresor 15-30 | K-1112-A |
| Torres de destilación flash | | |
| 11 | Flash 30-15 | C-1111-A |
| 20 | Flash 15-1 | C-1120-A |
| Torre de extracción | | |
| 7 | Torre de extracción | C-1107-A |
| Torres de destilación | | |
| 14 | Torres de destilación atmosférica | C-1114-A |
| 16 | Torre de destilación vacío SN80 | C-1116-A |
| 18 | Torre de destilación vacío SN150 | C-1118-A |
| Bombas de vacío | | |
| BV1 | Torre SN80 | P-1131-A |
| BV2 | Torre SN150 | P-1132-A |
| BV3 | Evaporador | P-1133-A |

| | | |
|----|--|-----------|
| 8 | Evaporador Evaporador de película fina | E-1108-A |
| 24 | Separador atmosférico Separador atmosférico Ligeros | S-1124-A |
| | Torre de refrigeración Torre de refrigeración | CT-1370-A |
| | Calderas Calderas | F-1375-A |
| 9 | Válvulas de expansión Válvula de expansión | CV-1109-A |

Tabla 1.-Lista de equipos

2. Cálculo de equipos

1. Cálculo de la torre de extracción líquido-líquido.

Diseño torre de extracción.

La torre será una empacada con relleno aleatorio, son las que proporcionan mejor rendimiento.

En la torre entran dos corrientes, alimentación y extractiva, en la primera se encuentra la corriente principal de aceite usado junto con el 80% de la corriente de propano, que se ha mezclado previamente en una válvula de globo, la segunda corriente está formada por el otro 20% de propano.

El sistema es adiabático y operará a (90°C , $30\text{kg}/\text{cm}^2$), condiciones ideales de extracción, como ya se justificó anteriormente.

El propano arrastrará a las bases del aceite y a los hidrocarburos ligeros, en el diseño consideraré únicamente al propano, el aceite y el agua; con lo cual asumo que estoy con un disolvente inmiscible con la alimentación.

Voy a hacer unas estimaciones con las que calcularé las corrientes de salida, balances y las dimensiones de la torre.

Las suposiciones o estimaciones que voy a tener en cuenta serán:

El sistema estará formado por propano, aceite y agua, el asfalto lo voy a suponer dentro de la fase acuosa.

El propano se lleva el aceite y los hidrocarburos ligeros, dejando el asfalto, el agua y todos los metales pesados.

El balance de masa de la operación queda:

| | Alimentación | Propano | Extracto | Destilado |
|---------------|--------------|---------|----------|-----------|
| Caudal (kg/s) | 0.793 | 4 | 4.597 | 0.196 |
| SN | 0.74 | 0 | 0.126 | 0.031 |
| Asfalto | 0.19 | 0 | 0 | 0.765 |
| C12 | 0.02 | 0 | 0.003 | 0.001 |
| Agua | 0.05 | 0 | 0 | 0.203 |
| Propano | 0.0 | 1 | 0.870 | 0 |

Tabla 2.- Balance de masa torre de extracción

La absorción se realiza al 99.5%, quedan las bases de aceite y propano en el destilado; la cantidad de aceite perdido será el 0.5%, considero que todo el propano sale en el extracto.

Las condiciones de una torre de relleno se consideran adiabáticas, las corrientes salen a las mismas condiciones en que se encuentran en el interior: (90°C, 30kg/cm²)

Los pasos a seguir para el diseño son:

Seleccionar el tipo y el tamaño del relleno.

Determinar el diámetro de la columna (capacidad) necesario en función de los fluidos involucrados.

Determinar la altura de la columna que se necesita para llevar a cabo la separación específica.

Tipo y tamaño de relleno

Los tipos de relleno disponibles con sus características se presentan a continuación:

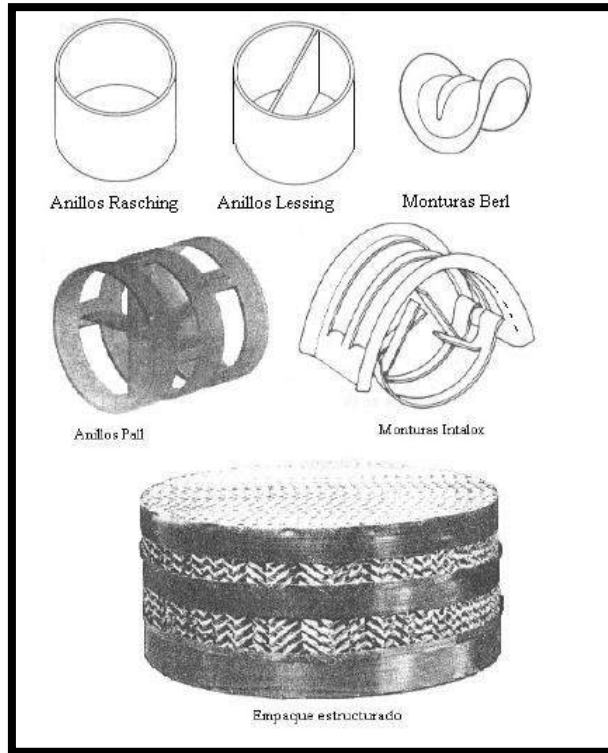


Figura 1.- Tipos de relleno

| | Tamaño | | Densidad (Kg/m ³) | Area Superficial (m ² /m ³) | Factor de relleno F _p | |
|---|--|------|----------------------------------|--|--|----|
| | Pulgadas | mm | | | | |
| Anillos Rasching | 0.50 | 13 | 881 | 368 | 640 | |
| Cerámica | 1.0 | 25 | 673 | 190 | 160 | |
| | 1.5 | 38 | 689 | 128 | 95 | |
| | 2.0 | 51 | 651 | 95 | 65 | |
| | 3.0 | 76 | 561 | 69 | 36 | |
| Metal (densidad del acero al carbono) | 0.5 | 13 | 1201 | 417 | 300 | |
| | 1.0 | 25 | 625 | 207 | 115 | |
| | 1.5 | 38 | 785 | 141 | 83 | |
| | 2.0 | 51 | 593 | 102 | 57 | |
| Anillos Pall | 3.0 | 76 | 400 | 72 | 32 | |
| | 0.625 | 16 | 593 | 341 | 70 | |
| | Metal (densidad del acero al carbono) | 1.0 | 25 | 481 | 210 | 48 |
| | | 1.25 | 32 | 385 | 128 | 28 |
| Plásticos (densidad del polipropileno) | 2.0 | 51 | 353 | 102 | 20 | |
| | 3.5 | 76 | 273 | 66 | 16 | |
| | 0.625 | 16 | 112 | 341 | 97 | |
| | 1.0 | 25 | 88 | 207 | 52 | |
| | 1.5 | 38 | 76 | 128 | 40 | |
| Sillas Intalox | 2.0 | 51 | 68 | 102 | 25 | |
| | 3.5 | 89 | 64 | 85 | 16 | |
| | 0.5 | 13 | 737 | 480 | 200 | |
| | Cerámica | 1.0 | 25 | 673 | 253 | 92 |
| 1.5 | | 38 | 625 | 194 | 52 | |
| 2.0 | | 51 | 609 | 108 | 40 | |
| 3.0 | | 76 | 577 | | 22 | |

Tabla 3.-Datos de diseño para diferentes rellenos

Elijo relleno de 50 mm., es el más común y tiene mejor calidad precio; el material va a ser plástico. Las características del relleno escogido son:

Plásticos Tamaño= 51 mm. (2.0 in).

Densidad (Kg/m^3)= 68.

Área superficial (m^2/m^3)= 102

Factor de relleno, $F_p=25$

Determinar el diámetro de la columna (capacidad) necesario en función de los fluidos involucrados

La capacidad de la columna viene determinada por su sección transversal, la columna se diseñará para operar con la pérdida de carga que resulte más económica y que asegure una buena distribución de los fluidos.

Para columnas con relleno al azar, la pérdida de carga no excede de $80 \text{ mmH}_2\text{O}/\text{m}$ de altura de relleno, en estas condiciones, la velocidad del líquido extractivo será de, aproximadamente, un 80% la velocidad de inundación.

La sección de la columna y su diámetro para una pérdida de carga seleccionada puede determinarse a partir de la figura 2, “Correlación generalizada de la pérdida de carga”, donde se correlaciona la relación entre las velocidades de flujo del líquido de alimentación y el líquido extractivo, las propiedades físicas del sistema y las características del empaquetado con el flujo másico del fluido extractivo por unidad de área para distintos valores de la pérdida de carga.

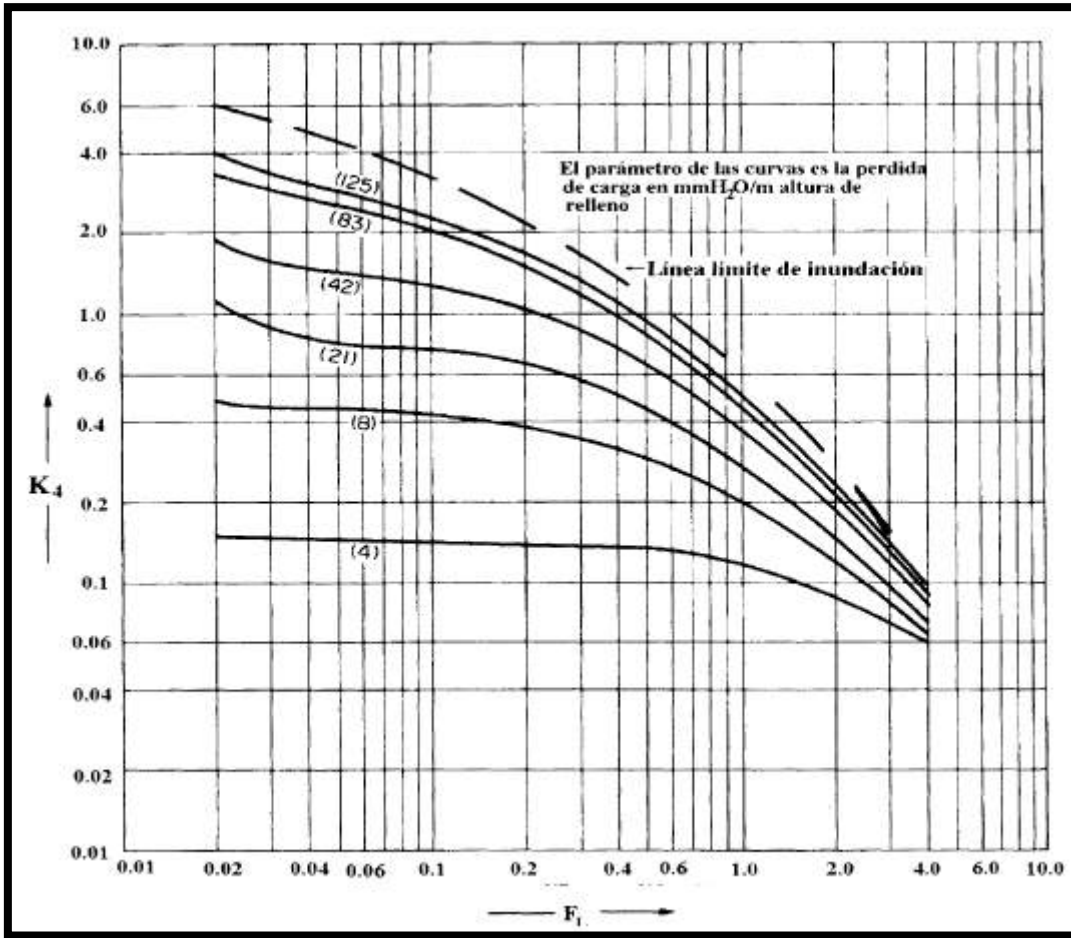


Figura 2.- Correlación generalizada de pérdida de carga

$$F_L = \frac{L_e}{L_a} * \sqrt{\frac{\rho_e}{\rho_a}}$$

Donde:

F_L =Factor de flujo, los valores de este factor cubren el intervalo habitual de trabajo.

L_E =Flujo másico del líquido extractivo por unidad de área ($\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$)

ρ_A, ρ_B = densidades promedio del líquido de alimentación y del líquido extractivo (kg/m^3)

Densidad de la mezcla

$$\frac{1}{\rho} = \frac{X_A}{\rho_A} + \frac{X_B}{\rho_B}$$

Donde

ρ =densidad promedio de la mezcla

En nuestro caso:

$$P_{\text{AceiteUsado}}=910 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_{\text{propano}}=500 \text{ Kg/m}^3$$

El término K_4 en la figura 2 es la función:

$$K_4 = \frac{42.9 * (L_E)^2 * F_P * \left(\frac{\mu_A}{\rho_A}\right)^{0.1}}{\rho_E * (\rho_A - \rho_E)}$$

Donde:

K_4 = Constante de correlación de la pérdida de carga.

$$F_P = 25$$

$$\mu_A = 1.91 \text{ (Ns/m}^2\text{)}$$

$$\mu_A=13.11 \text{ cSt (100}^\circ\text{C); } \mu_p=0.22 \text{ cSt}$$

El flujo mínimo de líquido extractivo por unidad de área transversal para mojar todo el empaque:

$$(Li)_{\min} = MWR * \rho_l * a$$

MWR =Razón mínima de mojadura (=0.08/0.121) m^2/h en función del empaque)

a = relación superficie/volumen del empaque

ρ_l = densidad del líquido extractivo

$$MWR=3.36*10^{(-5)}$$

$$a=102$$

$$Li \text{ mínimo}=1.99 \text{ kg/m}^2*\text{s}$$

Viscosidad promedio de una mezcla líquida

Se hace utilizando la ecuación de Refutas, el cálculo se hace en tres pasos:

$VBN=14.534*\ln(\ln(v+0.8))+10.975$; este es el número de función viscosidad, se halla para cada componente de la mezcla; v es la viscosidad cinemática en centistokes

En nuestro caso:

Aceite 13.11 cSt

Propano 0.22 cSt

VBN de la mezcla

$VBN_{blend} = (x_i * VBN_i)$, con x_i la fracción de la masa de cada uno de los componentes

Viscosidad de la mezcla

$$v = \exp(\exp(\frac{VBN_{blend} - 10.975}{14.534})) - 0.8 = 1.9106 \text{ cSt}$$

Una vez calculados FL y K4 entramos en la grafica de correlación generalizada de pérdida de carga Y obtenemos:

$$FL = 0.185$$

$$K4(\text{a la caída de presión de diseño}) = 1.22$$

$$K4(\text{al punto de inundación}) = 2.2$$

$$\Delta p = 42 \text{ mmH}_2\text{O/m altura de relleno}$$

$$\% \text{inundación} = \frac{K_4(\text{a la caída de presión de diseño})}{K_4(\text{al punto de inundación})} = \frac{1.22}{2.2} = 55.6\%$$

La velocidad de flujo es 1.23 m/s

El área transversal de la columna es 3.25 m²

El diámetro 2.03 m.

Estos valores están estimados con un caudal de líquido propano de 4 kg/s; el porcentaje de inundación se encuentra dentro de lo deseable (entre 40 y 60 %)

Determinar la altura de la columna que se necesita para llevar a cabo la separación específica

Altura del lecho empacitado

$$Z = H_{tu} * N_{OL}$$

Z=Altura de la torre ;Htu= altura de la unidad de transferencia; N_{OL}= número de unidades de transferencia.

Valores típicos de Htu para empacamientos al azar son: 0.6-1 si es de 50 mm.

¿Cómo calcular la altura?

Encontrar el valor de Htu por el tamaño de del relleno

Entre 0.6 y 1 m; adoptamos 1 m.

Calcular el N_{OL} por medio de la siguiente fórmula:

$$N_{OL} = \frac{\ln\left(1 - \frac{m * L_{me}}{L_{ma}}\right) * \frac{X_{e1}}{X_{e2}} + \frac{m * L_{me}}{L_{ma}}}{\ln\left(\frac{m * L_{me}}{L_{ma}}\right)}$$

Donde:

X_{e1} y X_{e2} Fracción molar del soluto en el liquido extractivo en el fondo y en el tope de la columna respectivamente.

$(m * L_{me} / L_{ma}) =$ factor de absorción, debe encontrarse entre 1.5 y 2.0

Si tomamos 4.5 kg/s el flujo extractivo el número de etapas es de 4,04; si lo hacemos con 4 el número de etapas es de 4.18.

Estamos en una extracción con un rendimiento del 99.5%, tomaré la altura Htu de 1m (máxima) y $N_{OL}=4$.

Esto deja una torre de 2m de diámetro y 4 de altura.

2. Cálculo de la destilación flash.

En cada una de las torres el cálculo es similar, elegidas la temperatura y la presión a la que se produce la destilación instantánea, el cálculo de la presión de vapor de cada uno de los componentes lo realizo a través de la ecuación de Antoine, verifico que las mezclas se encuentren entre las temperaturas de burbuja y rocío y obtengo la proporción entre gas y líquido por tanteo utilizando las ecuaciones de Rachford-Rice.

A continuación presento unas tablas de Excel con el cálculo:

Para la columna 11:

| Caudal entrada | 0.092 | Composición | Fracción molar | Total | Total masa |
|--------------------|---------|-------------|----------------|-------|---------------|
| | | SN | 0.016 | 0.001 | 0.588 |
| | | C12 | 0.001 | 0.000 | 0.014 |
| | | C3 | 0.983 | 0.091 | 3.995 |
| | | | | | 4.597 |
| Caudal gas | 0.079 | Composición | Fracción molar | Total | Total gas |
| | | C3 | 1.000 | 0.079 | 3.454 |
| | | C12 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | SN | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | 3.454 |
| Caudal líquido | 0.014 | Composición | Fracción molar | Total | Total líquido |
| | | C3 | 0.886 | 0.012 | 0.540 |
| | | C12 | 0.006 | 0.000 | 0.014 |
| | | SN | 0.108 | 0.001 | 0.588 |
| | | | | | 1.143 |
| Fracciones másicas | Entrada | Salida gas | Salida líquido | | |
| SN | 0.128 | 0.000 | 0.515 | | |
| C12 | 0.003 | 0.000 | 0.012 | | |
| C3 | 0.869 | 1.000 | 0.473 | | |

masa (kg/s)

Tabla 4.-Balance de masa torre de destilación flash 11

Para la columna 20:

| Caudal entrada | 0.012 | Composición | Fracción molar | Total | Total masa |
|--------------------|---------|-------------|----------------|-------|---------------|
| | | SN | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | C12 | 0.007 | 0.000 | 0.014 |
| | | C3 | 0.993 | 0.012 | 0.540 |
| | | | | | 0.554 |
| Caudal gas | 0.012 | Composición | Fracción molar | Total | Total gas |
| | | C3 | 0.996 | 0.012 | 0.540 |
| | | C12 | 0.004 | 0.000 | 0.008 |
| | | SN | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | 0.548 |
| Caudal líquido | 0.000 | Composición | Fracción molar | Total | Total líquido |
| | | C3 | 0.027 | 0.000 | 0.000 |
| | | C12 | 0.973 | 0.000 | 0.006 |
| | | SN | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | 0.006 |
| Fracciones másicas | Entrada | Salida gas | Salida líquido | | |
| SN | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| C12 | 0.025 | 0.014 | 0.993 | | |
| C3 | 0.975 | 0.986 | 0.007 | | |

masa (kg/s)

Tabla 5.-Balance de masa torre de destilación flash 20

Los cálculos detallados de la aplicación de las ecuaciones de Antoine, y del tanteo en las hojas: “Cálculo torre destilación flash 11” y “Cálculo torre destilación flash 20”.

Voy a calcular las dimensiones de la torre de destilación flash número 11 de la siguiente forma:

La relación de longitud a diámetro debe quedar lo más cercana a $(L/D)=3$.

Se prefieren tanques verticales, a alta presión se construyen tapas elipsoidales y a bajas, como el que nos ocupa, tapas toriesféricas.

La velocidad de gases en el espacio de vapor de los tanques de separación se fija de manera tal que se minimice el arrastre, la velocidad máxima o de arrastre se puede calcular por:

$$Va = 0.35 * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}} \left(\frac{ft}{s}\right)$$

Donde ρ_l (densidad del liquido, (lb/ft^3)) y ρ_v (densidad del gas, (lb/ft^3)). Para prevenir el arrastre la velocidad de diseño es una fracción de ésta.

$$\rho_l = x_{c3} * \rho_{c3} + x_{c12} * \rho_{c12} + x_{sn} * \rho_{sn} = 732.6 \text{ kg}/m^3$$

$$\rho_v = 2.27 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_a = 6.27 \frac{m}{s}$$

Tanques con malla:

$$v_d = 0.75 * v_a$$

Tanques sin malla, nuestro caso:

$$v_d = 0.36 * v_a = 2.26 \text{ m}/s$$

En los tanques verticales la velocidad se calcula en base al área de la sección transversal interna. Con la velocidad el diámetro del tanque será igual a:

$$A = \frac{G}{Vd}$$

$$D_0(ft) = \sqrt{\frac{A}{0.785}}$$

$$G = 2.896 \frac{kg}{s} * 0.44 \frac{m^3}{kg} = 1.276 \frac{m^3}{s}$$

$$A = 0.56 m^2$$

$$D_0(m) = 0.84 m$$

$$H = 2.52 m.$$

El nivel ocupado por el líquido en un tanque separador se especifica generalmente en términos de tiempo de retención para el flujo de líquido. El tiempo de retención en tanques de destilación flash es de alrededor de 15 minutos.

Otro de los parámetros que debe fijarse es de nivel máximo y el nivel mínimo de líquido en el tanque, para que este pueda controlarse satisfactoriamente (NMI), (NMA).

En tanques verticales NMA no debe ser mayor que un diámetro D_1 por debajo de la tubería de entrada.

La localización de la entrada en relación al domo del tanque se calcula dejando una distancia entre la parte superior del tanque y la boquilla de entrada igual a un diámetro del tanque D_0 . El nivel mínimo de líquido en el tanque NMI deberá ser de 6 pulgadas por arriba del fondo del tanque o mayor si hay arrastre de gas ya sea con o sin formación de vórtice. El nivel al cual esto sucede puede calcularse por:

$$V_0H = \frac{V^2}{2 * g} * \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_G} (ft)$$

Donde V_0H es la cabeza de velocidad en la boquilla de descarga.

V = velocidad de salida.

El arrastre ocurre por debajo de las alturas calculadas por:

$$\frac{H}{D_3} = 0.9 * \left[\frac{V_0H}{\frac{D_3}{2}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Donde, D_3 = diámetro de salida

H = altura mínima (ft)

El vapor puede ser arrastrado por el fondo del tanque por medio de dos mecanismos, según sea el nivel del líquido alto o bajo. En el segundo caso se sube el nivel y se elimina el problema; si el nivel es alto se puede formar un vórtice de manera tal las fuerzas centrífugas crean un hoyo por el que se fuga el vapor, esto se elimina con un rompedor de vórtices.

Nivel mínimo para formación de vórtice=13* VH

Donde la cabeza de velocidad $VH = \frac{v^2}{2 \cdot g}$, está basada en la velocidad típica de salida de 3ft/s (1m/s). El nivel mínimo a que se forma un vórtice es de 1.8 ft (0.55 m), basándonos en este criterio, en la mayoría de los tanques se requeriría un rompedor de vórtices.

Para la boquilla de entrada el tamaño suele ser el de línea, fijado por la caída de presión deseada en la línea.

Para la torre número 20 repito el cálculo del diámetro:

$$Va = 0.35 * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \left(\frac{ft}{s}\right)}$$

$$\rho_l = x_{c3} * \rho_{c3} + x_{c12} * \rho_{c12} = 505 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_v = 44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_a = 1.13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tanques con malla:

$$v_d = 0.75 * v_a$$

Tanques sin malla, nuestro caso:

$$v_d = 0.36 * v_a = 0.408 \text{ m/s}$$

En los tanques verticales la velocidad se calcula en base al área de la sección transversal interna. Con la velocidad el diámetro del tanque será igual a:

$$A = \frac{G}{Vd}$$

$$D_0(ft) = \sqrt{\frac{A}{0.785}}$$

$$G = 0.547 \frac{kg}{s} * 0.44 \frac{m^3}{kg} = 0.241 \frac{m^3}{s}$$

$$A = 0.59 m^2$$

$$D_0(m) = 0.87 m$$

$$H = 2.61m.$$

3. Cálculo torres de destilación.

Utilizaré las correlaciones de Kesler-Lee para conocer el valor de las propiedades de cada una de las fracciones a partir de la gravedad específica y el punto de ebullición o el peso molecular (me baso en Characterizing Pure and Undefined Petroleum Components, Hassan S. Naji) y así poder calcular la presión de vapor y las constantes vapor-líquido.

Para cada una de las torres voy a calcular la presión de operación y el tipo de condensador con el siguiente algoritmo:

Calcular presión de burbuja del destilado a 50°C

- Si < 15 atm: condensador total, con agua (Si < 2 atm: P en condensador = 2 atm)
- Si >15 atm : calcular punto de rocío
- Si Pr < 25 : condensador parcial, con agua
- Si Pr > 25: condensador parcial, Pcondensador=28, refrigerante distinto al agua.

Torre atmosférica

Pb (destilado, 50°C)= 9.2 atm.

Condensador total, con agua.

Elijo como presión en el condensador 101.325 kPa. La temperatura de burbuja del destilado es T=-41.2°C y la de rocío es T=68.5°C.

La presión en el fondo de la columna la estimo en P=1.6*Pcondensador.

La temperatura de los fondos será la temperatura de burbuja T=220°C

Torre de SN80

Pb (destilado, 50°C) < 15,

Condensador total, agua a P=2 atm

Elijo como presión en el condensador 0.5332 kPa. La temperatura de burbuja del destilado es T=185.4°C y la de rocío es T=192.3°C.

La presión en el fondo de la columna la estimo en $P=1.6 \cdot P_{\text{condensador}}$.

La temperatura de los fondos será la temperatura de burbuja T=256°C

Torre de SN150

Pb (destilado, 50°C) < 15,

Condensador total, agua a P=2 atm

Elijo como presión en el condensador 0.5332 kPa. La temperatura de burbuja del destilado es T=248.4°C y la de rocío es T=248.9°C.

La presión en el fondo de la columna la estimo en $P=1.6 \cdot P_{\text{condensador}}$.

La temperatura de los fondos será la temperatura de burbuja T=283.5°C

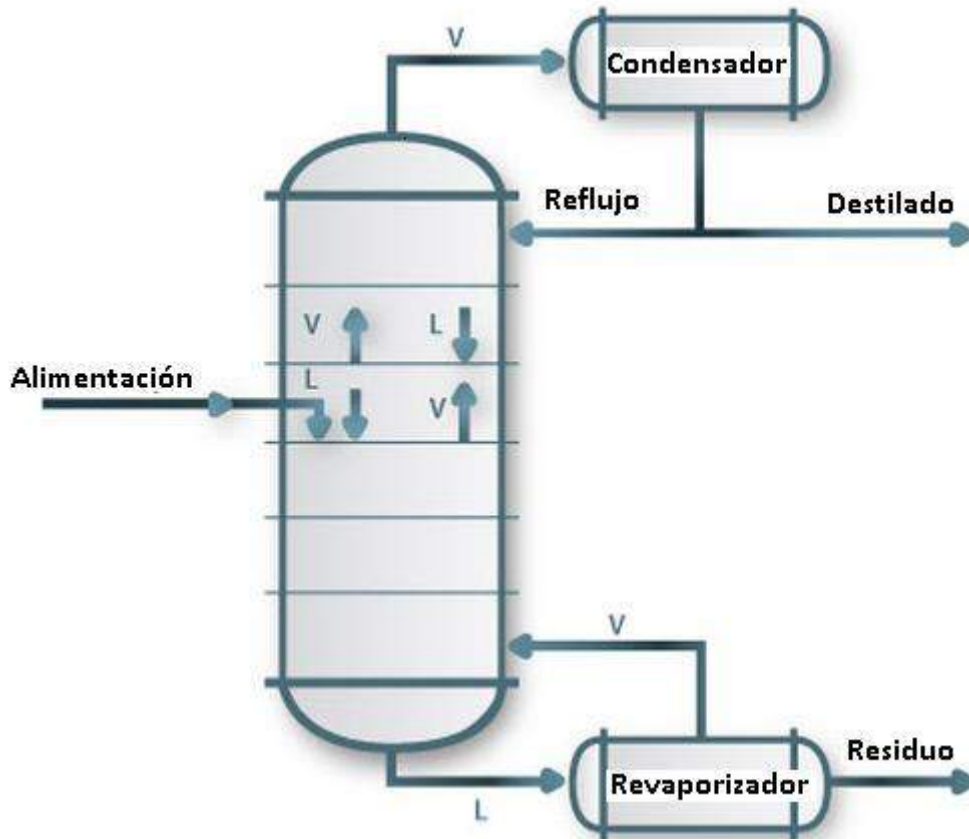


Figura 3.- Torre de destilación atmosférica

Diseño de la torre atmosférica.

La composición a la salida del flash, másica, será:

$m_{C_3} = 0.540$; $m_{C_{12}} = 0.014$; $m_{SN} = 0.588$; en kg/s.

Para separar las componentes más ligeras de la mezcla antes de someterla a la destilación de vacío realizaré una destilación atmosférica en la que separaré los hidrocarburos ligeros (caracterizados por C_{12}) y el propano de la mezcla, introduciré la corriente en la torre a 50°C , la temperatura de salida de la destilación flash.

Voy a realizar el cálculo considerando que es una mezcla multicomponente, el HK será el SN y el LK el C_{12} , en las composiciones de destilado y residuo no aparecerán el SN y el C_3 respectivamente, esto lo reflejaré con una concentración molar de 10^{-6} .

Condiciones de alimentación

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|-------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| C3= | 0.540 | 0.473 | 44.000 | 0.012 | 44.205 | 0.867 | 1945.038 |
| C12= | 0.014 | 0.012 | 170.000 | 0.000 | 0.293 | 0.006 | 49.767 |
| SN80= | 0.588 | 0.515 | 326.400 | 0.002 | 6.490 | 0.127 | 2118.195 |
| | 1.143 | | | 0.014 | 50.988 | | 4113.000 |

Condiciones de destilado C3 completo, C12 al 0,995, sin SN80

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|-------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| C3= | 0.540 | 0.975 | 44.000 | 0.012 | 44.183 | 0.993 | 1944.065 |
| C12= | 0.014 | 0.025 | 170.000 | 0.000 | 0.291 | 0.007 | 49.518 |
| SN80= | 0.000 | 0.000 | 326.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 0.5538 | | | 0.012 | 44.475 | | 1993.584 |

Condiciones de residuo SN80 completo, C12 al 0,005, sin C3

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|-------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|
| C3= | 0.000 | 0.000 | 44.000 | 0.000 | 0.022 | 0.003 | 0.973 |
| C12= | 0.000 | 0.000 | 170.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.199 |
| SN80= | 0.588 | 0.999 | 326.400 | 0.002 | 6.490 | 0.996 | 2118.195 |
| | 0.589 | | | 0.002 | 6.513 | | 2119.367 |

Tabla 6.-Balance de masa torre de destilación atmosférica

El estado de la alimentación (q) lo calculo haciendo el flash de la mezcla a 50C, utilizo el mismo método que con las torres de destilación flash (ecuaciones de Rachford-Rice) obteniendo el valor $q=0.142$, fracción que se vaporiza en la alimentación, y que usaré en las estimaciones de Underwood.

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clA}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpA}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iA}}{\alpha_i - \theta} = 1 - q$$

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clD}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpD}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iD}}{\alpha_i - \theta} = Rm + 1$$

$$\theta = 9; Rm = 0.0014$$

Utilizando las ecuaciones de Fenske puedo calcular el número mínimo de platos necesarios para obtener tal separación. Si considero el componente ligero LK el C12 y el pesado, HK, el SN:

$$N_{min} = \frac{\log \left[\left(\frac{X_{LK,D}}{X_{LK,B}} \right) \left(\frac{X_{HK,B}}{X_{HK,D}} \right) \right]}{\log(\alpha_{LK,HK})_m}$$

$$N_{min} = 0.209$$

La razón de reflujo óptima se encuentra entre 1.2 y 2 veces la relación de reflujo mínima, adoptaré la media entre estos valores:

$$R_{opt} = 0.0023$$

A partir del número mínimo de etapas, la razón de reflujo mínima y la razón de reflujo de operación podemos calcular el número de etapas mediante la correlación de Gilliland:

$$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1}$$

$$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4 * X}{11 + 117.2 * X} \right) \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right]$$

$$N = 4$$

Finalmente con la ecuación de Kirkbride encuentro que la alimentación se realizará en el primer plato:

$$\frac{N_R}{N_S} = \left[\left(\frac{X_{HK,A}}{X_{LK,A}} \right) \left(\frac{X_{LK,B}}{X_{HK,D}} \right)^2 \left(\frac{B}{D} \right) \right]^{0.206}$$

$$\frac{N_R}{N_S} = 51.68$$

$$N_R + N_S = 4$$

Voy a calcular el balance energético de la columna de destilación atmosférica, considero la columna adiabática y los intercambios de calor se producen en el condensador y en el rehervidor.

El balance total queda:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

El balance en el condensador:

$$Q_C = V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * Cp * (Ts - Te)$$

Utilizo fluido térmico para calentar, está en condiciones de saturación y así controlo la temperatura a través de la presión, como necesito calentar a 220°C usaré fluido a 360°C , al ceder éste su calor latente:

$$Q_C = V_{Fluido} * (H_e - H_s)$$

Conocidas las temperaturas de burbuja del fondo y de rocío del destilado podemos hacer un balance energético:

Entalpía del fondo:

$$H_F = \bar{c}_p * T_F$$

$$H_F = 2160 * (220 - 25)$$

$$H_F = 421.2 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía del destilado:

$$H_D = \bar{c}_p * T_D$$

$$H_D = 1800 * (68.5 - 25)$$

$$H_D = 78.300 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía de los vapores salientes del plato 1:

$$H_{VSP} = H_D + (y_{C3} * \lambda_{C3} + y_{C12} * \lambda_{C12})$$

$$H_{VSP} = 78.300 + 0.993 * 662 + 0.007 * 483$$

$$H_{VSP} = 739 \text{ kJ/kg}$$

Calor retirado en el condensador:

$$V = D + L = (1 + R) * D = 0.554 * (1 + 0.0023)$$

$$V = 0.555 \text{ kg/s}$$

$$V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * C_p * (T_s - T_e)$$

$$L_{agua} = \frac{0.555 * (739 - 78.3)}{4.179 * (50 - 35)}$$

$$L_{agua} = 5.84 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_C = 366 \text{ kW}$$

Calor requerido en el rehervidor:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

$$Q_R = 0.589 * 421.2 + 0.554 * 78.3 + 366 - 1.143 * 32.19$$

$$Q_R = 620 \text{ kW}$$

La entalpía de vaporización del fluido térmico:

$$\lambda = 291 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V_{flowtherm} = \frac{620}{291} = 2.13 \text{ kg/s}$$

Que es la cantidad de fluido necesario en el rehervidor.

Puedo calcular el flujo a través del mismo:

$$V = \frac{Q_R}{\lambda(SN)} = 1.27 \text{ kg/s}$$

Que es el flujo de aceite que se vaporiza y que sumo a la corriente de fondo para saber la corriente que circula a través del rehervidor.

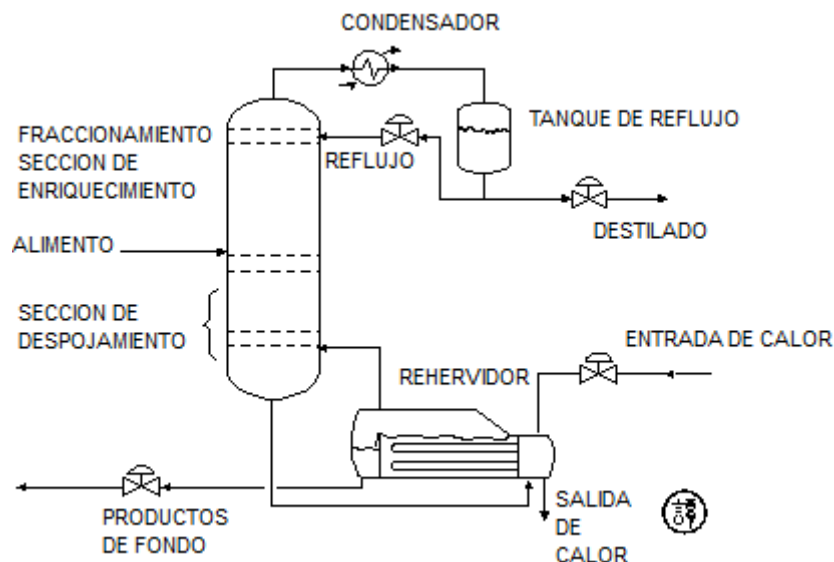


Figura 4.- Torre de destilación. Elementos.

Finalmente quedarían por calcular la altura y el diámetro de la torre.

El tamaño de la columna se define por su altura y su diámetro interior. En este trabajo de ingeniería básica no voy a calcular la presión, temperatura y caudal molar en cada plato. Sin embargo, conocemos los flujos en los platos extremos.

Voy a calcular el área necesaria para permitir el paso de los flujos de vapor y líquido en estos dos casos. A partir de la temperatura y de la presión calculada a partir de las presiones parciales puedo calcular el volumen molar del gas, con el caudal molar puedo definir los caudales molares que atraviesan los platos extremos.

Generalmente, en estas columnas la velocidad del vapor está en torno a 17 m/s. Dividiendo el caudal molar entre la velocidad de vapor en cada plato se pueden calcular las áreas necesarias para permitir la comunicación de los flujos en la columna. Esta área corresponde al área libre de la sección de la columna.

Los platos tienen un área total que corresponde al área libre donde transita el vapor más el área libre donde transita el líquido más el área compuesta del material que forma el plato.

La zona de tránsito de líquido equivale a $1/6$ de la sección de la columna, la zona de recepción del líquido tiene la misma área, las perforaciones se distribuyen uniformemente en los $2/3$ de la sección restante, donde ocupan $1/3$ de dicha superficie. Una vez calculada el área de tránsito de vapor, se divide entonces por $2/9$ para el área de la sección de la columna. Así se puede conocer el diámetro.

El diámetro mayor se encuentra en una etapa intermedia y es levemente más grande que los platos extremos.

Dado que el cálculo es aproximado, se propone multiplicar el diámetro encontrado por 1.3 para tener margen y evitar que la columna se inunde. Para obtener la altura de la columna, se divide el número de platos encontrado por 0.8, lo que corresponde a una eficiencia en platos del 80%. Con el diámetro calculado se utiliza un espacio entre platos de 20 in a 24 in.

El pie de columna tiene generalmente 1.8 m de altura y la cabeza 0.5 m.

Sumando los espacios entre platos, el pie de columna y la cabeza, se obtiene la altura aproximada del equipo.

Así el diámetro será de $D=0.44\text{m}$ y la altura $H= 4.74\text{m}$.

Diseño torre SN80

La composición a la entrada de la torre será:

SN80: 0.054 kg/s; SN150: 0.334 kg/s; SN350: 0.194 kg/s.

Pretendo separar el componente más ligero de los otros dos. La presión en la torre va a ser de 0.5332kPa, generada mediante una bomba de vacío, la temperatura de entrada a la torre es de 263°C.

Voy a realizar el cálculo considerando que es una mezcla multicomponente, el HK será el SN150 y LK el SN80, respectivamente. En las composiciones de destilado y residuo no aparecerán el SN350 y el SN80 respectivamente, esto lo reflejaré con una concentración molar de 10^{-6} .

Condiciones de alimentación

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|----------|----------------|----------|
| SN80= | 0.054 | 0.092 | 326.400 | 0.000 | 0.597 | 0.125 | 194.721 |
| SN150= | 0.340 | 0.578 | 437.000 | 0.001 | 2.799 | 0.585 | 1223.354 |
| SN350= | 0.194 | 0.330 | 501.700 | 0.000 | 1.392 | 0.291 | 698.455 |
| | 0.588 | | | 0.001 | | | 2116.530 |

Condiciones de destilado

SN80 completo, SN150 al 0,005, sin SN350

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | Estimación kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|------------------------|----------------|---------|
| SN80= | 0.054 | 0.970 | 326.400 | 0.000 | 0.597 | 0.977 | 194.721 |
| SN150= | 0.002 | 0.030 | 437.000 | 0.000 | 0.014 | 0.023 | 6.117 |
| SN350= | 0.000 | 0.000 | 501.700 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| | 0.056 | | | | 0.611 | | 200.838 |

Condiciones de residuo

SN350 completo, SN150 al 0,995, sin SN80

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | Estimación kmoles/h | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|------------------------|----------------|----------|
| SN80= | 0.000 | 0.000 | 326.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SN150= | 0.338 | 0.635 | 437.000 | 0.001 | 2.785 | 0.667 | 1217.238 |
| SN350= | 0.194 | 0.365 | 501.700 | 0.000 | 1.392 | 0.333 | 698.455 |
| | 0.532 | | | | 4.178 | | 1915.693 |

Tabla 7.- Balance de masa torre destilación SN80

El cálculo del flash para conocer la fracción vaporizada me proporciona el valor de $q=0.004$, con este valor entro en las ecuaciones de Underwood:

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clA}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpA}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iA}}{\alpha_i - \theta} = 1 - q$$

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clD}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpD}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iD}}{\alpha_i - \theta} = Rm + 1$$

$$\theta = 11.9; Rm = 7.3$$

Utilizando las ecuaciones de Fenske puedo calcular el número mínimo de platos necesarios para obtener tal separación. Si considero el componente ligero LK el SN80 y el pesado, HK, el SN150:

$$N_{min} = \frac{\log \left[\left(\frac{X_{LK,D}}{X_{LK,B}} \right) \left(\frac{X_{HK,B}}{X_{HK,D}} \right) \right]}{\log(\alpha_{LK,HK})_m}$$

$$N_{min} = 7.14$$

La razón de reflujo óptima se encuentra entre 1.2 y 2 veces la relación de reflujo mínima, adoptaré la media entre estos valores:

$$R_{opt} = 11.68$$

A partir del número mínimo de etapas, la razón de reflujo mínima y la razón de reflujo de operación podemos calcular el número de etapas mediante la correlación de Gilliland:

$$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1}$$

$$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4 * X}{11 + 117.2 * X} \right) \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right]$$

$$N = 12$$

Finalmente con la ecuación de Kirkbride encuentro que la alimentación se realizará en el plato superior:

$$\frac{N_R}{N_S} = \left[\left(\frac{X_{HK,A}}{X_{LK,A}} \right) \left(\frac{X_{LK,B}}{X_{HK,D}} \right)^2 \left(\frac{B}{D} \right) \right]^{0.206}$$

$$\frac{N_R}{N_S} = 0.018$$

$$N_R + N_S = 12$$

Voy a calcular el balance energético de la columna de destilación a vacío en que separo el SN80 de los componentes más pesados, considero la columna adiabática y los intercambios de calor se producen en el condensador y en el rehervidor.

El balance total queda:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

El balance en el condensador:

$$Q_C = V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * C_p * (T_s - T_e)$$

Si utilizamos aceite térmico como medio de calentamiento en el rehervidor y éste cede su calor latente:

$$Q_C = V_{VAPOR} * (H_e - H_s)$$

Conocidas las temperaturas de burbuja del fondo y de rocío del destilado podemos hacer un balance energético:

Entalpía del fondo:

$$H_F = c_p * T_F$$

$$H_F = 2160 * (256 - 25)$$

$$H_F = 499 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía del destilado:

$$H_D = c_p * T_D$$

$$H_D = 2160 * (192.5 - 25)$$

$$H_D = 361.8 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía de los vapores salientes del plato 1:

$$H_{VSP} = H_D + \lambda_{SN}$$

$$H_{VSP} = 361.8 + 464$$

$$H_{VSP} = 825.8 \text{ kJ/kg}$$

Calor retirado en el condensador:

$$V = D + L = (1 + R) * D = 0.056 * (1 + 11.7)$$

$$V = 0.711 \text{ kg/s}$$

$$V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * Cp * (Ts - Te)$$

$$L_{agua} = \frac{0.711 * (825.8 - 361.8)}{2.176 * (50 - 35)}$$

$$L_{agua} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_C = 330 \text{ kW}$$

Calor requerido en el rehervidor:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

$$Q_R = 0.532 * 499 + 0.056 * 361.8 + 330 - 246.52$$

$$Q_R = 369.54 \text{ kW}$$

La entalpía de vaporización del fluido térmico:

$$\lambda = 291 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V_{aceite} = \frac{369.54}{291} = 1.27 \text{ kg/s}$$

Que es el aceite térmico necesario en el rehervidor.

Puedo calcular el flujo a través del mismo:

$$V = \frac{Q_R}{\lambda(SN)} = \frac{369.54}{464} = 0.796 \text{ kg/s}$$

Que es el flujo de aceite que se vaporiza y que sumo a la corriente de fondo para saber la corriente que circula a través del rehervidor.

Finalmente quedarían por calcular las dimensiones de la torre.

Siguiendo el mismo razonamiento que con la torre atmosférica las dimensiones son:

El diámetro de la torre será de D=2.34m y la altura H= 10.84m.

Diseño torre SN150

La composición a la entrada de la torre será:

SN150: 0.338 kg/s; SN350: 0.194 kg/s.

Pretendo separar el componente más ligero de los otros dos. La presión en la torre va a ser de 0.5332kPa, generada mediante una bomba de vacío, la temperatura de entrada a la torre es de 266.5°C.

Voy a realizar el cálculo considerando que es una mezcla multicomponente, el HK será el SN350 y el LK el SN150, en las composiciones de destilado y residuo no aparecerán el SN150 y el SN350 respectivamente, esto lo reflejaré con una concentración molar de 10^{-6} .

Condiciones de alimentación

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/hora | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|-------------|----------------|----------|
| SN80= | 0.000 | 0.000 | 326.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SN150= | 0.338 | 0.635 | 437.000 | 0.001 | 2.785 | 0.667 | 1217.238 |
| SN350= | 0.194 | 0.365 | 501.700 | 0.000 | 1.392 | 0.333 | 698.455 |
| | 0.532 | | | 0.001 | | | 1915.692 |

Condiciones de destilado

SN80 completo, SN150 al 0,005, sin SN350

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/hora | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|-------------|----------------|----------|
| SN80= | 0.000 | 0.000 | 326.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SN150= | 0.336 | 0.997 | 437.000 | 0.001 | 2.772 | 0.997 | 1211.151 |
| SN350= | 0.001 | 0.003 | 501.700 | 0.000 | 0.007 | 0.003 | 3.492 |
| | 0.337 | | | | 2.778 | | 1214.644 |

Condiciones de residuo

SN350 completo, SN150 al 0,995, sin SN80

| | Masa | Fracción peso | PM | kmoles/s | kmoles/hora | Fracción molar | kg/h |
|--------|-------|---------------|---------|----------|-------------|----------------|---------|
| SN80= | 0.000 | 0.000 | 326.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| SN150= | 0.002 | 0.009 | 437.000 | 0.000 | 0.014 | 0.010 | 6.086 |
| SN350= | 0.193 | 0.991 | 501.700 | 0.000 | 1.385 | 0.990 | 694.963 |
| | 0.195 | | | | 1.399 | | 701.049 |

Tabla 8.-Balance de masa destilación SN150

El cálculo del flash para conocer la fracción vaporizada me proporciona el valor de $q=0.01$, con este valor entro en las ecuaciones de Underwood:

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clA}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpA}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iA}}{\alpha_i - \theta} = 1 - q$$

$$\frac{\alpha_{cl} * X_{clD}}{\alpha_{cl} - \theta} + \frac{\alpha_{cp} * X_{cpD}}{\alpha_{cp} - \theta} + \frac{\alpha_i * X_{iD}}{\alpha_i - \theta} = Rm + 1$$

$$\theta = 2.01; Rm = 0.971$$

Utilizando las ecuaciones de Fenske puedo calcular el número mínimo de platos necesarios para obtener tal separación. Si considero el componente ligero LK el SN80 y el pesado, HK, el SN150:

$$N_{min} = \frac{\log \left[\left(\frac{X_{LK,D}}{X_{LK,B}} \right) \left(\frac{X_{HK,B}}{X_{HK,D}} \right) \right]}{\log(\alpha_{LK,HK})_m}$$

$$N_{min} = 7.55$$

La razón de reflujo óptima se encuentra entre 1.2 y 2 veces la relación de reflujo mínima, adoptaré la media entre estos valores:

$$R_{opt} = 1.55$$

A partir del número mínimo de etapas, la razón de reflujo mínima y la razón de reflujo de operación podemos calcular el número de etapas mediante la correlación de Gilliland:

$$X = \frac{R - R_{min}}{R + 1}$$

$$Y = \frac{N - N_{min}}{N + 1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4 * X}{11 + 117.2 * X} \right) \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right]$$

$$N = 14$$

Finalmente con la ecuación de Kirkbride encuentro que la alimentación se realizará en el plato número 7:

$$\frac{N_R}{N_S} = \left[\left(\frac{X_{HK,A}}{X_{LK,A}} \right) \left(\frac{X_{LK,B}}{X_{HK,D}} \right)^2 \left(\frac{B}{D} \right) \right]^{0.206}$$

$$\frac{N_R}{N_S} = 1.32$$

$$N_R + N_S = 14$$

Voy a calcular el balance energético de la columna de destilación a vacío en que separo el SN150 del componente más pesado, considero la columna adiabática y los intercambios de calor se producen en el condensador y en el rehervidor.

El balance total queda:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

El balance en el condensador:

$$Q_C = V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * C_p * (T_s - T_e)$$

Si utilizamos aceite térmico como medio de calentamiento en el rehervidor y éste cede su calor latente:

$$Q_C = V_{VAPOR} * (H_e - H_s)$$

Conocidas las temperaturas de burbuja del fondo y de rocío del destilado podemos hacer un balance energético:

Entalpía del fondo:

$$H_F = c_p * T_F$$

$$H_F = 2160 * (283 - 25)$$

$$H_F = 557.3 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía del destilado:

$$H_D = c_p * T_D$$

$$H_D = 2160 * (248 - 25)$$

$$H_D = 481.7 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía de los vapores salientes del plato 1:

$$H_{VSP} = H_D + \lambda_{SN}$$

$$H_{VSP} = 481.7 + 464$$

$$H_{VSP} = 945.7 \text{ kJ/kg}$$

Calor retirado en el condensador:

$$V = D + L = (1 + R) * D = 0.337 * (1 + 1.55)$$

$$V = 0.859 \text{ kg/s}$$

$$V * (H_{VSP} - H_D) = L_{agua} * Cp * (Ts - Te)$$

$$L_{agua} = \frac{0.859 * (945.7 - 481.7)}{2.176 * (50 - 35)}$$

$$L_{agua} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_C = 399 \text{ kW}$$

Calor requerido en el rehervidor:

$$A * H_A + Q_R = F * H_F + D * H_D + Q_C$$

$$Q_R = 0.193 * 557.3 + 0.337 * 481.7 + 399 - 257.36$$

$$Q_R = 412.93 \text{ kW}$$

La entalpía de vaporización del aceite térmico:

$$\lambda = 291 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V = \frac{412.93}{291} = 1.419 \text{ kg/s}$$

Que es el aceite térmico necesario en el rehervidor.

Puedo calcular el flujo a través del mismo:

$$V = \frac{Q_R}{\lambda(SN)} = \frac{412.93}{464} = 0.89 \text{ kg/s}$$

Que es el flujo de aceite que se vaporiza y que sumo a la corriente de fondo para saber la corriente que circula a través del rehervidor.

Finalmente quedarían por calcular las dimensiones de la torre.

Siguiendo el mismo razonamiento que con la torre atmosférica las dimensiones son:

El diámetro de la torre será de D=2.38m y la altura H= 13.28m.

4. Cálculo del evaporador

Partiendo del balance de masa y energía de la torre de extracción:

| | Entrada WO | Entrada Propano | Extracto | Destilado |
|--------------------|------------|-----------------|----------|-----------|
| Caudal (kg/h) | 2854.8 | 14400 | 16549.2 | 705.6 |
| Caudal (kg/s) | 0.793 | 4 | 4.597 | 0.196 |
| Presión (kPa) | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| Temperatura (°C) | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Cp (kJ/Kg K) | 2.05 | 5.54 | 5.097 | 1.747 |
| ΔH (kJ/kg) | 112.75 | 304.7 | 280.34 | 96.087 |
| Potencia (kW) | 89.41 | 1218.8 | 1288.761 | 18.83 |

COMPOSICIÓN

| | | | | |
|---------|------|---|-------|-------|
| SN | 0.74 | 0 | 0.126 | 0.031 |
| C12 | 0.02 | 0 | 0.003 | 0.001 |
| AGUA | 0.05 | 0 | 0 | 0.203 |
| ASFALTO | 0.19 | 0 | 0 | 0.765 |
| PROPANO | 0 | 1 | 0.870 | 0 |

Tabla 9.-Balance de masa a la salida de la torre de extracción

Este es el balance de salida del extractor, la corriente que nos ocupa es la del destilado, con unas condiciones de salida de (3MPa, 90°C), pretendemos sacar el agua presente mediante una evaporación.

Con una válvula reductora de la presión en 0.1MPa, voy a utilizar un evaporador para extraer el agua contenida en la corriente.

La corriente que hierve va a ir por dentro de los tubos del intercambiador que hay dentro del evaporador, voy a poner los efectos en co-corriente, como voy a trabajar a vacío moderado, 0.05atm, no necesito potencia de bombeo añadida.

A vacío moderado (0.05 atm), el agua hierve a $T=33^{\circ}\text{C}$, a lo que hay que añadir el EPE, ascenso de la temperatura de ebullición producida por la presencia de soluto. Uno de los métodos de cálculo de la EPE se basa en principios termodinámicos y se rige por la siguiente ecuación:

$$-\ln X_A = \frac{\lambda_v}{R_g} * \left(\frac{1}{T_{A0}} + \frac{1}{T_A} \right)$$

$$X_B = 1 - X_A$$

Donde:

λ_v : Calor latente de vaporización (molar)

R_g : Constante ideal de los gases (molar)

T_{A0} = Punto de ebullición del agua pura

T_A = Punto de ebullición de la solución

X_A : Fracción molar en la solución

X_B : Fracción molar de los solutos en la solución .

Considerando una EPE pequeña y tomando el primer término de la expansión logarítmica la variación del punto de ebullición de una solución binaria ideal está determinada por:

$$EPE = \Delta T_B = \frac{R_g * T_{A0}^2}{L_v} * X_B$$

Donde:

ΔT_B = Variación en el punto de ebullición.

L_v = Calor latente de vaporización del agua pura.

Reordenando:

$$\Delta T_B = \frac{R_g * T_{A0}^2 * W_a}{L_v * 1000} * \text{molalidad}$$

La constante de ebullición es:

$$K_{eb} = \frac{R_g * T_{A0}^2 * W_a}{L_v * 1000}$$

$$\Delta T = K_{eb} * m$$

$K_{eb}(\text{agua}) = 0.27 \text{ }^\circ\text{C/molal}$, con $T_{A0} = 33^\circ\text{C}$

PM (asfalto)= 800 g/mol

$m = 5$

$$\Delta T = 0.27 * 5 = 1.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura de ebullición de la mezcla será de 34.35 °C a 5.05 kPa. Voy a suponer que se evapora toda el agua:

$$\dot{m}_w * \lambda = \dot{m}_c * H_c + \dot{m}_v * H_v - \dot{m} * c_p * T_0$$

H vaporización= 2889 kJ/kg

$$\dot{m}_c = 0.196 * 0.797 = 0.156 \text{ kg/s}$$

$$H_c = c_p * T = 1.7 * 34.35 = 58.4 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_v = 0.196 * 0.203 = 0.0398 \text{ kg/s}$$

$$H_v = 2561 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 0.196 \text{ kg/s}$$

$$c_p = c_p(\text{asfalto}) * X_a + c_p(\text{agua}) * X_w = 1.7 * 0.797 + 3.43 * 0.203 = 2.051 \text{ kJ/KgK}$$

$$T_0 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 97.33 \text{ kW} \quad (\text{calor de vaporización del vapor saturado a } 0.3 \text{ MPa}) = 2161.87 \text{ kJ/kg}$$

Calor latente de vaporización del aceite térmico a 360C= 291 kJ/kg.

$\dot{m}_w = 0.33 \text{ kg/s}$, que es la cantidad de aceite térmico necesario para evaporar el agua contenida en la corriente

He estimado el coeficiente de transmisión de calor $U = 2000 \text{ w/m}^2\text{C}$, la superficie del intercambiador será de 0.74 m^2 .

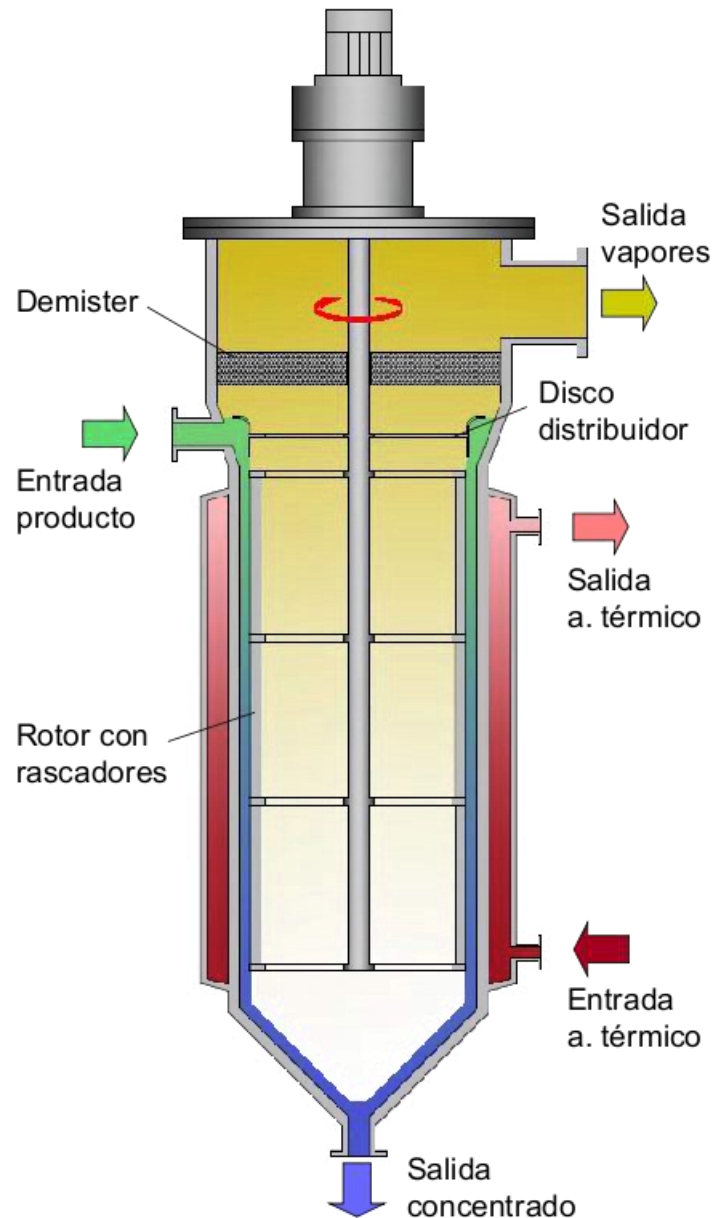


Figura 5.- Evaporador de película fina Buss-SMS.

El evaporador de película fina con estas características se pedirá al fabricante Buss-SMS.

5. Cálculo de los compresores

Los equipos 12 y 22 tendrán como cometido comprimir el propano gaseoso para, tras licuarlo en el intercambiador 10, devolverlo al circuito y reutilizarlo en la torre de extracción.

El compresor 22 lleva el propano desde 1 a 15kg/cm^2 y el 12 desde los 15 a los 30kg/cm^2 necesarios para la extracción.

Paso a detallar el cálculo de cada uno:

Compresor 22

Tengo propano gaseoso y C12 a la salida del destilado en la torre atmosférica; tras un paso por un flash voy a separar el C12 del propano, que se mantendrá gaseoso en su mayor parte.

Tras esta separación quiero comprimir el propano gaseoso para unirlo con el resto anteriormente separado y retornarlo al circuito, dado que la presión a que se encuentra el propano es de 1.5MPa, debo comprimir y después unir las dos corrientes.

Considerando un rendimiento isentrópico de $\eta=0.7$ y partiendo de la temperatura de flash $T=68.5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$T_2 = T_1 + T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \frac{1}{\eta_s}$$

$$T_2 = 68.5 + 68.5 * \left(15^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{0.7}$$

$$T_2 = 99.6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Desde este punto calculo el trabajo de compresión necesario: Las condiciones de salida son las de la corriente de salida gaseosa del destilador flash, 101.325 kPa y 41 °C, el gas lo voy a comprimir hasta que alcance las condiciones de presión adecuadas: 1.5 MPa, y después lo uniré a la corriente 35 para realizar una segunda compresión y devolverlo al circuito.

El trabajo de compresión será:

$$-W_s = \frac{R * T_1}{M} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \frac{k}{k-1}$$

Con $R=8.3144\text{ J/mol}\cdot\text{K}$; $M=44$; $T_1=341.65\text{K}$; $P_2=1.5\text{MPa}$; $P_1=0.101\text{MPa}$; $k=1.1135$.

$$-W_s = 219.66\text{ kJ/kg}$$

Suponiendo un rendimiento de $\eta=0.7$, el trabajo de compresión:

$$W = \frac{W_s}{\eta} = -313.8\text{ kJ/kg}$$

$$W = \dot{m} * \frac{W_s}{\eta} = 0.548 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left(-313.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = -171.96\text{ kW}$$

Compresor 12

Tengo propano gaseoso a 50°C y $P=15*101.325$ kPa, lo comprimo isentrópicamente (considero un rendimiento $\eta=0,8$) y llego a $p=3$ MPa.

Paso a detallar el cálculo:

Las condiciones de salida son las de la corriente de salida gaseosa del destilador flash, $15*101.325$ kPa y 50 °C, el gas lo voy a comprimir hasta que alcance las condiciones de presión adecuadas, 3 MPa, y después lo enfriaré hasta los 90 °C, estando así en condiciones de volver a utilizarse en la operación.

El trabajo de compresión será:

$$-W_s = \frac{R * T_1}{M} \left(\frac{P_2^{\frac{k-1}{k}}}{P_1} - 1 \right) \frac{k}{k-1}$$

Con $R=8.3144$ J/mol*K; $M=44$; $T_1=323.15$ K; $P_2=3$ MPa; $P_1=15*0.101$ MPa; $k=1.1135$.

$$-W_s = 43.85 \text{ kJ/kg}$$

Suponiendo un rendimiento de $\eta=0.7$, el trabajo de compresión:

$$W = \frac{W_s}{\eta} = -62.64 \text{ kJ/kg}$$

$$W = \dot{m} * \frac{W_s}{\eta} = 4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left(-62.64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = -250.57 \text{ kW}$$

La temperatura será:

$$T_2 = T_1 + T_1 \left(\frac{P_2^{\frac{k-1}{k}}}{P_1} - 1 \right) \frac{1}{\eta_s}$$

$$T_2 = 91^\circ\text{C}$$

Desde este punto voy a enfriarlo a presión constante hasta $T=90^\circ\text{C}$.

El calor que hay que extraer:

$$\begin{aligned} \Delta H &= m * c_p * (T_2 - T_1) + \lambda(90^\circ\text{C}) \\ &= 4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.85 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (91 - 90)\text{K} + \frac{4\text{kg}}{\text{s}} * 160 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 647.4 \text{ kW} \end{aligned}$$

Para este enfriamiento utilizaré el calor que absorbe el propano al expandirse a través de la válvula situada antes de la torre de destilación flash.

Los compresores serán de Atlas-Copco, serie GT, Compresores centrífugos con engranaje integral para aplicaciones de gas y aire, presión de descarga hasta 200 bar, potencia del motor hasta 40 MW.

Presión máxima de aspiración: 80 bar(a); Presión máxima de descarga: 200 bar(a) ;
Temperatura de aspiración: -200 - 200 °C ; Etapas: 1 - 8 ; Gases tratados: todos

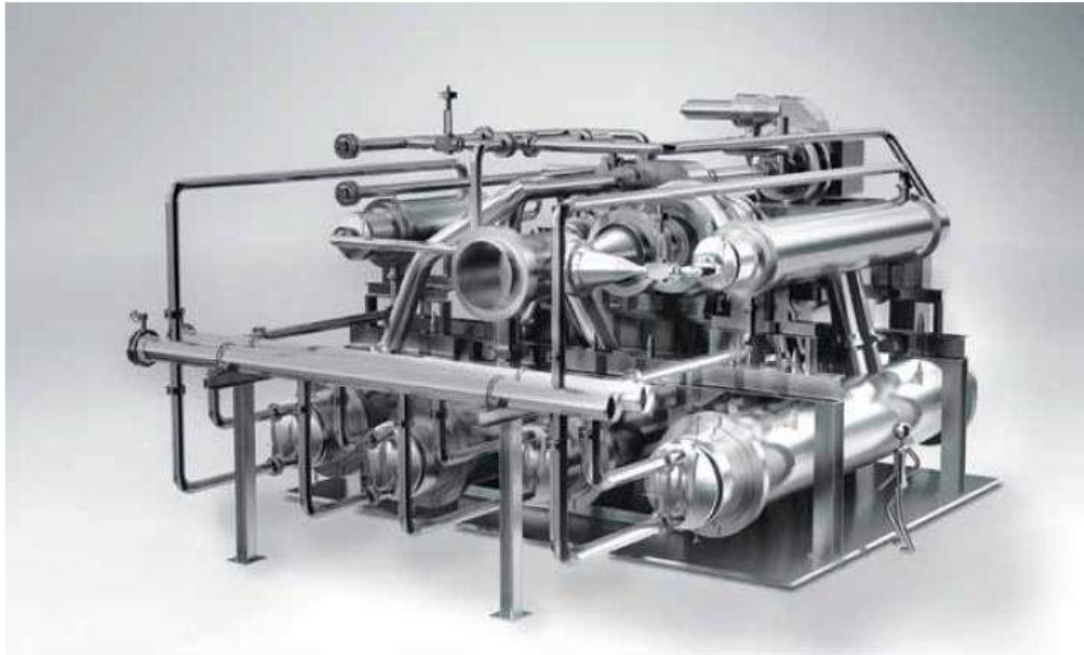


Figura 6.- Compresores Atlas Copco serie GT

6. Cálculo de intercambiadores de calor.

En el cálculo de intercambiadores he usado el método de Kern, cuyos pasos resumo a continuación:

1. Cálculo del potencial térmico
2. Obtención de la diferencia media de temperaturas
3. Suponer un coeficiente de transferencia de calor y calcular el área de transferencia de calor.
4. Con el número de tubos se puede obtener el número de pasos por el lado de los tubos y el diámetro de la coraza
5. Número de mamparas de la envolvente

6. Cálculo del área de flujo de fluidos que pasa por el interior de los tubos
7. Cálculo de Reynolds en los tubos
8. Cálculo del coeficiente interno
9. Cálculo del área de flujo en la envolvente
10. Diámetro equivalente del lado de la envolvente
11. Obtención del coeficiente externo
12. Coeficiente total de transferencia de calor
13. Área del intercambiador, comparar con paso 3, iterar si es necesario.
14. Cálculo del factor de fricción por los tubos
15. Caída de presión por los tubos
16. Caída de presión en la coraza

Criterios para la selección del intercambiador

Configuración de flujo: la más usual para estos intercambiadores es de un pase de fluido por la carcasa y de uno o dos pases de tubos por los tubos (configuración 1-1 y 1-2).

Longitud del intercambiador: Cuanto más largo es un intercambiador, menos tubos contiene, menor es el diámetro de la carcasa, su diseño es más simple y menor es su costo. El criterio general es que

$$\frac{1}{15} < \frac{D_c}{L} < \frac{1}{5}$$

Donde D_c es el diámetro de la carcasa y L la longitud del intercambiador. La longitud puede estar limitada por el espacio disponible para instalar el intercambiador. En todo caso se recomienda que el largo de los tubos sea igual a la mitad del espacio disponible, con el fin de facilitar la instalación y limpieza del haz de tubos. La longitud máxima de los intercambiadores convencionales es de 6 m; sin embargo, existen intercambiadores de gran tamaño, tales como los usados en plantas eléctricas, que pueden alcanzar los 30 m de largo.

Número de tubos: Con el fin de incrementar el coeficiente h de transferencia, se procura tener la velocidad más alta posible (véase párrafo anterior), para lo cual se usa el mayor número de tubos posible con el menor diámetro interno posible, lo cual está limitado por la caída de presión. Esta última se incrementa al aumentar el número de tubos ya que este incremento involucra una reducción en el diámetro de los tubos.

Diámetro de los tubos: Se prefieren tubos de 8 a 15 mm de diámetro interno, pero si se espera que haya problemas de limpieza, deben usarse tubos no menores de 20 mm.

Arreglo de tubos: El arreglo preferido es el triangular invertido o triangular de 30 °. El criterio usual es que

$$1.25 < \frac{P_t}{d_o} < 1.5$$

Donde P_t es la distancia entre los centros de los tubos, o pase de tubo (del inglés pitch) y d_o es el diámetro externo de los tubos. Los tubos no deben estar demasiado cerca ya que se presentan problemas con la limpieza; además, la placa de tubos se torna muy débil desde el punto de vista estructural.

Deflectores: El espaciado de deflectores más usual es de $0,4 < D_c < 0,6$, con un corte del 25 al 35 %, siendo 25 % el valor de corte más usual.

Asignación de flujo: Se recomienda colocar el fluido que más ensucia, o el más corrosivo, o el de mayor presión, a circular por los tubos. Para flujo por la carcasa se recomienda la corriente con el menor coeficiente de convección, o la corriente con el menor flujo.

Diámetro de la carcasa: La selección preliminar del diámetro de la carcasa se puede hacer a partir del conocimiento del número de tubos y la configuración de flujo, he utilizado la tabla 8.13 del capítulo correspondiente del Chemical Process Equipment Selection and Design. J. Couper, W. Penney, J. Fair, S. Walas. Elsevier. Revised 2nd Edition .

Número de tubos: El número de tubos puede calcularse fácilmente, si se conoce el área requerida, según la expresión

$$N_t = \frac{A_0}{\pi * d_o * L}$$

En la hoja de cálculo “Intercambiadores, condensadores, rehervidores y enfriadores” están calculados todos los equipos siguiendo un patrón similar, he asignado los fluidos, calculado la carga térmica y la diferencia de temperatura logarítmica media, (DTLM), he estimado el coeficiente de transferencia y he calculado la superficie del intercambiador.

Con las tablas anteriormente mencionadas he elegido un número de tubos, un diámetro para la carcasa y una distribución para que se cumpliesen la evaluación dimensional, la evaluación térmica, diferente en cada intercambiador dependiendo de las condiciones particulares, y la evaluación hidrodinámica, que he establecido en una limitación de la caída de presión.

Voy a detallar el cálculo de dos intercambiadores y resumiré los resultados obtenidos en el diseño, los cálculos completos se encuentran en el Excel “Intercambiadores, condensadores, rehervidores y enfriadores”.

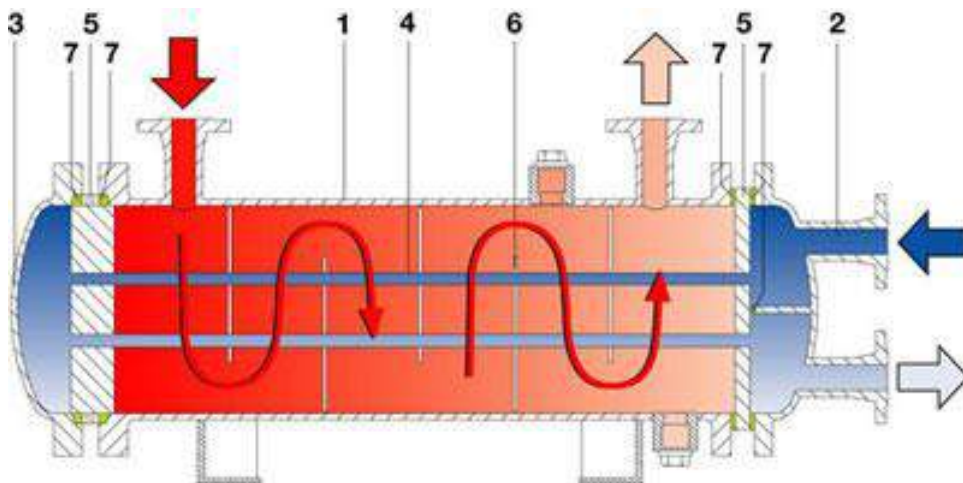


Figura 7.-Intercambiador de carcasa y tubos

1. Carcasa intercambiador
2. Conexiones
3. Cabezal de retorno
4. Tubos internos
5. Placas tubulares
6. Baffles
7. Sellado equipo

Cálculo intercambiador 02

El fluido frío es la corriente de aceite sucio, a 0.1 MPa y $T = 35^\circ\text{C}$, lo quiero poner a 82°C para que entre en la primera fase del pretratamiento, aprovecharé el calor de la corriente caliente de la salida del destilador de vacío SN350, con un caudal de $m = 0.338$ kg/s y una temperatura de 248.5°C . El aceite sucio va por dentro de los tubos.

Cálculo potencial térmico

Si calculo la temperatura de salida del fluido caliente:

$$\begin{aligned}\dot{m}_c * c_p * (T_{c2} - T_{c1}) &= \dot{m}_f * c_p * (T_{f2} - T_{f1}) \\ 0.338 * 2.15 * (248.5 - T_{c2}) &= 0.793 * 2.05 * (82 - 35) \\ T_{c2} &= 143.4^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Obtención de la diferencia media de temperaturas.

Las diferencias de temperatura se calculan como si fuese un 1-1 con flujo a contracorriente:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(248.5 - 35) - (143.4 - 82)}{\ln \frac{213.5}{61.4}} = 122.04^\circ\text{C}$$

Cálculo de Y

$$\begin{aligned}X &= \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{82 - 35}{248.5 - 35} = 0.220 \\ Z &= \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} = \frac{248.5 - 143.4}{82 - 35} = 2.23 \\ Y &= 0.95\end{aligned}$$

Coefficiente de transferencia de calor y área de transferencia.

Suponer un coeficiente de transferencia y calcular el área de transferencia de calor según:

$$Q = U_0 * A_0 * \Delta T_m * Y$$

Estimo el coeficiente de transferencia $U_0 = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$76410 = 100 * A_0 * 122.04 * 0.95$$

$$A_0 = 6.59 \text{ m}^2$$

Número de tubos, número de pasos por tubo, diámetro de la carcasa.

El diámetro exterior de los tubos será de 0.0191 m (3/4"), la longitud de 10 ft. (3.048 m.), arreglo triangular a $Pt=1 \text{ in} = 0.0254$ y espesor 16 BWG.

Los datos geométricos de los tubos: $e=0.0034 \text{ m}$; $DI=0.0157 \text{ m}$;
Aflujotransversal= $1.94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

El número de tubos:

$$N_T = \frac{A_0}{\text{área de transferencia de calor del tubo}} = \frac{A_0}{\pi * D_0 * L}$$

$$N_T = \frac{6.59}{\pi * 0.0191 * L} = \frac{109.82}{L} \text{ tubos}$$

En las tablas tengo que encontrar el arreglo que mejor le venga:

Configuración 1-2, con 37 tubos, en una disposición 1-2 (74 tubos) el diámetro de la carcasa es de 23.25 in (0.591 m).

Debe cumplirse la relación:

$$5 < \frac{L}{D_s} < 15$$

$$4 < \frac{3.048}{0.591} < 6$$

$$4 < 5.15 < 6$$

Hay que evaluar si este intercambiador cumple con los requerimientos del proceso, para ello voy a calcular el coeficiente U y voy a ver el grado de exactitud de mi estimación.

Cálculo del coeficiente interno.

Dentro de los tubos circula el aceite sucio.

Temperatura media: $T_m=0.5*(82+35)=58.5^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho=910 \text{ kg/m}^3$.

Viscosidad: $\mu=0.0725 \text{ Ns/m}^2$ (60°C)

Conductividad térmica: $k=0.14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p=2.05 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{N_T * a_{flujotubo}}{N} = \frac{376 * 1.73 * 10^{-4}}{2} = 0.0325 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.793}{0.0325} = 24.4 \text{ kg/sm}^2$$

$$Re = \frac{D_i * G_T}{\mu} = \frac{0.019 * 24.4}{0.0725} = 6.39$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{2050 * 0.0725}{0.14} = 1061$$

El flujo es laminar, la ecuación aplicable para determinar h:

Flujo laminar $Re < 2100$

$$Nu = 2 * \left(\frac{W * C_p}{k * L}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14} = 2 * \left(\frac{24.4 * 2050}{0.14 * 3.048}\right)^{\frac{1}{3}} * (1)^{0.14} = 97.88$$

$$h_{i0} = \frac{Nu * k}{D_{eq}} = \frac{97.88 * 0.14}{0.02} = 685 \frac{W}{m^2^\circ C}$$

Cálculo coeficiente externo

La geometría de la carcasa:

Diámetro de la carcasa: $D_s=27 \text{ in}=0.686 \text{ m}$

Pitch: $P_t=0.0254 \text{ m}$.

Diámetro exterior de tubos: $D_o=0.019 \text{ m}$

$C=6.4 * 10^{-3} \text{ m}$

$B= D_s/2= 0.343 \text{ m}$.

Temperatura media: $T_m=0.5*(248.5+143.4)=196 \text{ }^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho=890 \text{ kg/m}^3$.

Viscosidad: $\mu=4.5 * 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 (160^\circ\text{C})$

Conductividad térmica: $k=0.14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p=2.15 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{D_s * C * B}{P_t} = \frac{0.686 * 6.4 * 10^{-3} * 0.343}{0.0254} = 0.06 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.338}{0.06} = 5.63 \text{ kg/sm}^2$$

$$D_{eq} = \frac{4 * P_T^2}{D_0} - D_0 = \frac{4 * 0.0254^2}{0.019} - 0.019 = 0.117$$

$$Re = \frac{D_{eq} * G_T}{\mu} = \frac{0.117 * 5.63}{0.0045} = 146.5$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{2150 * 0.0045}{0.14} = 69$$

$Nu = 3.66$ (régimen laminar, temperatura de pared constante)

$$h = \frac{Nu * k}{D_{eq}} = \frac{3.66 * 0.14}{0.117} = 4.379 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente global de transmisión.

El coeficiente global de transmisión de calor:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_{i0}} + r_{di} * \frac{d_0}{d_i} + \frac{d_0 \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 * k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{685} + 0.0004 * \frac{0.02}{0.015} + \frac{0.02 * \ln(\frac{0.02}{0.015})}{2 * 43.24} + 0.0004 + \frac{1}{4.37}$$

$$\frac{1}{U_0} = 0.0015 + 0.00018 + 6.63 * 10^{-5} + 0.0004 + 0.229$$

$$U_0 = 4.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caída de presión en un intercambiador de carcasa y tubos.

La caída de presión por los tubos se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$(-\Delta P)_t = 2 * f * \left(\frac{L}{D}\right) * \rho * v^2 * N_{pt} + \frac{\rho * v^2}{2} * K_f * N_{pt}$$

Donde N_{pt} se corresponde con el número de pases de tubo por la carcasa. En el segundo término, K_f es el factor de pérdidas para los retornos de flujo por los tubos; este término puede tomarse igual a 4.

La caída de presión por la carcasa puede calcularse según:

$$(-\Delta P)_c = N_{pc} * \frac{f * G^2 * (N_B + 1) * D_c}{\rho * D_{eq}}$$

Donde N_{pc} es el número de pases por la carcasa; N_B es el número de deflectores; D_{eq} es el diámetro equivalente y G es el flujo másico por unidad de área:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_T}$$

El área transversal de flujo puede calcularse en función del arreglo del tubo usando la siguiente expresión para paso normal cuadrado o triangular:

$$A_t = \frac{(P_t - d_0) * B * D_c}{P_t}$$

El número de deflectores se puede estimar cuando se conocen la longitud L del intercambiador así como el espaciado entre deflectores B . Se usa entonces la ecuación siguiente:

$$N_B = \frac{L}{B} - 1$$

Cálculo del factor de fricción:

El factor de fricción de Fanning se puede estimar de forma relativamente rápida mediante la correlación de Churchill:

$$f = 2 * \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ 2.407 * \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 * \frac{\varepsilon}{D}} \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

ε es la rugosidad cuyo valor es de 0,045 mm para tuberías de acero comercial.

Las operaciones detalladas en Excel: “Caída de presión intercambiadores”

$$\Delta Pt = \Delta Pt + \Delta Pc = 24.72 + 5.82 = 0.0003 \text{ bar} < 0.1$$

Damos el diseño como válido.

Cálculo intercambiador 05

El fluido frío es la corriente de aceite sucio, a 0.1 MPa y $T = 82^\circ\text{C}$, lo quiero poner a 90°C para mezclarlo con la corriente de propano, aprovecharé el calor de la corriente caliente de la salida del destilador de vacío SN150, con un caudal de $m = 0.337 \text{ kg/s}$ y una temperatura de 248.5°C . El aceite sucio va por dentro de los tubos.

Cálculo potencial térmico

Si calculo la temperatura de salida del fluido caliente:

$$\begin{aligned} \dot{m}_c * c_p * (T_{c2} - T_{c1}) &= \dot{m}_f * c_p * (T_{f2} - T_{f1}) \\ 0.337 * 2.15 * (248.5 - T_{c2}) &= 0.793 * 2.05 * (90 - 82) \\ T_{c2} &= 230^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Obtención de la diferencia media de temperaturas.

Las diferencias de temperatura se calculan como si fuese un 1-1 con flujo a contracorriente:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(248.5 - 82) - (230 - 90)}{\ln \frac{248.5 - 82}{230 - 90}} = 152.9^\circ\text{C}$$

Cálculo de Y

$$\begin{aligned} X &= \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{90 - 82}{248.5 - 82} = 0.05 \\ Z &= \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} = \frac{248.5 - 230}{90 - 82} = 2.31 \\ Y &= 1 \end{aligned}$$

Coefficiente de transferencia de calor y área de transferencia.

Suponer un coeficiente de transferencia y calcular el área de transferencia de calor según:

$$Q = U_0 * A_0 * \Delta T_m * Y$$

Estimo el coeficiente de transferencia $U_0=20 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$13005 = 20 * A_0 * 152.9 * 1$$

$$A_0 = 4.25 \text{ m}^2$$

Número de tubos, número de pasos por tubo, diámetro de la carcasa.

El diámetro exterior de los tubos será de 0.020 m (3/4''), la longitud de 16 ft. (4.877 m.), separación cuadrada a 1'' y espesor 14 BWG.

Los datos geométricos de los tubos: $e=0.0021 \text{ m}$; $DI=0.015 \text{ m}$; $Aflujo=1.73*10^{-4} \text{ m}^2$

El número de tubos:

$$N_T = \frac{A_0}{\text{área de transferencia de calor del tubo}}$$

$$N_T = \frac{4.25}{\pi * 0.02 * 4.877} = 13.87 = 14 \text{ tubos}$$

Configuración 1-2, con 14 tubos, en una disposición 1-2 (28 tubos) el diámetro de la carcasa es de 8 in, tomo $26 = 2*N_t$, el número de tubos es $N_t=13$.

Hay que evaluar si este intercambiador cumple con los requerimientos del proceso, para ello voy a calcular el coeficiente U y voy a ver el grado de exactitud de mi estimación.

Cálculo del coeficiente interno.

Dentro de los tubos circula el aceite sucio.

Temperatura media: $T_m=0.5*(82+90)=89 \text{ }^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho=880 \text{ kg/m}^3$.

Viscosidad: $\mu=0.032 \text{ Ns/m}^2 (90^\circ\text{C})$

Conductividad térmica: $k=0.138 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p=2.13 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{N_T * a_{flujotubo}}{N} = \frac{13 * 1.73 * 10^{-4}}{2} = 0.0011 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.793}{0.0011} = 720.91 \text{ kg/sm}^2$$

$$Re = \frac{D_i * G_T}{\mu} = \frac{0.015 * 720.91}{0.032} = 338$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{2130 * 0.032}{0.138} = 494$$

El flujo es laminar, la ecuación aplicable para determinar h:

$$\text{Flujolaminar} Re < 2100$$

$$\begin{aligned} h_{i0} &= 1.86 * \left(\frac{k}{D_0}\right) * (Re^{0.8}) * (Pr^{0.333}) * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \\ &= 1.86 * \left(\frac{0.138}{0.02}\right) * (338^{0.8}) * (494^{0.333}) * (1)^{0.14} = 10678 \text{ W/m}^2\text{C} \end{aligned}$$

Cálculo coeficiente externo

La geometría de la carcasa:

Diámetro de la carcasa: $D_s=8 \text{ in.}=0.203 \text{ m}$

Pitch: $Pt=0.0254 \text{ m}$.

Diámetro exterior de tubos: $D_o=0.019 \text{ m}$

$C=6.4 * 10^{-3} \text{ m}$

$B= D_s/2= 0.102 \text{ m}$.

Temperatura media: $T_m=0.5*(248.5+230)=239.25^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho=805 \text{ kg/m}^3$.

Viscosidad: $\mu=4.5 * 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 (160^\circ\text{C})$

Conductividad térmica: $k=0.132 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p=2483 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{D_s * C * B}{P_r} = \frac{0.203 * 6.4 * 10^{-3} * 0.102}{0.0254} = 0.005 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.337}{0.005} = 67.4 \text{ kg/sm}^2$$

$$Re = \frac{D_{eq} * G_T}{\mu} = \frac{0.02413 * 67.4}{0.0045} = 361.4$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{2483 * 0.0045}{0.132} = 84.64$$

$$Nu = 4.364 \text{ (régimen laminar)}$$

$$h = \frac{Nu * k}{D_{eq}} = \frac{4.364 * 0.132}{0.02413} = 25.32 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

Coefficiente global de transmisión.

El coeficiente global de transmisión de calor:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_{i0}} + r_{di} * \frac{d_0}{d_i} + \frac{d_0 \ln \frac{d_0}{d_i}}{2 * k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{10768} + 0.0004 * \frac{0.02}{0.015} + \frac{0.02 * \ln(\frac{0.02}{0.015})}{2 * 43.24} + 0.0004 + \frac{1}{25.32}$$

$$\frac{1}{U_0} = 9.28 * 10^{-5} + 0.00018 + 6.63 * 10^{-5} + 0.0004 + 0.039$$

$$U_0 = 25.16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caída de presión en un intercambiador de carcasa y tubos.

La caída de presión por los tubos se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$(-\Delta P)_t = 2 * f * \left(\frac{L}{D}\right) * \rho * v^2 * N_{pt} + \frac{\rho * v^2}{2} * K_f * N_{pt}$$

Donde N_{pt} se corresponde con el número de pases de tubo por la carcasa. En el segundo término, K_f es el factor de pérdidas para los retornos de flujo por los tubos; este término puede tomarse igual a 4.

La caída de presión por la carcasa puede calcularse según:

$$(-\Delta P)_c = N_{pc} * \frac{f * G^2 * (N_B + 1) * D_c}{\rho * D_{eq}}$$

Donde N_{pc} es el número de pases por la carcasa; N_B es el número de deflectores; D_{eq} es el diámetro equivalente y G es el flujo másico por unidad de área:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_T}$$

El área transversal de flujo puede calcularse en función del arreglo del tubo usando la siguiente expresión para paso normal cuadrado o triangular:

$$A_t = \frac{(P_t - d_0) * B * D_C}{P_t}$$

El número de deflectores se puede estimar cuando se conocen la longitud L del intercambiador así como el espaciado entre deflectores B . Se usa entonces la ecuación siguiente:

$$N_B = \frac{L}{B} - 1$$

Cálculo del factor de fricción:

El factor de fricción de Fanning se puede estimar de forma relativamente rápida mediante la correlación de Churchill:

$$f = 2 * \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ 2.407 * \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 * \frac{\varepsilon}{D}} \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

ε es la rugosidad cuyo valor es de 0,045 mm para tuberías de acero comercial.

Las operaciones detalladas en Excel: “Caída de presión intercambiadores”

$$\Delta P_t = \Delta P_t + \Delta P_c = 9.83 + 100.9 = 0.0011 \text{ bar} < 0.1$$

Damos el diseño como válido.

Cálculo intercambiador 15

Obtención de la diferencia media de temperaturas.

Las diferencias de temperatura se calculan como si fuese un 1-1 con flujo a contracorriente:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(384.6 - 50) - (250 - 180.6)}{\ln \frac{384.6 - 50}{250 - 180.6}} = 168.59 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de Y

$$X = \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{180.6 - 50}{384.6 - 50} = 0.39$$

$$Z = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} = \frac{384.6 - 250}{180.6 - 50} = 1.03$$

$$Y = 0.92$$

Coefficiente de transferencia de calor y área de transferencia.

Suponer un coeficiente de transferencia y calcular el área de transferencia de calor según:

$$Q = U_0 * A_0 * \Delta T_m * Y$$

Estimo el coeficiente de transferencia $U_0=20 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$170161 = 20 * A_0 * 168.59 * 0.92$$

$$A_0 = 54.85 \text{ m}^2$$

Número de tubos, número de pasos por tubo, diámetro de la carcasa.

El diámetro exterior de los tubos será de 0.020 m (3/4''), la longitud de 16 ft. (4.877 m.), separación cuadrada a 1'' y espesor 14 BWG.

Los datos geométricos de los tubos: $e=0.0021 \text{ m}$; $DI=0.015 \text{ m}$; $Aflujo=1.73*10^{-4} \text{ m}^2$

El número de tubos:

$$N_T = \frac{A_0}{\text{área de transferencia de calor del tubo}}$$

$$N_T = \frac{54.85}{\pi * 0.02 * 4.877} = 179.01 = 180 \text{ tubos}$$

Configuración 1-2, con 180 tubos, en una disposición 1-2 (360tubos) el diámetro de la carcasa es de 25 in con 394 tubos en 2 pasos, esto es 197 tubos.

Por dentro de los tubos pongo el fluido a calentar.

Hay que evaluar si este intercambiador cumple con los requerimientos del proceso, para ello voy a calcular el coeficiente U y voy a ver el grado de exactitud de mi estimación.

Cálculo del coeficiente interno.

Temperatura media: $T_m = 0.5 * (50 + 180.6) = 115.3^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho = 829 \text{ kg/m}^3$

Viscosidad: $\mu = 0.0103 \text{ Ns/m}^2 (120^\circ\text{C})$

Conductividad térmica: $k = 0.135 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p = 2.307 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{N_T * a_{\text{flujotubo}}}{N} = \frac{197 * 1.73 * 10^{-4}}{2} = 0.017 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.606}{0.017} = 35.65 \text{ kg/sm}^2$$

$$Re = \frac{D_i * G_T}{\mu} = \frac{0.015 * 35.65}{0.0103} = 51.92$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{205 * 0.0725}{0.14} = 106$$

El flujo es laminar, la ecuación aplicable para determinar h:

Flujo laminar $Re < 2100$

$$h_{i0} = 1.86 * \left(\frac{k}{D_0}\right) * (Re^{0.8}) * (Pr^{0.333}) * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$= 1.86 * \left(\frac{0.14}{0.02}\right) * (51.92^{0.8}) * (106^{0.333}) * (1)^{0.14} = 1449.8 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Cálculo coeficiente externo

La geometría de la carcasa:

Diámetro de la carcasa: $D_s=25 \text{ in.}=0.635 \text{ m}$

Pitch: $P_t=0.0254 \text{ m}$.

Diámetro exterior de tubos: $D_o=0.019 \text{ m}$

$C=6.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$B=D_s/2=0.3175 \text{ m}$.

Temperatura media: $T_m=0.5 \cdot (384.6+250)=317.3^\circ\text{C}$.

Densidad: $\rho=805 \text{ kg/m}^3$.

Viscosidad: $\mu=4.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 (160^\circ\text{C})$

Conductividad térmica: $k=0.132 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Capacidad térmica: $C_p=2.4 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$$a_T = \frac{D_s * C * B}{P_r} = \frac{0.635 * 6.4 * 10^{-3} * 0.3175}{0.0254} = 0.051 \text{ m}^2$$

$$G_T = \frac{\dot{m}}{a_T} = \frac{0.588}{0.051} = 11.53 \text{ kg/sm}^2$$

$$Re = \frac{D_{eq} * G_T}{\mu} = \frac{0.02413 * 11.53}{0.0045} = 61.82$$

$$Pr = \frac{c_p * \mu}{k} = \frac{2150 * 0.0045}{0.14} = 69$$

$$Nu = 4.364 \text{ (régimen laminar)}$$

$$h = \frac{Nu * k}{D_{eq}} = \frac{4.364 * 0.14}{0.02413} = 25.32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2^\circ\text{C}}$$

Coeficiente global de transmisión.

El coeficiente global de transmisión de calor:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_{i0}} + r_{di} * \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o \ln \frac{d_o}{d_i}}{2 * k_m} + r_{do} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{1449.8} + 0.0004 * \frac{0.02}{0.015} + \frac{0.02 * \ln\left(\frac{0.02}{0.015}\right)}{2 * 43.24} + 0.0004 + \frac{1}{25.32}$$

$$\frac{1}{U_0} = 0.0007 + 0.00018 + 6.63 * 10^{-5} + 0.0004 + 0.039$$

$$U_0 = 24.83 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caída de presión en un intercambiador de carcasa y tubos.

La caída de presión por los tubos se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$(-\Delta P)_t = 2 * f * \left(\frac{L}{D}\right) * \rho * v^2 * N_{pt} + \frac{\rho * v^2}{2} * K_f * N_{pt}$$

Donde N_{pt} se corresponde con el número de pases de tubo por la carcasa. En el segundo término, K_f es el factor de pérdidas para los retornos de flujo por los tubos; este término puede tomarse igual a 4.

La caída de presión por la carcasa puede calcularse según:

$$(-\Delta P)_c = N_{pc} * \frac{f * G^2 * (N_B + 1) * D_c}{\rho * D_{eq}}$$

Donde N_{pc} es el número de pases por la carcasa; N_B es el número de deflectores; D_{eq} es el diámetro equivalente y G es el flujo másico por unidad de área:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_T}$$

El área transversal de flujo puede calcularse en función del arreglo del tubo usando la siguiente expresión para paso normal cuadrado o triangular:

$$A_t = \frac{(P_t - d_0) * B * D_c}{P_t}$$

El número de deflectores se puede estimar cuando se conocen la longitud L del intercambiador así como el espaciado entre deflectores B . Se usa entonces la ecuación siguiente:

$$N_B = \frac{L}{B} - 1$$

Cálculo del factor de fricción:

El factor de fricción de Fanning se puede estimar de forma relativamente rápida mediante la correlación de Churchill:

$$f = 2 * \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^2} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left\{ 2.407 * \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 * \frac{\varepsilon}{D}} \right] \right\}^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

ε es la rugosidad cuyo valor es de 0,045 mm para tuberías de acero comercial.

Las operaciones detalladas en Excel: “Caída de presión intercambiadores”

$$\Delta Pt = \Delta Pt + \Delta Pc = 28.36 + 15.26 = 0.00043 \text{ bar} < 0.1$$

Damos el diseño como válido.

Resumen de intercambiadores de calor

Intercambiador 2

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 10 in, 52 tubos (2xN), 12 ft, tubos de ¾”, BWG16, arreglo cuadrado.

Intercambiador 5

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 10 in, 26 tubos (2xN), 8 ft, tubos de ¾”, BWG16, arreglo cuadrado.

Intercambiador 15

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 8 in, 26 tubos (2xN), 8 ft, tubos de ¾”, BWG16, arreglo triangular.

Intercambiador 10.1

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 19 1/4" in, 264 tubos (2xN), 8 ft, tubos de 3/4", BWG16, arreglo triangular.

En este se intercambia el calor absorbido en la vaporización del propano inmerso en la corriente de aceite limpio antes de entrar en el flash, este calor se toma de la corriente de propano gaseoso a 217°C procedente del compresor 12.

Intercambiador 10.2

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 21 1/4" in, 280 tubos (2xN), 12 ft, tubos de 3/4", BWG16, arreglo cuadrado.

En este se condensa por dentro de los tubos el propano gaseoso a 90°C procedente del intercambiador 10.1.

Intercambiador 23

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 8 in, 12 tubos (2xN), 8 ft, tubos de 1", BWG16, arreglo cuadrado.

Intercambiador 17

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 8 in, 12 tubos (2xN), 8 ft, tubos de 1", BWG16, arreglo triangular.

Intercambiador 19

Carcasa y tubos, 2 pasos por tubo, diámetro de la carcasa 12 in, 78 tubos (2xN), 8 ft, tubos de 1", BWG16, arreglo cuadrado.

7. Cálculo de condensadores y rehervidores.

El diseño de los condensadores de las torres de destilación lo hago considerando que son intercambiadores de calor de carcasa y tubos en los que el agua de enfriamiento circula por los tubos y la condensación se produce en la carcasa, el coeficiente interno de transmisión de calor por convección h_i lo calculo:

$$h_i = Nu * \frac{k}{D_i}$$

$$Re = \frac{G * D_i}{\mu}$$

La condensación se produce en la carcasa;

Los rehervidores los voy a elegir del tipo kettle, el aceite térmico circula por dentro de los tubos y la ebullición se produce en la carcasa, voy a calcular un intercambiador de carcasa y tubos con el aceite por dentro de los tubos y la corriente de fondo que entra en ebullición por la carcasa.

Se recomienda que los tubos del intercambiador tengan un diámetro mayor a 1" y que su longitud sea menor a 3.6m (11.80ft).

La altura de la barrera h_w :

$$h_w = d_{si} + 4 \text{ in}$$

Después de la barrera debe haber un espacio mínimo de 3 ft.

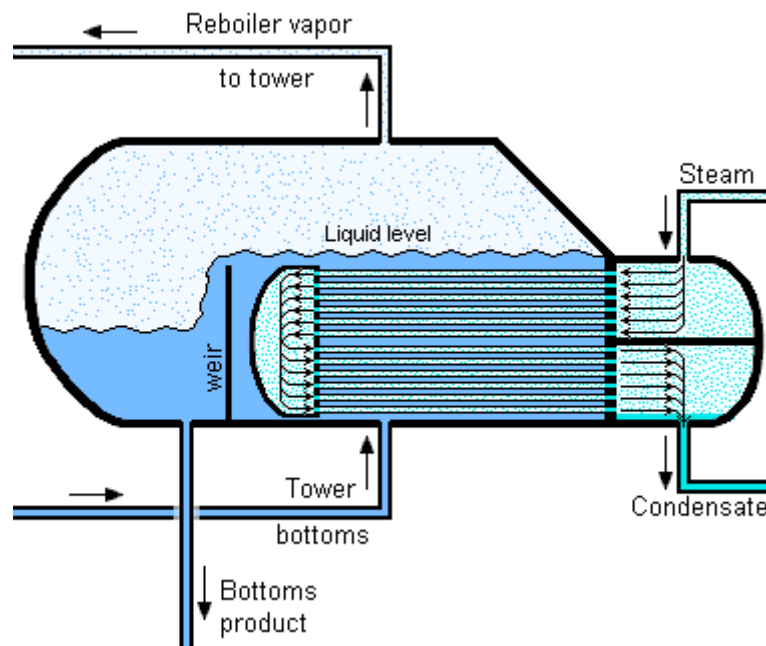


Figura 8. Rehervidor tipo Kettle

El valor mínimo del diámetro del rehervidor, d_k , se calcula:

$$d_k = 2.93 * h_w^{0.788}$$

Para el coeficiente exterior voy a utilizar el concepto de "Flujo máximo de calor".

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{m\acute{a}x}^{(1)} = 803 * P_c * \left(\frac{P}{P_c}\right)^{0.35} \left(1 - \frac{P}{P_c}\right)^{0.9}$$

Que es el flujo máximo de calor para un solo tubo, para un haz de tubos:

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{m\acute{a}x}^b = \Phi_b * F_s * \left(\frac{Q}{A}\right)_{m\acute{a}x}^{(1)}$$

Fs es un factor de seguridad que varía entre 0.5-0.7 y Φ_b es un coeficiente de corrección que tiene en cuenta la geometría del haz de tubos:

$$\Phi_b = 3.1 * \left(\frac{\pi * D_s * L}{A}\right)$$

El coeficiente de ebullición sobre el haz de tubos se calcula entonces a partir del coeficiente en un solo tubo y teniendo en cuenta los efectos de la geometría del haz (F_b), de la composición del fluido (F_c), y de los efectos de la transferencia de calor por convección natural (h_{nc}):

$$h_b = F_b * F_c * h_{nbl} + h_{nc}$$

El coeficiente de ebullición nucleada sobre un solo tubo se puede calcular mediante la correlación de Mostinski, donde F_p es un factor de corrección en función de la presión de operación y la presión crítica del fluido:

$$h_{nbl} = 0.00658 * P_c^{0.69} * \left(\frac{Q}{A}\right) * F_p$$

$$F_p = 1.8 * \left(\frac{P}{P_c}\right)^{0.17} + 4 * \left(\frac{P}{P_c}\right)^{1.2} + 10 * \left(\frac{P}{P_c}\right)^{10}$$

$$F_b = 1 + 0.1 * \left(\frac{1 - \varphi_b}{\varphi_b}\right)^{0.75}$$

$$\varphi = \frac{\pi * D_s * L}{A}$$

El efecto de la composición:

$$F_c = \frac{1}{1 + 0.023 * \left(\frac{Q}{A}\right)^{0.15} * \Delta T_b^{0.75}}$$

ΔT_b representa el rango de puntos de ebullición del líquido a hervir.

La contribución de la convección natural se puede aproximar, para hidrocarburos:

$$h_{nc} = 1000 W/(m^2 \circ K)$$

Con esto tengo el coeficiente de transferencia U y puedo calcular el intercambiador.

8. Cálculo de enfriadores

El cálculo de estos equipos es análogo al de un intercambiador de carcasa y tubos con agua líquida a 35C en la entrada y 50C a la salida como fluido frío, los cálculos en detalle en el Excel “Intercambiadores, condensadores, rehervidores y enfriadores”.

A continuación presento una tabla resumen de los cálculos

| Número | Descripción | A(m ²) | Fluido frío | Fluido caliente | D carcasa (m) | D tubos (m) | N tubos | L(m) |
|--------|-------------------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|---------|------|
| 2 | Intercambiador de calor | 10.95 | Aceite sucio | SN350 | 0.25 | 0.02 | 52.00 | 3.66 |
| 5 | Intercambiador de calor | 1.61 | Aceite sucio | SN150 | 0.25 | 0.03 | 26.00 | 2.44 |
| 15 | Intercambiador de calor | 3.53 | Aceite limpio | SN350 | 0.20 | 0.02 | 26.00 | 2.44 |
| 10.1 | Intercambiador de calor | 38.82 | Aceite+C3 | C3 g | 0.49 | 0.02 | 264.00 | 2.44 |
| 10.2 | Intercambiador de calor | 27.17 | Agua | C3 g a l | 0.54 | 0.02 | 280.00 | 3.66 |
| 23 | Intercambiador de calor | 1.26 | Destilado 7 | SN150 | 0.20 | 0.03 | 12.00 | 2.44 |
| 17 | Intercambiador de calor | 0.14 | Agua | Aceite limpio | 0.20 | 0.03 | 12.00 | 2.44 |
| 19 | Intercambiador de calor | 11.61 | Agua | Propano y C12 | 0.30 | 0.02 | 78.00 | 2.44 |
| 32 | Condensador atmosférico | 7.64 | Agua | C3 g a l | 0.25 | 0.02 | 15.00 | 6.10 |
| 33 | Condensador SN80 | 0.36 | Agua | SN g a l | 0.20 | 0.02 | 33.00 | 2.44 |
| 34 | Condensador SN150 | 0.40 | Agua | SN g a l | 0.20 | 0.02 | 33.00 | 2.44 |
| 35 | Rehervidor atmosférico | 4.43 | SN | Aceite térmico | 0.20 | 0.03 | 15.00 | 2.44 |
| 36 | Rehervidor SN150 | 3.55 | SN | Aceite térmico | 0.20 | 0.03 | 15.00 | 2.44 |
| 37 | Rehervidor SN350 | 5.41 | SN | Aceite térmico | 0.20 | 0.03 | 15.00 | 3.66 |
| 25 | Enfriador SN150 | 37.60 | Agua | SN150 | 0.34 | 0.02 | 124.00 | 4.88 |
| 26 | Enfriador SN350 | 33.64 | Agua | SN350 | 0.39 | 0.02 | 154.00 | 3.66 |
| 27 | Enfriador SN80 | 7.52 | Agua | SN80 | 0.20 | 0.02 | 32.00 | 2.44 |
| 28 | Enfriador Asfalto | 6.21 | Agua | Asfalto | 0.25 | 0.02 | 56.00 | 2.44 |
| 29 | Enfriador Vapor de agua | 9.65 | Agua | Vapor de agua | 0.25 | 0.02 | 48.00 | 3.66 |
| 30 | Enfriador de agua | 3.37 | Agua | Agua | 0.20 | 0.02 | 28.00 | 2.44 |

Tabla 10.-Resumen de intercambiadores de calor

9. Cálculo torre de enfriamiento

En primer lugar estimaré el flujo de agua a enfriar, en cada uno de los equipos el salto térmico ha sido de 15 °C.

| Número equipo | Equipo | Caudal (kg/s) |
|---------------|-------------------------|---------------|
| 17 | Intercambiador de calor | 0.1 |
| 19 | Intercambiador de calor | 1.22 |
| 32 | Condensador atmosférico | 5.84 |
| 33 | Condensador SN80 | 10 |
| 34 | Condensador SN150 | 12 |
| 10.2 | Intercambiador de calor | 10.21 |
| 25 | Enfriador SN150 | 1.03 |
| 26 | Enfriador SN350 | 1.2 |
| 27 | Enfriador SN80 | 0.2 |
| 28 | Enfriador Asfalto | 0.19 |
| 29 | Enfriador Vapor de agua | 3.53 |
| 30 | Enfriador de agua | 0.13 |
| Total | | 45.65 |

Tabla 11.-Cálculo torre de enfriamiento

Considerando una densidad de 1000 kg/m³ y Cp= 4.18 kJ/kgK la energía a extraer:

$$W = m * c_p * \Delta T = 45.65 * 4.18 * 15 = 2862.3 \text{ kW}$$

$$Q = 164.34 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se montará una torre de refrigeración abierta Serie PME-E del fabricante Torralval.



Figura 9.-Torre de enfriamiento TORRAVAL



Figura 10.- Torre de enfriamiento. Componentes

El rango de caudales está entre 150 y 2900 m³/h y la potencia está entre los 580 y 2800 kW por celda (valores nominales de referencia considerando un salto térmico de 5°C).

Se instalarán dos celdas iguales.

10. Cálculo de bombas y tuberías

Los parámetros esenciales que permiten diseñar el tamaño y la potencia de la bomba son el caudal Q , la altura total de elevación H_t y la densidad del fluido a desplazar.

Altura dinámica total: Suma de tres alturas, estática, de fricción y de presión.

Estática es la diferencia de nivel entre la zona de succión y la zona de descarga del fluido, para cada bomba, la altura estática depende del tipo de recipientes inicial y final.

Las debidas a los fenómenos de fricción entre el fluido y las paredes de las conducciones dependen de tres parámetros: el caudal, el diámetro de la tubería y la viscosidad del fluido.

La viscosidad de una mezcla la calcularé con la ley de Arrhenius:

$$\mu = \prod_i \mu_i^{v_i}$$

V_i representa el porcentaje volumétrico del componente i en el flujo a determinar.

Los valores de viscosidad están incluidos en la hoja “Pérdidas de carga”, en ésta calculo las pérdidas en cada tramo entre equipos, especificados en las columnas 2 y 3.

Si el régimen es laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Si es turbulento: Ecuación de Swamee-Jain

$$f = \frac{1.325}{\left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

La pérdida de carga con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

En las tuberías de gas calculo la velocidad:

$$v = \frac{378 * Q}{P_2 * D^2}$$

Con P_2 (bares), la presión al final de la tubería, Q el caudal en Nm^3/h y D el diámetro en mm.

La pérdida de carga la calculo con la ecuación de Renouard:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = 43.68 * G * q^{1.82} * d^{-4.82}$$

P en bar, q en m³/h y d en mm, G es la densidad relativa del propano (1.554) y

$$\Delta p(m) = \frac{P_2 - P_1}{\rho * g}$$

Las pérdidas de carga por equipo las voy a suponer:

Intercambiador de calor: 10 psi=68.9 kPa

Filtro y otros equipos: 3 psi= 20.7 kPa

Para las torres será la altura en metros, que calcularé de la siguiente manera:

Para obtener la altura de la columna, se divide el número de platos encontrado por 0.8, lo que corresponde a una eficiencia en platos del 80%. Se utiliza un espacio entre platos de 20 in a 24 in (tomaré 0.61 m).

El pie de columna tiene generalmente 1.8 m de altura y la cabeza 0.5 m.

Sumando los espacios entre platos, el pie de columna y la cabeza, se obtiene la altura aproximada del equipo (Torre atmosférica (4.74m), SN80 (10.84 m), SN150 (12.37 m)).

Los depósitos de pretratamiento los calculo a partir del tiempo de residencia, como el volumen es mayor de 6 m³ serán horizontales con una relación (L/D)=3, lo cual me da un diámetro de 1.4m, con 0.5m más desde el suelo tengo la pérdida de altura a considerar (1.9m)

Los destiladores flash tienen una (L/D)=3, con un diámetro de 0.84m la altura a considerar es de 2.52m.

He adoptado para la longitud de las tuberías 70m si van desde un equipo a otro y 100m si el final corresponde a un depósito, considero incluidos los efectos del roce de válvulas y conexiones.

En cada tramo he sumado los efectos de la altura debida al roce, a los equipos y a las torres, dependiendo del número de Reynolds he usado distintas ecuaciones para calcular el número de Fanning y la pérdida de carga, están especificadas en las dos últimas columnas.

En cada bomba específico los tramos que ocupa, he utilizado una eficiencia del 50% y un factor de servicio de 1.15, la potencia en el eje de cada bomba está en kW en la columna final.

Los cálculos en detalle se encuentran en el Excel: “Pérdidas de carga, bombas y tuberías, tamaño de equipos”.

Una tabla resumen a continuación

| Bomba | Fluido | Caudal M | Densidad | Caudal V (m ³ /h) | H (m) | Potencia kW |
|-------|----------------------|----------|----------|------------------------------|--------|-------------|
| 1 | Aceite usado | 0.79 | 910 | 3.14 | 24.74 | 0.44 |
| 4 | SN+Propano | 1.14 | 505 | 8.14 | 5.82 | 0.15 |
| 5 | SN | 0.59 | 805 | 2.63 | 22.08 | 0.29 |
| 6 | SN | 0.53 | 805 | 2.38 | 22.77 | 0.27 |
| 10 | Residuo asfáltico | 0.16 | 888 | 0.63 | 3.78 | 0.01 |
| 11 | Propano líquido | 4.00 | 331 | 43.50 | 20.22 | 1.82 |
| 13 | SN80 | 0.06 | 805 | 0.25 | 12.09 | 0.02 |
| 14 | SN150 | 0.34 | 805 | 1.51 | 12.55 | 0.10 |
| 15 | SN350 | 0.19 | 805 | 0.87 | 25.22 | 0.11 |
| 17 | Aceite usado+Propano | 4.60 | 505 | 32.79 | 618.83 | 64.23 |

Tabla 12.-Resumen cálculo de bombas.

Cálculo de bombas

A partir de la tabla anterior elegiré las bombas de los catálogos:

Las bombas 1, 5, 6, 14 y 15 son de la marca Sulzer, concretamente la bomba centrífuga de etapa simple OHVL, adecuadas a las condiciones de operación calculadas para cada una.

La bomba 17 serán dos bombas en serie del mismo tipo



Figura 11.- Bomba centrífuga SULZER OHVL

| | |
|---------------------------|--------------|
| 50 Hz | |
| 25 to 50 mm | Pump sizes |
| 1 to 60 m ³ /h | Capacities |
| up to 450 m | Heads |
| up to 51 bar | Pressures |
| -40 to +340 °C | Temperatures |

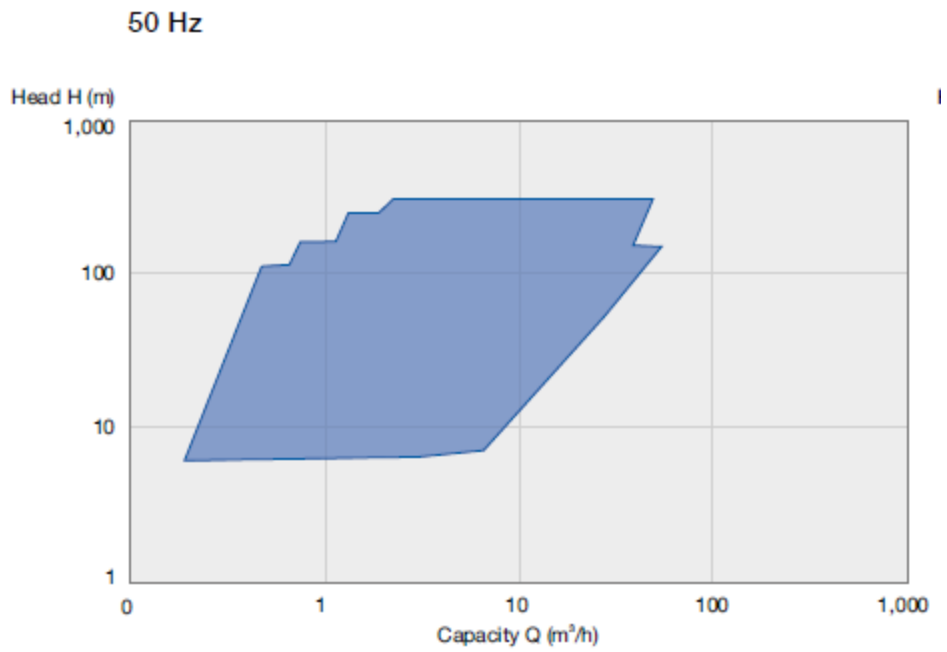


Figura 12. Bomba OHVL. Especificaciones

Las bombas 4, 10, 11 y 17 serán del fabricante Tecnum, Series BN.

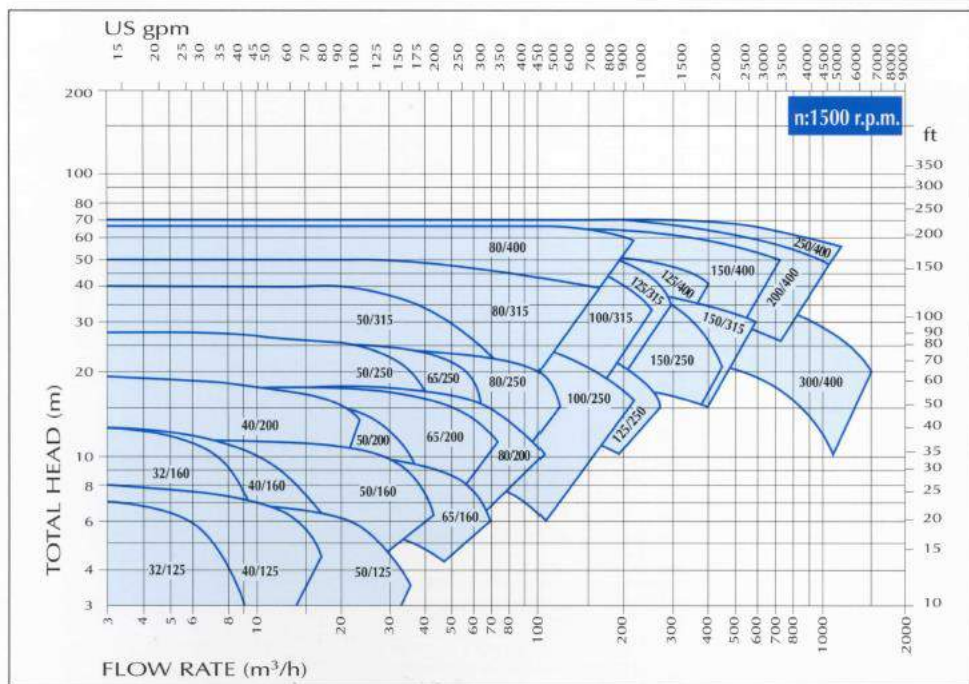
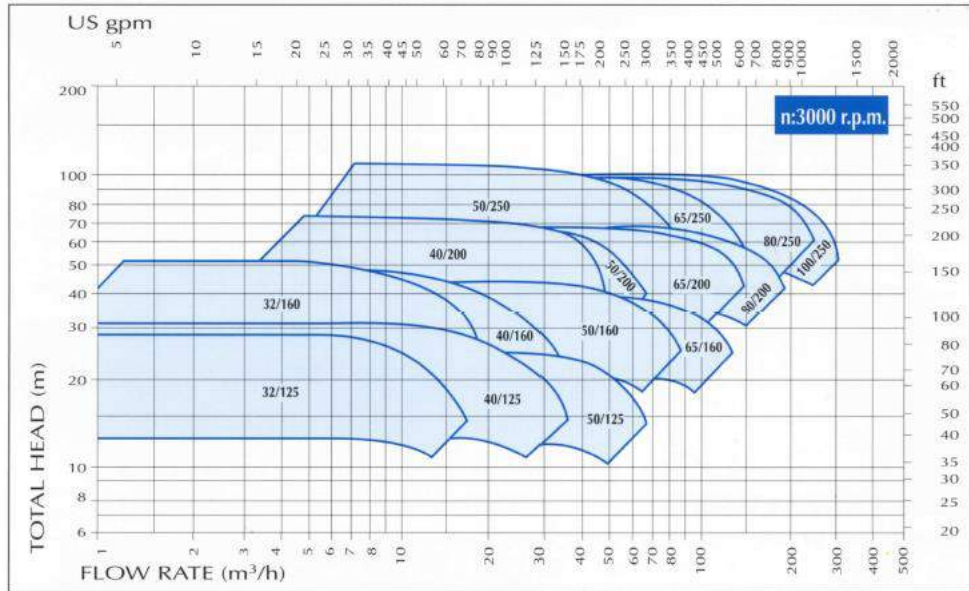


Figura 13.- Bombas Tecnum Series SL

Las bombas 4 y 10 serán 40/125 (1500 rpm), la bomba 10 actuará dos veces diarias desde un depósito de acumulación.

La bomba 11 será 50/125 (3000 rpm).

La bomba 13 es una bomba RH



- **Bomba 8 LM** *ref. 003*
 - Caudal: 8 litros/minuto a 1500 rpm.
 - Aspiración: autoaspirante de 4 metros.
 - Tuberías necesarias: mínimo 3/8" Gas. Las bocas de entrada salida son de 3/8" gas hembra.
 - Presión con 0,25HP: 6 Bars.
 - Temperatura máxima: 180°C (opcional).

Figura 14. Bomba RH

Cálculo de bombas de vacío.

En el proceso hay tres bombas de vacío, en el evaporador de película fina y en las dos torres de destilación, calcularé las bombas a partir del caudal nominal (a presión atmosférica) y del vacío necesario.

Bomba del evaporador

El caudal a extraer es de 144 kg/h de vapor de agua, en las condiciones de salida la densidad del vapor es de 0.7332 kg/m³.

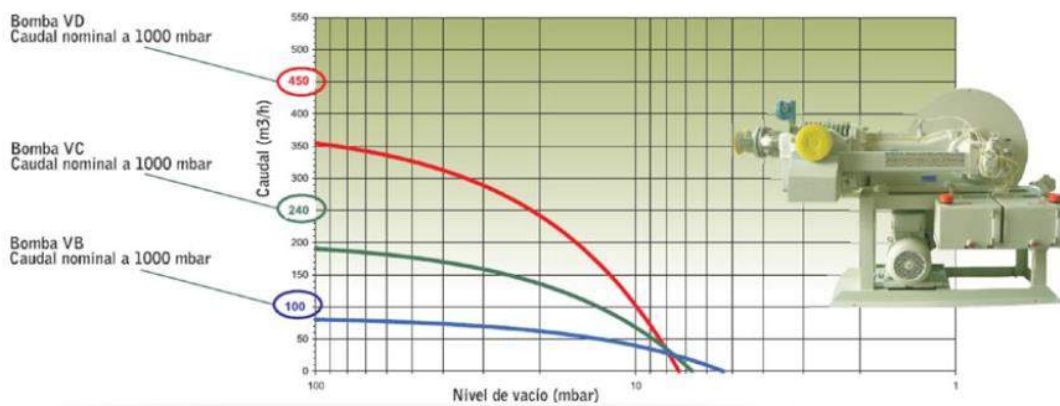
El volumen a extraer es de 196.4 m³/h, el vacío es de 0.05 atm, 38 mb.

Voy a colocar una bomba mono-etapa con las siguientes especificaciones:

Saurus939 de mono etapa, tipo VC

Saurus939 de mono-etapa

| | | VB | VC | VD |
|--|-------------------|-----|-----|-----|
| Velocidad de rotación bomba | rpm | 250 | 250 | 250 |
| Caudal nominal (a presión atmosférica) | m ³ /h | 100 | 240 | 450 |
| Vacío (medido con la boca de aspiración cerrada) | mbar | 5,3 | 6,6 | 7 |
| Potencia del motor | kW | 3 | 5,5 | 11 |



| DIMENSIONADO (mm) | | | | |
|-------------------|----|------|------|------|
| MODELO | A | B | C | |
| mono etapa | VB | 1600 | 900 | 1000 |
| | VC | 2080 | 1060 | 1285 |
| | VD | 2460 | 1280 | 1650 |

Figura 15.- Bomba de vacío mono etapa

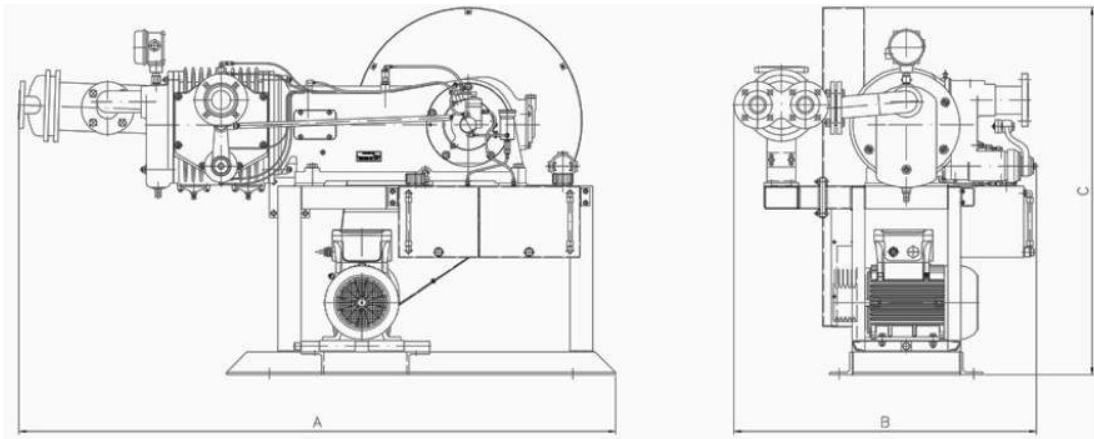


Figura 16.- Bomba de vacío mono etapa. Especificaciones

Bomba torre SN80

El vacío es de 0.5332 kPa, 4 mb.

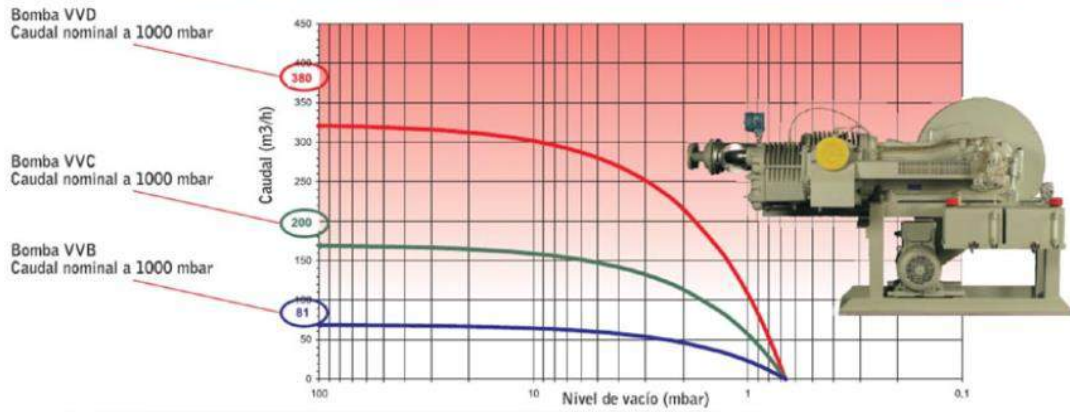
El flujo de vapor es de 200.8 kg/h, la densidad a presión atmosférica es de 3.08 kg/m³.

El caudal a extraer es de 65.19 m³/h.

La bomba escogida es Saurus939 de doble etapa, tipo VVB. Las especificaciones a continuación:

Saurus939 de doble-etapa

| | | VVB | VVC | VVD |
|--|------|------|------|------|
| Velocidad de rotación bomba | rpm | 250 | 250 | 250 |
| Caudal nominal (a presión atmosférica) | m3/h | 81 | 200 | 380 |
| Vacío (medido con la boca de aspiración cerrada) | mbar | 0,66 | 0,66 | 0,66 |
| Potencia del motor | kW | 3 | 5,5 | 11 |



| DIMENSIONADO (mm) | | | |
|-------------------|------|------|------|
| MODELO | A | B | C |
| VVB | 1620 | 900 | 1000 |
| VVC | 2170 | 1060 | 1285 |
| VVD | 2540 | 1280 | 1650 |

Figura 17.- Bomba de vacío doble etapa

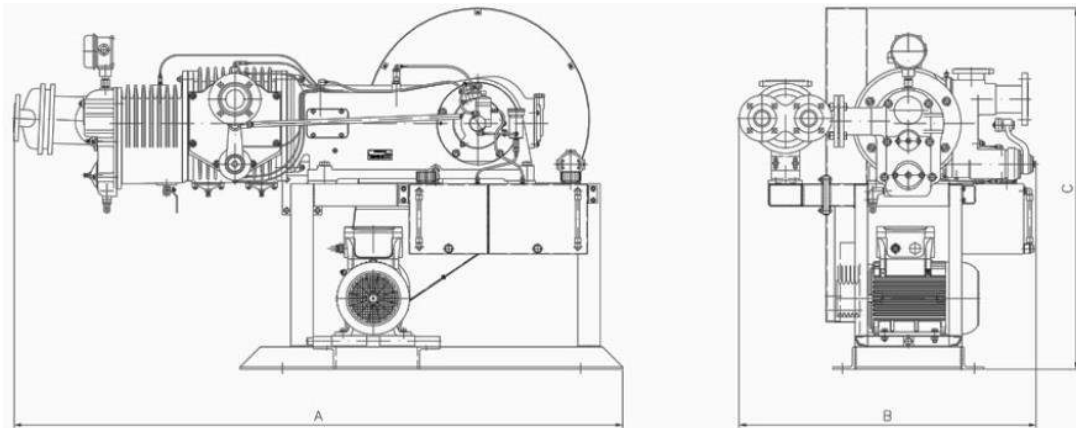


Figura 18.- Bomba de vacío doble etapa. Especificaciones

Bomba de vacío torre SN150

El caudal a extraer es de 394 m³/h, el vacío es de 4 mb, la bomba elegida es Saurus939 tipo VVB+RO500.

Las especificaciones a continuación:

Con 1 Root

| | | VVB+RO300 | | VVB+RO500 | |
|---|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|
| Velocidad de rotación | rpm | 250 | 2880 | 250 | 2880 |
| Caudal nominal (a presión atmosférica) | m ³ /h | 81 | 300 | 81 | 500 |
| Vacío (medido con boca de aspiración cerrada) | mbar | 0,08 | | 0,08 | |
| Potencia motore | kW | 3 | 1,5 | 3 | 2,2 |
| | | VVC+RO500 | | VVC+RO1000 | |
| Velocidad de rotación | rpm | 250 | 2880 | 250 | 2880 |
| Caudal nominal (a presión atmosférica) | m ³ /h | 200 | 500 | 200 | 1000 |
| Vacío (medido con boca de aspiración cerrada) | mbar | 0,08 | | 0,08 | |
| Potencia motores | kW | 5,5 | 2,2 | 5,5 | 4 |
| | | VVD+RO1000 | | VVD+RO2000 | |
| Velocidad de rotación | rpm | 250 | 2880 | 250 | 2880 |
| Caudal nominal (a presión atmosférica) | m ³ /h | 380 | 1000 | 380 | 2000 |
| Vacío (medido con boca de aspiración cerrada) | mbar | 0,08 | | 0,08 | |
| Potencia motores | kW | 11 | 4 | 11 | 5,5 |



DIMENSIONADO (mm)

| MODELO | A | B | C |
|--------------|------|------|------|
| VVB + 1 Root | 1620 | 900 | 1350 |
| VVC + 1 Root | 2170 | 1060 | 1630 |
| VVD + 1 Root | 2540 | 1410 | 2090 |

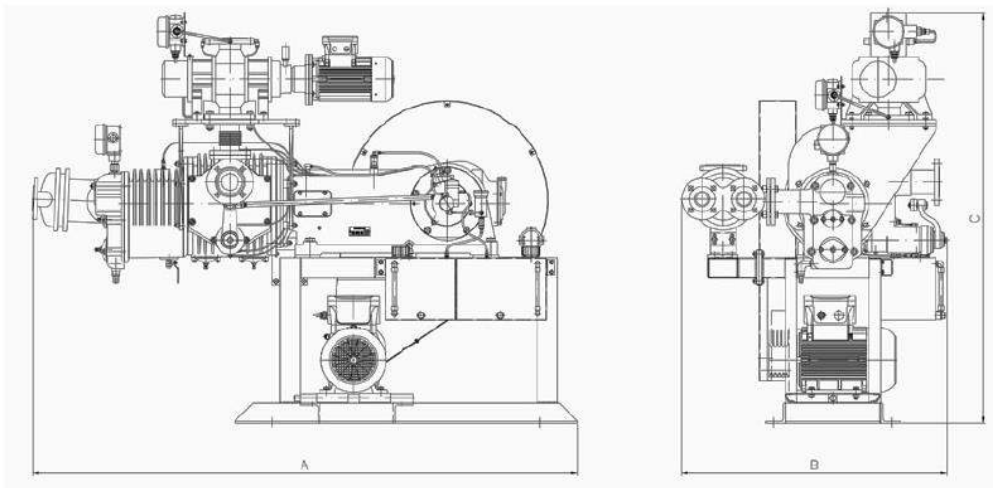


Figura 19.- Bomba de vacío Saurus 939 Tipo VVB+RO500. Especificaciones

11. Cálculo de la caldera y chimenea.

Cálculo de la caldera

Necesito producir una cantidad de calor para calentar el fluido térmico que voy a utilizar en las torres de destilación y en el evaporador, la energía requerida en el proceso es:

| | Potencia (kW) |
|-------------------|---------------|
| Evaporador | 114 |
| Torre atmosférica | 237 |
| Torre SN80 | 39.5 |
| Torre SN150 | 6.9 |
| Total | 397.4 |

Tabla 13.-Calor necesario

Pretendo instalar una caldera alimentada con gas natural que proporcione esta energía.

Será una caldera acuotubular, para usar fluido térmico.

Para el cálculo seguiré los siguientes pasos:

Balance de energía

El fluido es aceite térmico con $\lambda(360C)=291$ kJ/kg (360C y 101kPa), utilizaré el calor latente para aportar la energía necesaria en los equipos 8, 14, 16 y 18, el evaporador y las tres torres de destilación.

Haciendo el correspondiente balance térmico he obtenido la cantidad de fluido térmico necesario en cada caso:

| Número | Descripción | Caudal (kg/s) |
|--------|-------------------------------|---------------|
| 8 | Evaporador | 0.33 |
| 14 | Torre destilación atmosférica | 2.13 |
| 16 | Torre vacío SN80 | 1.27 |
| 18 | Torre vacío SN150 | 1.419 |
| | Total | 5.15 |

Tabla 14.-Fluido térmico necesario

Temperatura de los gases en la chimenea, eficiencia

La eficiencia de un horno es el porcentaje del calor liberado en la llama que es absorbido por el fluido calentado.

Los valores van de 70 % al 95 %.

Las fuentes de ineficiencia son: Las pérdidas de calor en las paredes del horno (un 2 % es valor aceptable en el diseño) y las pérdidas en los gases producidos. La temperatura de salida de los gases ha de ser de 50 a 75 °F (25 a 40 °C) superior a la del fluido de entrada.

Como la composición de los gases de combustión no varía mucho se pueden deducir ecuaciones para determinar la temperatura del gas y las perdidas del horno bastante exactas. Las fórmulas siguientes están dadas para un 2% de perdidas por la pared.

Para combustible gaseoso:

$$Eff = 0.98 - 9.25 * 10^{-5} * T_{stack}^{1.128} * \left(1 + \frac{ex_{air}}{100}\right)^{0.748}$$

Donde:

T_{stack} = temperatura de entrada a chimenea °F

Eff = Eficiencia del horno

ex_{air} = porcentaje de exceso de aire a los quemadores.

Con un exceso de aire del 25% y una temperatura de entrada a la chimenea que va a ser entre 25 y 40C superior a la de entrada del fluido (360C) la eficiencia:

$$Eff = 0.80$$

Calcular los consumos de aire y combustible

Tipo de unidad

Utilizaré una caldera acuotubular, adecuada para fluido térmico

Tipo de combustible

Como combustible voy a usar gas natural suministrado por la compañía que corresponda.

Consumo de aire y combustible.

Son necesarios 400 kW, con una eficiencia del 80% la cantidad de calor que debe producir el horno es de 500kW.

El PCS del gas natural es de 10000 Kcal/Nm³, esto hace necesario un caudal de gas natural de $Q=0.0119 \text{ Nm}^3/\text{s}$

La densidad del gas natural es de $\rho=0.78 \text{ kg/m}^3$.

La cantidad de gas natural $Q=33.41 \text{ kg/h}$

En la estequiometria de la reacción de combustión la relación entre gas y oxígeno es de 1 a 2:

Moles de gas=2.09

Moles de O₂=4.18

Moles de aire= 4.18*4.76= 19.88 Kmoles de aire

La relación en peso la obtengo multiplicando por (29/17)

La relación aire necesario/gas natural=16.22 kgaire/kggas

Cálculo de la chimenea

Las chimeneas de las actividades confinadas y catalogadas como grupo A o B según el Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación, deberán tener una altura mínima de 10 metros

por encima del nivel del suelo y proyectarse como mínimo tres metros por encima de la cumbre. En el caso de cubiertas con pendiente inferior a 20.º, la altura de la cumbre se calculará suponiendo una pendiente de la cubierta de 20.º. En cualquier caso, se evitarán alturas de chimenea que excedan el doble de la altura del edificio.

En el caso que nos ocupa: “Valorización no energética de residuos peligrosos con capacidad >10 t/día”, la actividad se cataloga como grupo A (el código: 09 10 09 01).

El caudal de salida:

$$Q = Q_{gas} + Q_{aire} * (1 + exceso) = 33.41 + 16.22 * 33.41 * (1.25) = 710.8 \text{ kg/h}$$

$$Q = 0.388 \frac{m^3}{s} = 1398 \text{ m}^3/h$$

Para estimar la altura de la chimenea H (m) los datos de partida son:

D: Diámetro interior de la chimenea (m)

T: Temperatura de los gases de escape en condiciones normales, en base seca (Nm³/h) (360C)

Q: Caudal másico de los contaminantes emitidos por la fuente (considero CO, debido a la combustión incompleta, supongo un 1% del CO₂ Q=108 kg/h)

S: Factor según el anexo II. (Según la norma IT-07), S=7.5

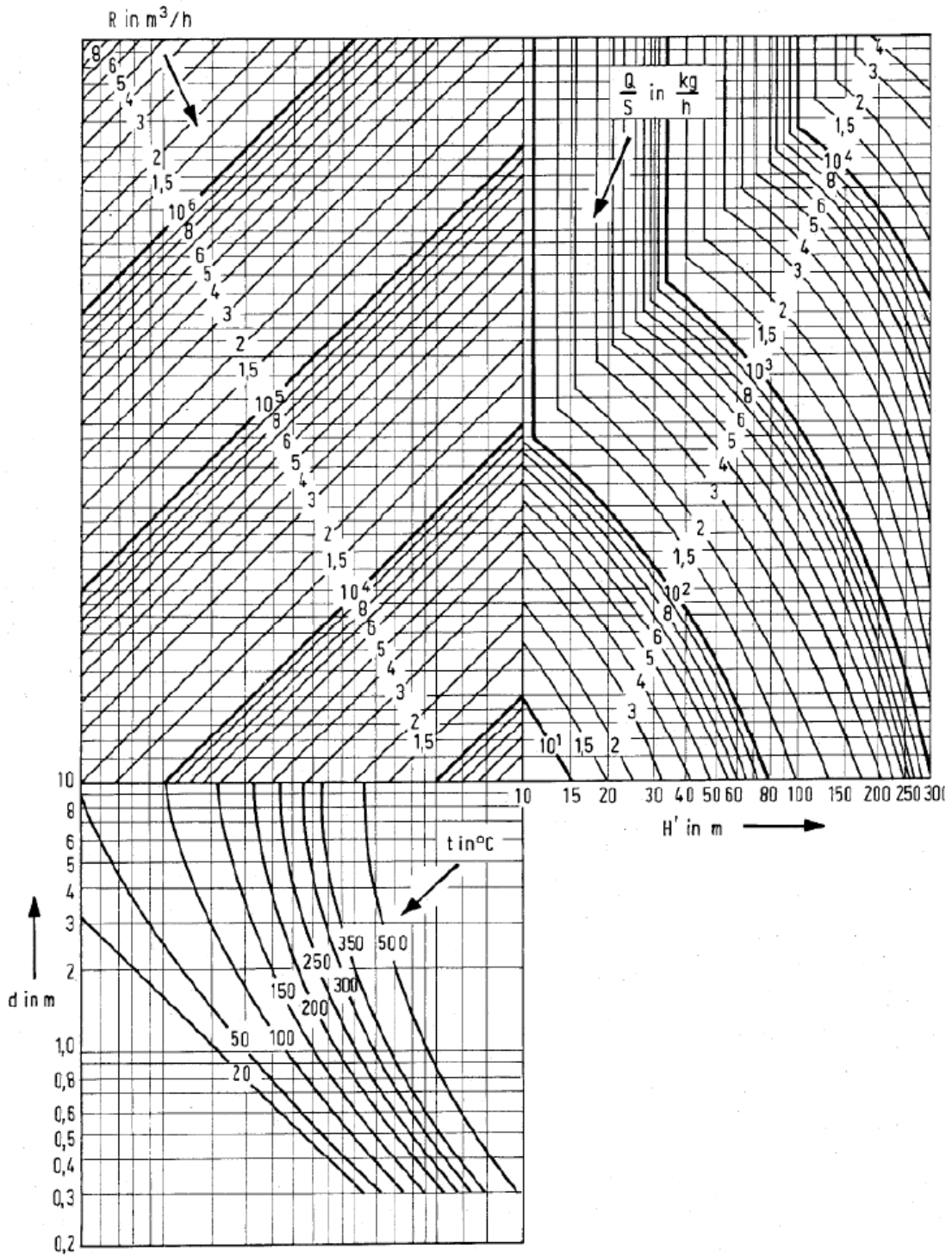


Figura 20. Nomograma IT-07

Con $Q=0.388 \text{ m}^3/\text{s}$ y eligiendo $v_g=6 \text{ m/s}$ (velocidad mínima en chimeneas de hasta 20m), el diámetro de la chimenea es de 0.3m.

Entrando en el nomograma con un diámetro de 0.3 m, una temperatura de salida de los gases de 360C, un caudal total de 1388 kg/h (R) y el cociente (Q/S)=14.4 obtenemos una altura de aproximadamente 15 m.

Calcularé otra chimenea que se encontrará en la zona de proceso y que tiene como objeto evacuar los incondensables procedentes de la destilación, el flujo en esta chimenea será de baja carga másica y asumiré la altura como la mínima que dicta la norma (6 m).

Hay que considerar la proximidad de edificios y construcciones cercanas, en el caso que nos ocupa se encuentran las torres de destilación, una de las mismas con una altura de 14 m.

Para tener en cuenta las edificaciones sensibles y sus posibles efectos sobre la dispersión de los contaminantes emitidos la altura obtenida del nomograma se incrementará con la corrección a realizar según la figura siguiente:

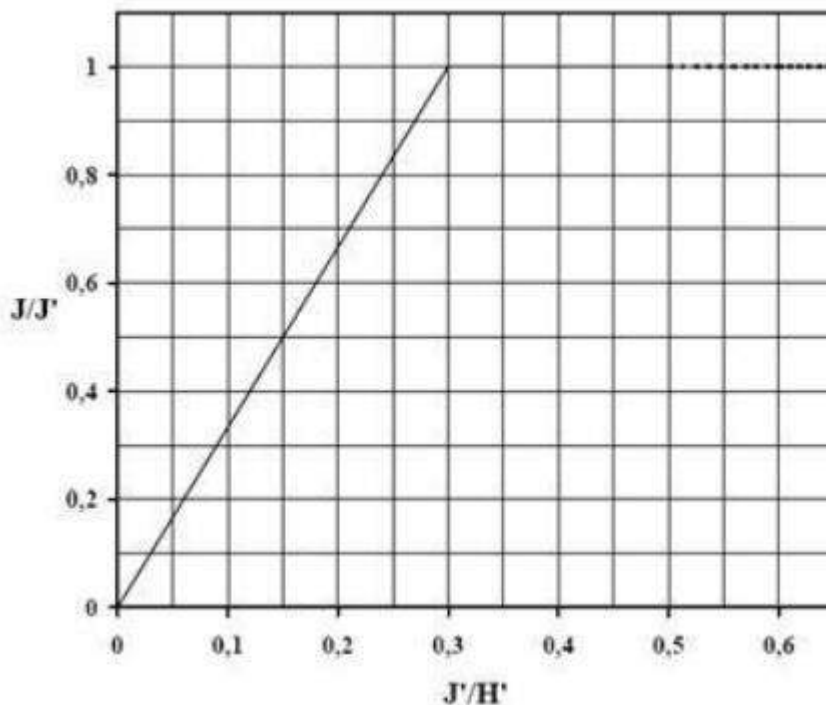


Figura 21. Altura corregida de chimeneas

Para estimar la altura corregida de la chimenea $H(m)$ los datos de partida son:

J' =Altura promedio de las edificaciones sensibles

H' =Altura obtenida del nomograma (m)

J = Incremento de altura por la presencia de obstáculos (m)

Para la corrección por la presencia de edificios cercanos se considerará J' (altura promedio de edificios) de la siguiente manera:

Si el edificio cercano con altura de cumbrera (H_e) cumple que $H'/H_e < 1$ y su distancia al foco (D) es menor que H_e , se tomará como altura promedio de los edificios (J') la altura del edificio más cercano, es decir, H_e . En caso de que hubiera varios edificios próximos al foco que cumplieran estas condiciones, se tomaría como J' la mayor altura H_e .

En el resto de los casos se tomará como altura promedio de los edificios (J') la de los situados en un radio de $5H'$. En caso de obtener valores de $5H' > 150$ m se tomará $5H' = 150$ m.

En el caso de la chimenea de baja carga másica $J=14$, $H=6$.

Se añade a H la altura J , de donde la altura total de la chimenea 1:

$$H_1 = 14 + 6 = 20 \text{ m}$$

En el caso de la chimenea que evacua los contaminantes procedentes de la combustión habría que sumar a la altura obtenida el promedio de las alturas de los edificios colindantes a una distancia menor de $5H$. La estimo como 10m. La altura de la segunda chimenea:

$$H_2 = 10 + 15 = 25 \text{ m}$$

12. Cálculo de tanques de almacenamiento

El parque de almacenamiento es la zona de la planta externa a la zona de proceso. Además de los depósitos de almacenamiento de las materias primas y productos esta zona contará con otros módulos como la caldera, torre de enfriamiento, laboratorio, oficinas, zona de pesada de camiones, cargadero y aparcamiento.

En el anejo de planos se puede ver la distribución y conexión de todas las zonas de la planta.

La distribución del parque de almacenamiento se realiza según al RD379/2001, almacenamiento de sustancias químicas.

Para el dimensionado de los tanques se han tenido que realizar hipótesis de suministro y recogida de las materias.

Voy a suponer el almacenamiento necesario para cuatro días con una fracción añadida y obtendré de esta forma el volumen de cada uno de los depósitos.

Depósito de recepción del aceite: considerando una producción anual de 25k t/a necesito un volumen aproximado de $75 \text{ m}^3/\text{día}$ de aceite, voy a suponer una compra y recogida cada cuatro días: 300 m^3 .

Las dimensiones de los tanques están definidas en la norma UNE-62350-1 a partir de su volumen nominal

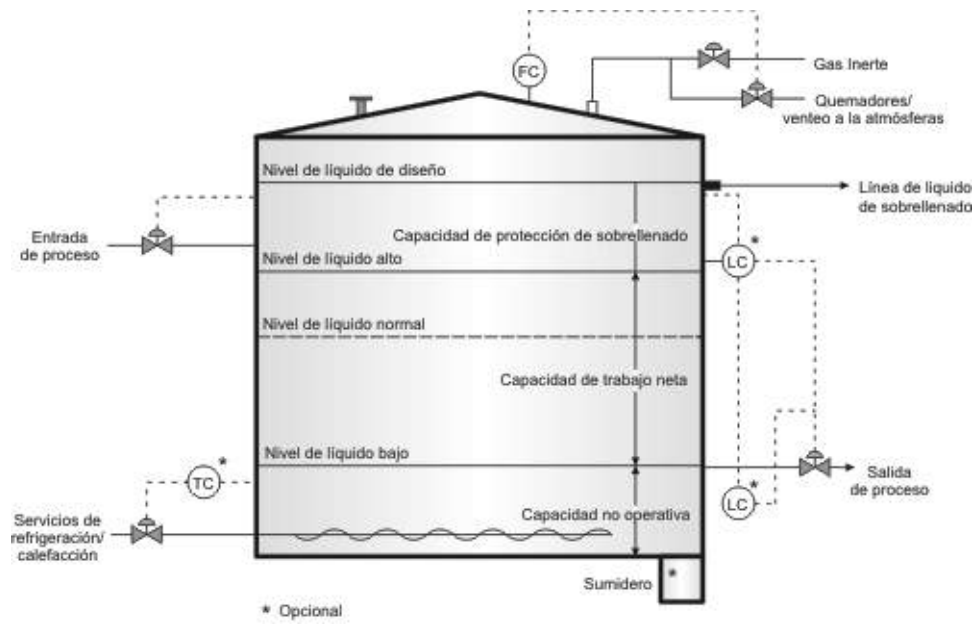


Figura 22. Tanque de almacenamiento atmosférico

Considerando los mismos cuatro días y la cantidad producida de cada uno de los productos y subproductos:

| Descripción | Volumen necesario (m ³) | Número | Capacidad nominal |
|-----------------------|-------------------------------------|--------|-------------------|
| Depósito recepción | 300 | 3 | 100 |
| Sn80 | 22 | 1 | 25 |
| Sn150 | 137 | 2 | 75 |
| Sn350 | 79 | 2 | 50 |
| Hidrocarburos ligeros | 5.3 | 1 | 10 |
| Asfaltos | 63 | 2 | 35 |
| Agua | 13.9 | 1 | 20 |
| Propano | 100 | 1 | 100 |

Tabla 15. Necesidades de almacenamiento.

He elegido un volumen un 20% mayor, aproximadamente, como medida conservadora.

Las dimensiones de los tanques:

| Capacidad nominal (m ³) | Diámetro exterior (mm) | Largo parte cilíndrica (mm) | Longitud total (mm) | Peso (kg) | Espesor nominal (mm) |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------|----------------------|
| 100 | 3000 | 13777 | 14705 | 9162 | 8 |
| 75 | 3000 | 10202 | 11130 | 7052 | 8 |
| 50 | 2500 | 9847 | 10621 | 4171 | 6 |
| 35 | 2500 | 6761 | 7536 | 3032 | 6 |
| 25 | 2500 | 4705 | 5479 | 2273 | 6 |
| 20 | 2500 | 3676 | 4451 | 1894 | 6 |
| 10 | 1900 | 3232 | 3821 | 1014 | 5 |

Tabla 16. Dimensiones de los tanques de almacenamiento.

Para el almacenamiento de propano voy a suponer que dispongo de un tanque de reserva para reponer las posibles pérdidas que pudiera sufrir en el proceso, se calcula según UNE-60250.

Según RD 379/2001 atendiendo a su punto de inflamación, todas las materias y productos son de clase D, a excepción de propano, que es clase A, subclase A1.

Los tanques serán de acero al carbono, diseñados según código API 650.

La distribución de la zona de almacenamiento junto con las dimensiones de los cubetos, se atenderá a la norma sobre almacenamiento de productos químicos APQ.

La capacidad del cubeto es la suma de los volúmenes de los tres recipientes: 300 m³.

Los tres tanques de aceite usado se disponen en un cubeto común de 21 m de largo por 9 m de anchura, tendrá unos muros de 1.60 m de altura y el volumen total del mismo será de 302.4 m³.

El cubeto que retiene a los tres depósitos es de Hormigón armado (HA-30/P/20/IIb, B-500S) y estanco. En el fondo del cubeto se ha dispuesto un hormigón de pendiente (1%) hacia las arquetas de recogida de fugas.

El cubeto está dotado de dos accesos, uno normal y uno de emergencia, ubicados en distintas paredes del cubeto.

Los tanques de producto se dispondrán en dos filas según el plano de planta, el cubeto común que los retiene tendrá 24 m de largo, 15 m de anchura y 1.4 m de altura, el volumen total del mismo es de 504 m³

El cubeto que retiene a los ocho depósitos es de Hormigón armado (HA-30/P/20/IIb, B-500S) y estanco. En el fondo del cubeto se ha dispuesto un hormigón de pendiente (1%) hacia las arquetas de recogida de fugas, que conducen a un tanque reciclable a proceso..

El cubeto está dotado de dos accesos, uno normal y uno de emergencia, ubicados en distintas paredes del cubeto.

El propano se almacenará de acuerdo a la norma UNE-60250, el depósito será aéreo, de 100 m³, tipo A-120, el cuadro de distancias a continuación:

Do: Distancia desde orificios
Dp: Distancia desde paredes

| CLASIFICACIÓN | INSTALACIONES DE SUPERFICIE (AÉREAS, A) | | | | | | | | | | | | INSTALACIONES ENTERRADAS (E) | | | | | | |
|---------------|---|------|--------------------|------|---------------------|------|---------------------|-----|-----------------------|-----|------------------------|----|--------------------------------|----|--------------|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| | A-5 V ≤ 5 | | A-13 5 ≤ V ≤ 13 | | A-35 13 ≤ V ≤ 35 | | A-60 35 ≤ V ≤ 60 | | A-120 60 ≤ V ≤ 120 | | A-500 120 ≤ V ≤ 500 | | A-2000 500 ≤ V ≤ 2000 | | E-5 V ≤ 5 | E-13 5 ≤ V ≤ 13 | E-60 13 ≤ V ≤ 60 | E-120 60 ≤ V ≤ 120 | E-500 120 ≤ V ≤ 500 |
| | Do | Dp | Do | Dp | Do | Dp | Do | Dp | Do | Dp | Do | Dp | Do | Dp | Do | Do | Do | Do | Do |
| Referencia 1 | | 0,6 | | 0,6 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Referencia 2 | | 1,25 | | 1,25 | | 1,25 | | 2 | | 3 | | 5 | | 15 | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 5 | 7,5 |
| Referencia 3 | | 0,6 | | 0,6 | | 1 | | 3 | | 5 | | 5 | | 10 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2,5 | 5 |
| Referencia 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 7,5 | 5 | 8,5 | 6,5 | 10 | 7,5 | 15 | 10 | 30 | 20 | 1,5 | 3 | 4 | 5 | 10 |
| Referencia 5 | 6 | | | 10 | | | 17 | | 20 | | | 30 | | 60 | 3 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| Referencia 6 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Referencia 1: Espacio libre alrededor de la proyección sobre el terreno del depósito.
Referencia 2: Distancia al cerramiento.
Referencia 3: Distancia a muros o paredes ciegas (RF-120).
Referencia 4: Distancias a límites de propiedad, aberturas de inmuebles, focos fijos de inflamación, motores fijos de explosión, vías públicas, férreas o fluviales, proyección de líneas aéreas de alta tensión, sótanos, alcantarillas o desagües.
Referencia 5: Distancias a aberturas de edificios de uso docente, de uso sanitario, de culto, de esparcimiento o espectáculo, de acuartelamientos, de centros comerciales, museos, bibliotecas o lugares de exposición públicos. Estaciones de Servicios. (Bocas de almacenamiento y puntos de distribución).
Referencia 6: Distancias de la boca de carga a la cisterna de trasvase.

Figura 23. Tabla de distancias depósito de propano

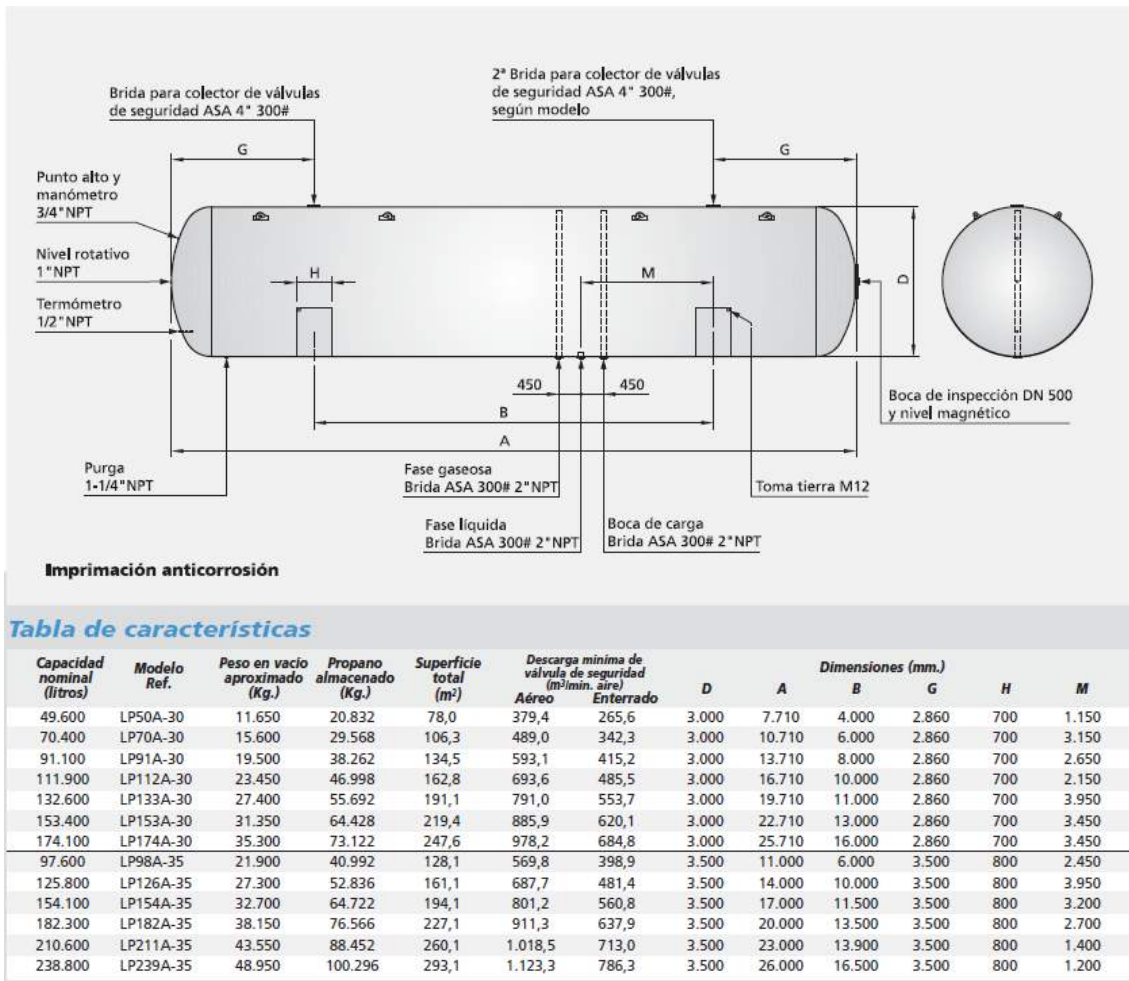


Figura 24. Tanque de propano. Especificaciones

El depósito de propano tendrá D=3 m de diámetro y A=16.760 m de longitud, el volumen será de 111.9 m³.

Para respetar las distancias exigidas en la norma tendrá que estar en un recinto de 24 m de longitud y 9 m de anchura, separado 7.5 m del resto de los cerramientos y del resto de elementos de la planta.

Venteo y sistema de seguridad

Todo recipiente de almacenamiento deberá disponer de sistemas de venteo para prevenir la deformación del mismo como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente.

Se evitara conexiones a otros recipientes excepto para recuperación de vapores, o control de contaminación atmosférica. Los venteos de líquidos de la clase A y subclase B1 no se conectaran con los de la subclase B2 y clases C y D a no ser que existan

dispositivos que impidan a los vapores de los primeros pasar a los otros tanques o se cambie la clasificación de los segundos. No se permite la interconexión de venteos entre recipientes con productos que puedan producir reacciones peligrosas.

En un mismo cubeto solo podrán almacenarse líquidos de la misma clase o subclase para la que fue proyectado o de otra de riesgo inferior, procurando agrupar aquellos que contengan productos de la misma clase. No podrán estar en el mismo cubeto recipientes con productos que puedan producir reacciones peligrosas entre sí, o que sean incompatibles con los materiales de construcción de otros recipientes, tanto por sus características químicas como por sus condiciones físicas.

Las distancias mínimas entre las diversas instalaciones que componen un almacenamiento y de estas a otros elementos exteriores no podrán ser inferiores a los valores obtenidos por la aplicación de la norma y que en caso de líquidos de tipo E es de 2 m.

Cubetos de retención

Los recipientes de superficie para almacenamientos de líquidos inflamables y combustibles deberán disponer de un cubeto de retención.

En todos los cubetos los recipientes no deben estar dispuestos en más de dos filas. Es preciso que cada fila de recipientes tenga adyacente una calle o vía de acceso que permita la intervención de la brigada de lucha contra incendios.

El fondo del cubeto tendrá una pendiente de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia una zona del cubeto lo más alejada posible de la proyección de los recipientes, de las tuberías y de los órganos de mando de la red de incendios.

Cuando un cubeto contenga un solo recipiente, su capacidad será igual al 100 por 100 de la capacidad del mismo.

Cuando varios recipientes se agrupan en un mismo cubeto, la capacidad de este será, al menos, igual al mayor de los mismos.

13. Instrumentación y control

Lazos de control por tipo de equipo

Tanques y depósitos.

Cada uno de los tanques de almacenamiento y vasijas de pretratamiento dispondrán de un lazo de control de nivel en el que un medidor de nivel de fluido en el tanque será la variable controlada y el caudal de salida del fluido al proceso la variable manipulada

Mezcladores

En cada mezclador habrá un control de caudal en el que la variable controlada será el caudal de entrada de uno de los fluidos y la manipulada el caudal de entrada del otro fluido

Intercambiadores de calor

Dispondrán de lazos de control de temperatura, la variable controlada será la temperatura de salida del fluido a proceso, la manipulada el caudal de fluido térmico en cada caso.

Destilador Flash

En el flash la variable a controlar será la presión de salida del gas, la controlo a partir del flujo de entrada.

Torre de extracción.

En la torre de extracción la variable a controlar será el flujo de extracto o el de destilado, de manera que una alteración en uno de ellos se controle con la debida variación en el otro. Es decir, si la fase ligera entra en mucha cantidad el nivel de la fase pesada en la parte superior disminuirá y se abrirá en mayor medida la salida superior. Por lo que hace la parte inferior, el nivel de la parte pesada también disminuirá pero en este caso la válvula de salida de la fase pesada se cerrará con tal de procurar contrarrestar la perturbación y volver al equilibrio entre las dos fases. Si se produjera el efecto contrario la reacción sería equivalente pero opuesta.

Torres de destilación.

El control en las torres de destilación sigue un sistema 5x5, se deben controlar cinco variables y para ello se pueden manipular otras tantas variables.

Las variables que se deben controlar:

La composición del producto de cabeza (y).

La composición del producto de fondo (x)

La presión de trabajo de la columna (P)

El nivel del acumulador de cabeza (LCc)

El nivel del acumulador de fondo (LCb)

Las dos primeras variables nos aseguran la calidad del producto mientras que las otras tres están relacionadas con la estabilidad de la operación asegurando que se cumplen los balances de materia y energía.

Las variables que se pueden manipular en estas columnas son:

El caudal de destilado (D)

El caudal de reflujo (L)

El caudal de fondo (B)

El vaporizado, (V), se manipula el aporte de calor al reboiler

La capacidad de condensación en el condensador (Qc)

Primero fijaré los lazos de presión y de nivel, que son las variables que controlan la estabilidad, es imprescindible que estas variables estén bien reguladas para poder controlar las de calidad.

Voy a hacer un control directo de la presión, colocando una válvula en la tubería de vapor de la cabeza de la columna.

Los niveles de líquido que deben controlarse para asegurar que se cumple el balance de materia son los del acumulador de reflujo y el del fondo de la columna (o en el reboiler). De los posibles emparejamientos para el control de nivel voy a elegir el control del nivel fondo con el caudal del producto de fondo (LCb↔B) y el control del nivel del acumulador de cabeza manipulando el caudal de destilado (LCc↔D).

Las composiciones de los productos de una columna de destilación están afectadas por dos variables manipuladas fundamentales: corte y fraccionamiento. El corte o rendimiento se refiere a la fracción de la alimentación que sale por la cabeza o sale por el fondo y está ligada al balance de materia. El fraccionamiento se refiere a la cantidad de energía que se pone en la columna para conseguir una determinada separación. Estas dos variables afectan a las composiciones de los dos productos: aumentar el corte aumenta la pureza del producto de cabeza y disminuye la pureza del producto de fondo. Incrementar la relación de reflujo (o proporción de vapor a alimentación) modifica la

diferencia entre las composiciones de los productos de la columna, un incremento de la relación de reflujo reducirá las impurezas en los dos productos: destilado y de fondo.

El corte tiene un efecto mayor en las composiciones del producto que el fraccionamiento.

Voy a controlar el corte con un TC (controlador de temperatura de plato sensible), la variable manipulada será D.

Torre de refrigeración.

La variable a controlar será el nivel de fluido en la torre y la variable manipulada el caudal de salida de fluido de proceso.

14. Instalación eléctrica

Voy a realizar una previsión de carga (kW) y una distribución de las líneas teniendo en cuenta las necesidades de la planta, el cálculo de las secciones lo realizaré únicamente por calentamiento.

El diagrama unifilar está en el plano 07.

He previsto cuatro líneas, una para la zona de proceso, para la de almacenamiento, oficina y alumbrado de emergencia y Estación de bombeo contra-incendios.

La previsión de cargas es la siguiente:

1. Zona de proceso

| | Potencia (kW) |
|------------------------------|---------------|
| Motor trifásico Compresor 01 | 172 |
| Motor trifásico Compresor 02 | 250 |
| Motor bombas 1 | 6 |
| Motor bombas 2 | 6 |
| Motor bombas 3 | 6 |
| Alumbrado | 10 |
| Instrumentación | 5 |
| Línea de cargas | 5 |
| Total | 460 |

Tabla 17.-.Previsión de cargas zona de proceso

2. Zona almacenamiento

| | Potencia (kW) |
|-----------------|---------------|
| Motor bombas | 6 |
| Alumbrado | 10 |
| Instrumentación | 5 |
| Línea de cargas | 5 |
| Total | 26 |

Tabla 18.-.Previsión de cargas zona de almacenamiento

3. Oficinas

| | Potencia (kW) |
|-----------|---------------|
| Oficina | 3 |
| Alumbrado | 5 |
| Total | 8 |

Tabla 19.-Previsión de cargas zona de oficina, laboratorio y aparcamiento.

4. Emergencia

| | Potencia (kW) |
|-----------|---------------|
| Bomba | 132 |
| Alumbrado | 5 |
| Total | 137 |

Tabla 20.-Previsión de cargas bombas CI e iluminación de emergencia.

La demanda de potencias de fuerza motriz y de alumbrado es de 626 kW

Cálculo de la acometida

Tensión de servicio 400 V

Canalización Enterrados Bajo Tubo (R Subt)

Longitud 5 m, $\cos\phi=0.8$; $X_u(m\Omega/m)$: 0;

Potencia a instalar: 626000 W

Potencia de cálculo: (según ITC-BT-47 y ITC-BT-44):

$1.25 \cdot (172+250+18+132+6) + 1.8 \cdot (10+10+5) + 23 = 790.5$ kW. (coeficiente de simultaneidad =1)

$I = 790500 / (1.73 \cdot 400 \cdot 0.8) = 1428$ A

Se eligen conductores unipolares de 240 mm^2

Calculo de la línea general de alimentación

Tension de servicio = 400

Longitud 0.5 m cos 0.8

Realizo el cálculo de las secciones por calentamiento.

| Nombre | Pot nominal W | Coficiente | Pot Total (W) | Voltaje (V) | Cos? | I (A) | In (A) | Sección (mm ²) |
|----------------------------|---------------|------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|----------------------------|
| Zona de proceso | | | | | | | | |
| Grupo bombas 1 | 6000 | 1.25 | 7500 | 400 | 0.85 | 12.75 | 16 | 2.5 |
| Grupo bombas 2 | 6000 | 1.25 | 7500 | 400 | 0.85 | 12.75 | 16 | 2.5 |
| Grupo bombas 3 | 6000 | 1.25 | 7500 | 400 | 0.85 | 12.75 | 16 | 2.5 |
| Compresor 01 | 172000 | 1.25 | 215000 | 400 | 0.85 | 365.52 | 400 | 185 |
| Compresor 02 | 250000 | 1.25 | 312500 | 400 | 0.85 | 531.28 | 630 | 240 |
| Instrumentación | 5000 | 1 | 5000 | 400 | 0.85 | 8.50 | 10 | 1.5 |
| Alumbrado | 10000 | 1.8 | 18000 | 400 | 0.85 | 30.60 | 40 | 6 |
| Tomas de corriente | 5000 | 1 | 5000 | 400 | 0.85 | 8.50 | 10 | 1.5 |
| | | | Total | 400 | 0.85 | 982.66 | 1000 | 240 |
| Zona Almacenamiento | | | | | | | | |
| Instrumentación | 5000 | 1 | 5000 | 400 | 0.85 | 8.50 | 10 | 1.5 |
| Alumbrado | 10000 | 1.8 | 18000 | 400 | 0.85 | 30.60 | 40 | 6 |
| Tomas de corriente | 5000 | 1 | 5000 | 400 | 0.85 | 8.50 | 10 | 1.5 |
| Bombas almacenamiento | 6000 | 1.25 | 7500 | 400 | 0.85 | 12.75 | 16 | 2.5 |
| | | | Total | 400 | 0.85 | 60.35 | 64 | 10 |
| Zona Emergencia | | | | | | | | |
| Alumbrado | 10000 | 1.8 | 18000 | 400 | 0.85 | 30.60 | 40 | 6 |
| Bombas Cl | 132000 | 1.25 | 165000 | 400 | 0.85 | 280.52 | 285 | 95 |
| | | | Total | 400 | 0.85 | 311.12 | 335 | 120 |
| Zona oficinas | | | | | | | | |
| Oficina | 3000 | 1 | 3000 | 230 | 0.85 | 8.87 | 10 | 1.5 |
| Alumbrado | 10000 | 1.8 | 18000 | 400 | 0.85 | 30.60 | 40 | 6 |
| | | | Total | 400 | 0.85 | 39.47 | 40 | 6 |

Tabla 21.-Cálculo de secciones por calentamiento.

Todos los cables que vayan por canalización enterrada tendrán una sección mínima de 6 mm² (Instrucción ITC BT 07 del reglamento electrotécnico de baja tensión, RD842/2002). La sección mínima será de 6 mm².

3. Instalación contra incendios

1. Introducción

El incendio es uno de los principales accidentes que ocurren en la industria química. El fuego se puede definir como la conjunción de 4 elementos: combustible, comburente,

fuelle de ignición y reacción en cadena. La supresión de uno o más de estos componentes hace que el fueuo no pueda desarrollarse y se produce la extinción.

En este apartado se recogen los sistemas de detección, alarma y extinción de los incendios, así como la normativa aplicable en cada caso.

2. Normativa

En este apartado se enumera la normativa relacionada con la protección contra incendios de las plantas industriales, en lo que se refiere a características de los aparatos, equipos y sistemas utilizados así como a su instalación y mantenimiento.

Legislación general:

- **Real Decreto 1942/1993**, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. Este Reglamento establece los requisitos que deben cumplir los aparatos, equipos y sistemas empleados en la protección contra incendios, así como su instalación y mantenimiento.

- **Real Decreto 486/1997**, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Este Reglamento establece las condiciones mínimas de protección contra incendios que deberán satisfacer los lugares de trabajo, a salvo de las disposiciones específicas aplicables sobre dicha materia.

- **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Este Real Decreto establece los requisitos que deben cumplirse para la identificación de los medios de protección contra incendios y la señalización de su emplazamiento.

- Norma Básica de Edificaciones **N.B.E.-C.P.I./96**.

3. Tipos de fueuo

La peligrosidad de un combustible depende fundamentalmente de su capacidad de emitir gases o vapores en la unidad de tiempo a una temperatura determinada (bajo el aspecto de ignición y propagación de llama).

Dichos gases o vapores mezclados con el aire pueden inflamarse y si existe suficiente volumen de mezcla, generar una explosión. El fueuo se clasifica según la sustancia que lo provoca al reaccionar con el oxígeno, es decir, el combustible.

1. Según el combustible

Gases: Son los más peligrosos; se mezclan íntimamente con el aire y su ignición puede provocar una explosión. Producen llamas.

Líquidos: son tanto más peligrosos cuanto más volátiles sean. Cuando se manejan a temperatura superior a la de inflamación, la mezcla de sus vapores con el aire se inflama con violencia y si hay suficiente volumen de mezcla pueden provocar explosiones.

Producen llamas.

Sólidos: son tanto más peligrosos cuanto menos densos sean. Cualquier combustible reducido a polvo y dispersado en el aire (nube), se inflama con violencia explosiva. Al arder normalmente producen llamas y brasas (excepto la cera, parafina y similares).

2. Fuegos normalizados

La norma UNE 23-010-76 establece las siguientes clases de fuego normalizadas:

Clase A: Fuego de materias sólidas, generalmente de naturaleza orgánica, donde la combustión se realiza normalmente con formación de brasas.

Clase B: Fuego de líquidos o de sólidos licuables.

Clase C: Fuego de gases.

Clase D: Fuego de metales.

Clase E: Fuegos de origen eléctrico.

En la planta podrán ocurrir principalmente, fuegos de tipo B y E.

3. Configuración del local, nivel de riesgo intrínseco.

Según el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales los establecimientos industriales se caracterizarán por:

- a. Su configuración y ubicación con relación a su entorno.
- b. Su nivel de riesgo intrínseco

a. Configuración del local.

Las muy diversas configuraciones y ubicaciones que pueden tener los establecimientos industriales se consideran reducidas a:

2.1 Establecimientos industriales ubicados en un edificio:

TIPO A: El establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial ya de otros usos

TIPO B: El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio que está adosado a otro u otros edificios, o a una distancia igual o inferior a tres metros de otro u otros edificios, de otro establecimiento, ya sean estos de uso industrial o bien de otros usos.

TIPO C: El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio

2.2 Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio:

TIPO D: El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.

TIPO E: El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de sus fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

Las configuraciones de Tipo D y E se presentan en plantas industriales en parcela cerrada única. En éstas, normalmente coexisten “edificios cerrados” (Cubierta y fachadas desde rasante a ésta) con áreas de trabajo abiertas, que deberán tratarse como sigue:

- a) Si cualquiera de estos edificios estuviera situado a una distancia igual o inferior a 3m de otro edificio del establecimiento colindante, ese edificio (y solo ese) se trataría como Tipo B. El resto ya sería Tipo C independientemente de la distancia entre ellos.
- b) Si la distancia referida anteriormente fuera superior a 3 m (Caso más habitual), todos los edificios serían tratados como Tipo C.
- c) Debe entenderse que, al ser todos los edificios de un solo titular, el establecimiento es Tipo C, aunque los edificios estén unidos o separados menos de 3 m entre sí.
- d) Las áreas tipo D o E, serán tratadas como tales.
- e) Dentro de cada edificio, o entre dos que se encontraran unidos por un paso cerrado, se aplicarían los correspondientes criterios de sectorización.

La planta está dentro del tipo E, las oficinas serían tipo C.

b. Nivel de riesgo intrínseco

El nivel de riesgo intrínseco de un edificio o un conjunto de sectores y/o áreas de incendio de un establecimiento industrial, a los efectos de la aplicación del reglamento, se evaluará calculando la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, Q_e , de dicho edificio industrial.

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} * A_i}{\sum_1^i A_i}$$

Donde:

Q_e = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

Q_{si} = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

A_i = superficie construida de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en m².

Dividiré la planta en dos zonas: proceso (1200 m²) y almacenaje (75690 m²)

En la tabla de valores de densidad de carga de fuego:

| ACTIVIDAD | Fabricación y venta | | | Almacenamiento | | |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------|-------------------|---------------------|-------|
| | q_s | | R_a | q_v | | R_a |
| | MJ/m ² | Mcal/m ² | | MJ/m ³ | Mcal/m ³ | |
| Abonos químicos | 200 | 48 | 1,5 | 200 | 48 | 1,0 |
| Aceites comestibles | 1.000 | 240 | 2,0 | 18.900 | 4.543 | 2,0 |
| Aceites comestibles, expedición | 900 | 216 | 1,5 | 18.900 | 4.543 | 2,0 |
| Aceites: mineral, vegetal y animal | 1.000 | 240 | 2,0 | 18.900 | 4.543 | 2,0 |
| Acero | 40 | 10 | 1,0 | | | |
| Acero, agujas de | 200 | 48 | 1,0 | | | |
| Acetileno, llenado de botellas | 700 | 168 | 1,5 | | | |
| Ácido carbónico | 40 | 10 | 1,0 | | | |

Tabla 22.-Valores de densidad de carga de fuego.

En MJ/m²:

$$Q_e = \frac{1000 * 1200 + 18900 * 75690}{76890} = 18620 \text{ MJ/m}^2$$

| Nivel de riesgo intrínseco | Densidad de carga de fuego ponderada y corregida | | |
|----------------------------|--|------------------------|-------------------------|
| | Mcal/m ² | MJ/m ² | |
| BAJO | 1 | $Q_s \leq 100$ | $Q_s \leq 425$ |
| | 2 | $100 < Q_s \leq 200$ | $425 < Q_s \leq 850$ |
| MEDIO | 3 | $200 < Q_s \leq 300$ | $850 < Q_s \leq 1275$ |
| | 4 | $300 < Q_s \leq 400$ | $1275 < Q_s \leq 1700$ |
| | 5 | $400 < Q_s \leq 800$ | $1700 < Q_s \leq 3400$ |
| ALTO | 6 | $800 < Q_s \leq 1600$ | $3400 < Q_s \leq 6800$ |
| | 7 | $1600 < Q_s \leq 3200$ | $6800 < Q_s \leq 13600$ |
| | 8 | $3200 < Q_s$ | $13600 < Q_s$ |

Tabla 23.- Nivel de riesgo intrínseco.

El nivel de riesgo intrínseco es alto.

Los sistemas de protección a instalar dependerán de la relación de la tipología del edificio donde se encuentra el sector del incendio, el nivel de riesgo intrínseco del sector y la superficie del sector del incendio.

4. Instalaciones de detección, alarma y extinción

Todos los aparatos, equipos, sistemas y componentes de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales, así como el diseño, la ejecución, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de sus instalaciones, cumplirán lo preceptuado en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y en la Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo de aquel.

5.1 Sistemas automáticos de detección de incendios

En las industrias o lugares de trabajo de gran peligrosidad en que el riesgo de incendio afecte a grupos de trabajadores, la Delegación Provincial de Trabajo podrá imponer la obligación de instalar aparatos de fuego o detectores de incendios, del tipo más adecuado: aerotérmico, termoeléctrico, químico, fotoeléctrico, radiactivo, por ultrasonidos, etcétera.

Los detectores térmicos actúan por el estímulo de la elevación de temperatura provocada por el calor del incendio. Existe una gran variedad de modelos: termostáticos, termovelocimétricos, combinados y compensados.

Las características y especificaciones de los sistemas automáticos de detección de incendios se ajustarán a la Norma UNE 23007.

En el caso que nos ocupa no es necesaria la instalación de un sistema de alarma automático, lo cual obliga a instalar uno manual.

1.2 Sistemas manuales de detección de incendios

Se instalarán sistemas manuales de alarma de incendios en todos los sectores de la planta, la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no debe superar los 25 m.

Estarán constituidos por un conjunto de pulsadores que permitirán provocar voluntariamente y transmitir una señal a una central de control y señalización permanentemente vigilada, de tal forma que sea fácilmente identificable la zona en que ha sido activado el pulsador. Las fuentes de alimentación del sistema manual de pulsadores de alarma, sus características y especificaciones deberán ajustarse a la Norma UNE-23007.

Se instalarán sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:

-Su superficie total construida es de 1.000 m² o superior, o

-No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección

b) Actividades de almacenamiento, si:

-Su superficie total construida es de 800 m² o superior, o

-No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección

Cuando sea requerida la instalación de un sistema manual de alarma de incendio, se situará, en todo caso, un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, y la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no debe superar los 25 m.

Se instalarán sistemas de comunicación de alarma en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales, si la suma de la superficie construida de todos los sectores de incendio del establecimiento industrial es de 10.000 m² o superior.

La señal acústica transmitida por el sistema de comunicación de alarma de incendio permitirá diferenciar si se trata de una alarma por "emergencia parcial" o por "emergencia general", y será preferente el uso de un sistema de megafonía.

1.3 Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios

Se instalará un sistema de abastecimiento de agua contra incendios (“red de agua contra incendios”), para dar servicio, en las condiciones de caudal, presión y reserva calculados, a uno o varios sistemas de lucha contra incendios, tales como:

5.3.1. Red de bocas de incendio equipadas (BIE)

Se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en los sectores de incendio de los establecimientos industriales si:

- a) Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 300 m² o superior.
- b) Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 500 m² o superior.
- c) Están ubicados en edificios de tipo B, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 200 m² o superior.
- d) Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es medio y su superficie total construida es de 1000 m² o superior.
- e) Están ubicados en edificios de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 500 m² o superior.
- f) Son establecimientos de configuraciones de tipo D o E, su nivel de riesgo intrínseco es alto y la superficie ocupada es de 5.000 m² o superior.

Nota: en las zonas de los almacenamientos operados automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas, podrá justificarse la no instalación de bocas de incendio equipadas.

La configuración es E, el riesgo intrínseco es alto y la superficie ocupada es mayor a 10000 m²

Los sistemas de bocas de incendio equipadas estarán compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación de agua y las bocas de incendio equipadas (BIE) necesarias.

Las bocas de incendio equipadas (BIE) pueden ser de los tipos BIE de 45 mm y BIE de 25 mm.

Deberán montarse sobre un soporte rígido de forma que la altura de su centro quede como máximo a 1,50 m sobre el nivel del suelo o a más altura si se trata de BIE de 25 mm, siempre que la boquilla y la válvula de apertura manual si existen, estén situadas a la altura citada.

Se situarán, siempre que sea posible, a una distancia máxima de 5 m de las salidas de cada sector de incendio, sin que constituyan obstáculo para su utilización.

El número y distribución de las BIE en un sector de incendio, en espacio diáfano, será tal que la totalidad de la superficie del sector de incendio en que estén instaladas quede cubierta por una BIE, considerando como radio de acción de ésta la longitud de su manguera incrementada en 5 m.

La separación máxima entre cada BIE y su más cercana será de 50 m. La distancia desde cualquier punto del local protegido hasta la BIE más próxima no deberá exceder de 25 m.

Se deberá mantener alrededor de cada BIE una zona libre de obstáculos que permita el acceso a ella y su maniobra sin dificultad

Tipo de BIE y necesidades de agua.

Además de los requisitos establecidos en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, para su disposición y características se cumplirán las siguientes condiciones hidráulicas:

| NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL | TIPO DE BIE | SIMULTANEIDAD | TIEMPO DE AUTONOMÍA |
|---|-------------|---------------|---------------------|
| BAJO | DN 25 mm | 2 | 60 min |
| MEDIO | DN 45 mm* | 2 | 60 min |
| ALTO | DN 45 mm* | 3 | 90 min |

Tabla 24.-Tipos de BIE.

* Se admitirá BIE 25 mm como toma adicional del 45mm, y se considerará, a los efectos de cálculo hidráulico, como BIE de 45 mm.

El caudal unitario será el correspondiente a aplicar a la presión dinámica disponible en la entrada de la BIE, cuando funcionen simultáneamente el número de BIE indicado, el factor "K" del conjunto, proporcionado por el fabricante del equipo. Los diámetros equivalentes mínimos serán 10 mm para BIE de 25 y 13 mm para las BIE de 45 mm.

Se deberá comprobar que la presión en la boquilla no sea inferior a dos bar ni superior a cinco bar, y, si fuera necesario, se dispondrán dispositivos reductores de presión.

Suponiendo un caudal unitario de 200 l/min por cada boca y con el coeficiente de simultaneidad 3 y la autonomía de 90 m, la reserva mínima de agua es de 54 m³.

5.3.2. Sistemas de hidrantes exteriores.

Necesidades.

Se instalará un sistema de hidrantes exteriores si:

a) Lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas o

b) Concurren las circunstancias que se reflejan en la tabla siguiente:

HIDRANTES EXTERIORES EN FUNCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LA ZONA, SU SUPERFICIE CONSTRUIDA Y SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO

| Configuración de la zona de incendio | Superficie del sector o área de incendio (m ²) | Riesgo Intrínseco | | |
|--------------------------------------|--|-------------------|----------------|----------------|
| | | Bajo | Medio | Alto |
| A | ≥300 ≥1000 | NO SÍ* | SÍ SÍ | |
| B | ≥1000 ≥2500 ≥3500 | NO NO SÍ | NO SÍ SÍ | SÍ SÍ SÍ |
| C | ≥2000 ≥3500 | NO NO | NO SÍ | SÍ SÍ |
| D o E | ≥5000 ≥15000 | SÍ | SÍ SÍ | SÍ SÍ |

Tabla 25.-Hidrantes exteriores.

Nota: cuando se requiera un sistema de hidrantes, la instalación debe proteger todas las zonas de incendio que constituyen el establecimiento industrial.

* No es necesario cuando el riesgo es bajo.

En el caso que nos ocupa será necesaria la implantación de un sistema de hidrantes exteriores.

Implantación.

El número de hidrantes exteriores que deben instalarse se determinará haciendo que se cumplan las condiciones siguientes:

- a) La zona protegida por cada uno de ellos es la cubierta por un radio de 40 m, medidos horizontalmente desde el emplazamiento del hidrante.
- b) Al menos uno de los hidrantes (situado, a ser posible, en la entrada) deberá tener una salida de 100 mm.

c) La distancia entre el emplazamiento de cada hidrante y el límite exterior del edificio o zona protegidos, medida perpendicularmente a la fachada, debe ser al menos de cinco m.

Si existen viales que dificulten cumplir con estas distancias, se justificarán las realmente adoptadas.

d) Cuando, por razones de ubicación, las condiciones locales no permitan la realización de la instalación de hidrantes exteriores deberá justificarse razonada y fehacientemente.

La red de hidrantes se especifica en el plano de implantación contra incendios.

Caudal requerido y autonomía.

Las necesidades de agua para proteger cada una de las zonas (áreas o sectores de incendio) que requieren un sistema de hidrantes se hará de acuerdo con los valores de la siguiente tabla.

| CONFIGURACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL | NIVEL DE RIESGO INTRINSECO | | | | | |
|--|----------------------------|-------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | BAJO | | MEDIO | | ALTO | |
| TIPO | CAUDAL (L/MIN) | AUTON (MIN) | CAUDAL (L/MIN) | AUTON. (MIN) | CAUDAL (L/MIN) | AUTON. (MIN) |
| A | 500 | 30 | 1000 | 60 | | |
| B | 500 | 30 | 1000 | 60 | 1000 | 90 |
| C | 500 | 30 | 1500 | 60 | 2000 | 90 |
| D y E | 1000 | 30 | 2000 | 60 | 3000 | 90 |

Tabla 26.-Necesidades de agua para hidrantes exteriores.

NOTAS:

1) Cuando en un establecimiento industrial, constituido por configuraciones de tipo C, D o E, existan almacenamientos de productos combustibles en el exterior, los caudales indicados en la tabla se incrementarán en 500 l/min.

2) La presión mínima en las bocas de salida de los hidrantes será de cinco bar cuando se estén descargando los caudales indicados.

3) Para establecimientos para los que por su ubicación esté justificada la no realización de una instalación específica, si existe red pública de hidrantes, deberá indicarse en el proyecto la situación del hidrante más próximo y la presión mínima garantizada.

En el caso que nos ocupa el caudal y la autonomía serán:

$$Q = 3500 \text{ l/min} \quad \text{Autonomía} = 90 \text{ min}$$

$$V = 315 \text{ m}^3$$

Simultaneidad de sistemas

Se preverá la suma de los caudales de tres BIE y el volumen necesario para los hidrantes, esto hace necesaria una reserva de agua:

$$\text{Reserva} = 3 * Q_{BIE} + Q_{Hidrantes} = 315 + 54 = 368 \text{ m}^3$$

El caudal total $246 \text{ m}^3/\text{h}$, la presión será la necesaria para hacer funcionar tres BIE simultáneamente, si cada una necesita 3 bar:

$$\text{Presión} = 3 * 3 = 9 \text{ bar} = 91.8 \text{ mca}$$

5.4. Estación de bombeo

Se instalará un red de incendios que abastecerá de agua a todos los puntos de la planta donde sea necesario, dicha red será alimentada por un grupo de presión que suministrará el caudal necesario para abastecer la instalación. Llevará incorporado un presostato conectado con la central de señalización que permita detectar su funcionamiento.

Un equipo contra incendios está compuesto básicamente por una bomba principal, accionada por motor eléctrico, una bomba de reserva accionada por motor diesel con capacidad igual a la principal y una bomba auxiliar o jockey que es siempre eléctrica.

COMPOSICIÓN ESTÁNDAR DE UN GRUPO NORMA UNE 23-500-90

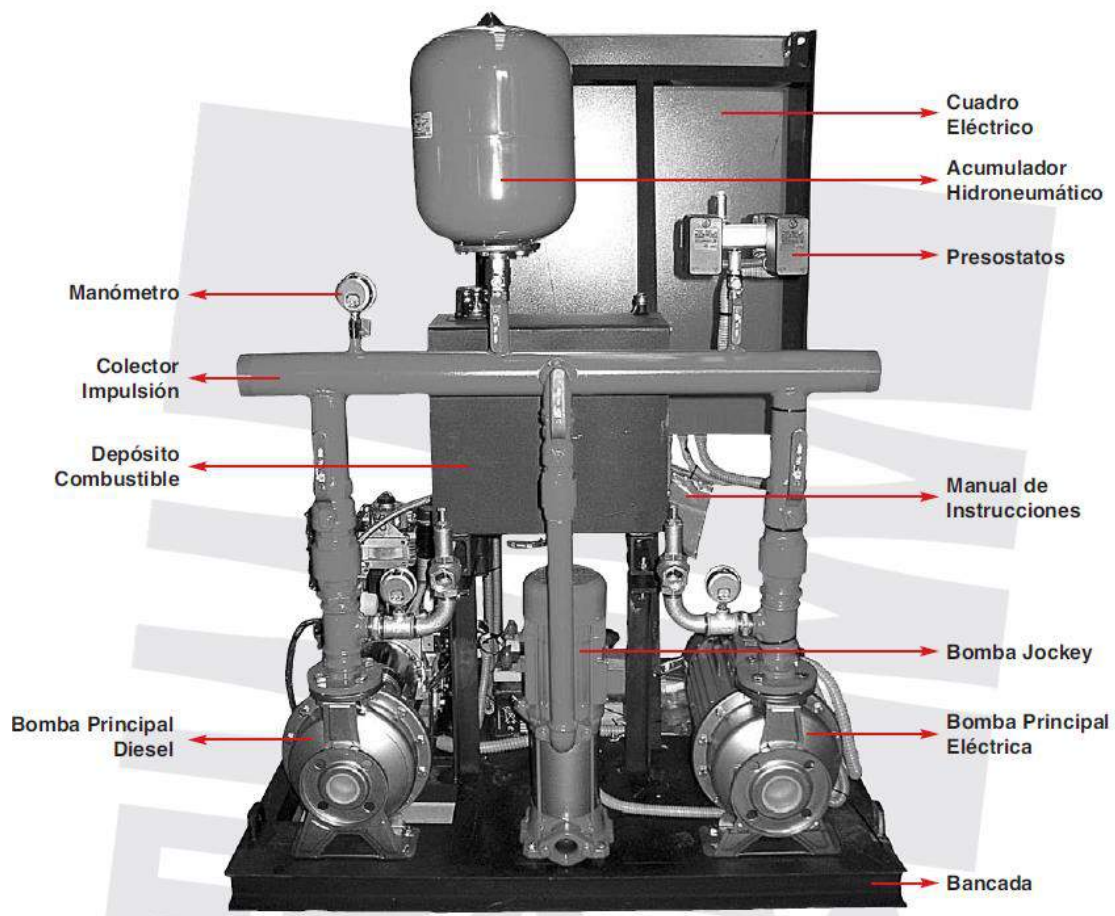


Figura 25.- Composición estándar de un grupo norma UNE-23-500-90.

La bomba Jockey mantiene constantemente presurizada la red, entre dos valores próximos, que son superiores a la presión de arranque de la bomba principal, compensando a su vez las posibles fugas en la instalación.

En caso de incendio, al abrirse cualquier punto de la red, como hidrantes, lanzas, sprinklers, etc., la presión disminuye, con lo cual se pone en marcha la bomba principal que solo se podrá parar manualmente.

El grupo de presión seleccionado es el AF-PQ 125-315/132.

Las características a continuación:

GRUPO CONTRA INCENDIOS SEGÚN NORMA UNE 23-500-90

DIMENSIONES GRUPO ELÉCTRICA + DIESEL + JOCKEY

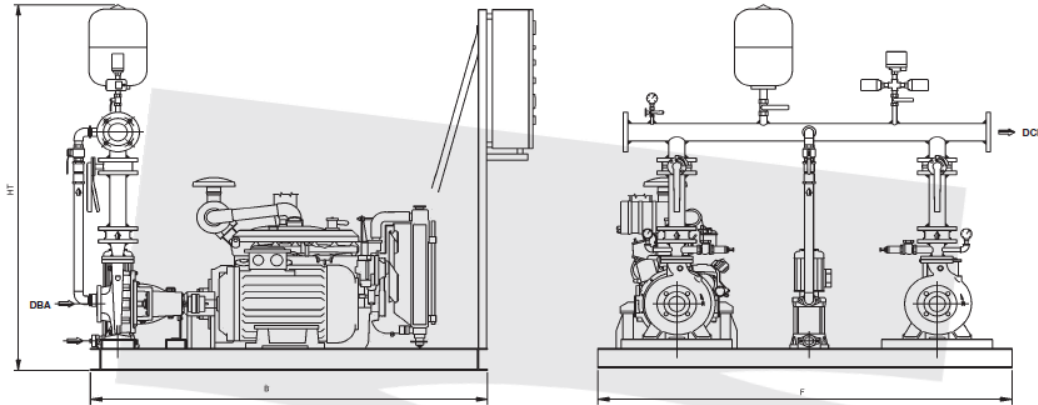


TABLA DE DIMENSIONES

| Bomba Principal | Pot. kW | Tipo Diesel | Pot. kW | Bomba Jockey | Pot. kW | Dimensiones (mm) | | | | |
|-----------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|------------------|--------|------|------|------|
| | | | | | | DBA | DCI | F | B | HT |
| ENR 32-200 | 5,5 | RY110 | 6,3 | CVM A/12 | 0,9 | 50 | 2" | 1400 | 1100 | 1550 |
| ENR 32-200 | 7,5 | M 600 | 8 | CVM A/15 | 1,1 | 50 | 2" | 1400 | 1100 | 1550 |
| ENR 32-200 | 11 | RD 210 | 13,6 | CVM A/15 | 1,1 | 50 | 2" | 1400 | 1200 | 1570 |
| ENR 32-250 | 7,5 | M 600 | 8 | CVM A/15 | 1,1 | 50 | 2" | 1400 | 1100 | 1615 |
| ENR 32-250 | 11 | RD 210 | 13,6 | CVM B/25 | 1,85 | 50 | 2" | 1400 | 1200 | 1635 |
| ENR 32-250 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM B/25 | 1,85 | 50 | 2" | 1400 | 1200 | 1635 |
| ENR 40-200 | 5,5 | RY110 | 6,3 | CVM A/10 | 0,75 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1100 | 1630 |
| ENR 40-200 | 7,5 | M 600 | 8 | CVM A/10 | 0,75 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1100 | 1630 |
| ENR 40-200 | 11 | RD 210 | 13,6 | CVM A/12 | 0,9 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1200 | 1650 |
| ENR 40-200 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM A/15 | 1,1 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1200 | 1650 |
| ENR 40-250 | 11 | RD 210 | 13,6 | CVM A/15 | 1,1 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1200 | 1715 |
| ENR 40-250 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM B/25 | 1,85 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1200 | 1715 |
| ENR 40-250 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | CVM B/25 | 1,85 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1300 | 1715 |
| ENR 40-315 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 2 1/2" | 1400 | 1400 | 1785 |
| ENR 40-315 | 22 | SP 420 | 26,8 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 2 1/2" | 1640 | 1500 | 1785 |
| ENR 40-315 | 30 | LDW2204 | 31,6 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 2 1/2" | 1740 | 1500 | 1805 |
| ENR 40-315 | 37 | 8031 140 | 48 | EVMG 1014 | 5,5 | 65 | 2 1/2" | 1740 | 1600 | 1805 |
| ENR 50-200 | 11 | RD 210 | 13,6 | CVM A/10 | 0,75 | 65 | 3" | 1400 | 1200 | 1735 |
| ENR 50-200 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM A/12 | 0,9 | 65 | 3" | 1400 | 1200 | 1735 |
| ENR 50-200 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | CVM A/15 | 1,1 | 65 | 3" | 1400 | 1300 | 1735 |
| ENR 50-250 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM A/15 | 1,1 | 65 | 3" | 1400 | 1200 | 1780 |
| ENR 50-250 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | CVM A/15 | 1,1 | 65 | 3" | 1400 | 1300 | 1780 |
| ENR 50-250 | 22 | SP 420 | 26,8 | CVM B/23 | 1,7 | 65 | 3" | 1640 | 1400 | 1780 |
| ENR 50-250 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM B/25 | 1,85 | 65 | 3" | 1740 | 1400 | 1820 |
| ENR 50-315 | 30 | LDW2204 | 31,6 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 100 | 1740 | 1500 | 1975 |
| ENR 50-315 | 37 | 8031 140 | 48 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 100 | 1740 | 1600 | 1975 |
| ENR 50-315 | 45 | 8031 140 | 48 | MXVE 125/10 | 4 | 65 | 100 | 1740 | 1600 | 1975 |
| ENR 50-315 | 55 | D229,4 | 63 | EVMG 1014 | 5,5 | 65 | 100 | 1840 | 2000 | 2020 |
| ENR 50-315 | 75 | D229,6 | 95 | EVMG 1014 | 5,5 | 65 | 100 | 1840 | 2300 | 2050 |
| ENR 65-200 | 15 | RD 290 | 17,6 | CVM A/10 | 0,75 | 80 | 125 | 1400 | 1200 | 1880 |
| ENR 65-200 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | CVM A/12 | 0,9 | 80 | 125 | 1400 | 1300 | 1880 |
| ENR 65-200 | 22 | SP 420 | 26,8 | CVM A/15 | 1,1 | 80 | 125 | 1640 | 1400 | 1880 |
| ENR 65-200 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM A/15 | 1,1 | 80 | 125 | 1740 | 1400 | 1920 |
| ENR 65-250 | 22 | SP 420 | 26,8 | CVM A/15 | 1,1 | 80 | 125 | 1640 | 1500 | 1925 |
| ENR 65-250 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM A/15 | 1,1 | 80 | 125 | 1740 | 1500 | 1945 |
| ENR 65-250 | 37 | 8031 140 | 48 | CVM B/25 | 1,85 | 80 | 125 | 1740 | 1600 | 1945 |
| ENR 65-250 | 45 | 8031 140 | 48 | CVM B/25 | 1,85 | 80 | 125 | 1740 | 1600 | 1970 |
| ENR 65-315 | 45 | 8031 140 | 48 | MXVE 125/10 | 4 | 80 | 125 | 1740 | 1600 | 2000 |
| ENR 65-315 | 55 | D229,4 | 63 | MXVE 125/10 | 4 | 80 | 125 | 1840 | 2000 | 2045 |
| ENR 65-315 | 75 | D229,6 | 95 | EVMG 1014 | 5,5 | 80 | 125 | 1840 | 2300 | 2075 |
| ENR 65-315 | 90 | D229,6 | 95 | EVMG 1014 | 5,5 | 80 | 125 | 1840 | 2300 | 2075 |
| ENR 80-200 | 18,5 | MD 350 | 21,2 | CVM A/12 | 0,9 | 100 | 150 | 1400 | 1400 | 2000 |
| ENR 80-200 | 22 | SP 420 | 26,8 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1640 | 1500 | 2000 |
| ENR 80-200 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1740 | 1500 | 2020 |
| ENR 80-200 | 37 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1740 | 1600 | 2020 |
| ENR 80-200 | 45 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1740 | 1600 | 2045 |
| ENR 80-250 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1740 | 1500 | 2050 |
| ENR 80-250 | 37 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 100 | 150 | 1740 | 1600 | 2050 |
| ENR 80-250 | 45 | 8031 140 | 48 | CVM B/25 | 1,85 | 100 | 150 | 1740 | 1600 | 2075 |
| ENR 80-250 | 55 | D229,4 | 63 | CVM B/25 | 1,85 | 100 | 150 | 1840 | 2000 | 2120 |
| ENR 80-250 | 75 | D229,6 | 95 | CVM B/25 | 1,85 | 100 | 150 | 1840 | 2300 | 2120 |
| ENR 80-315 | 55 | D229,4 | 63 | MXVE 125/10 | 4 | 100 | 150 | 1840 | 2000 | 2155 |
| ENR 80-315 | 75 | D229,6 | 95 | MXVE 125/10 | 4 | 100 | 150 | 1840 | 2300 | 2185 |
| ENR 80-315 | 90 | D229,6 | 95 | EVMG 1014 | 5,5 | 100 | 150 | 1840 | 2300 | 2185 |
| ENR 100-200 | 30 | LDW2204 | 31,6 | CVM A/12 | 0,9 | 125 | 200 | 1740 | 1500 | 2260 |
| ENR 100-200 | 37 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 125 | 200 | 1740 | 1600 | 2280 |
| ENR 100-200 | 45 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 125 | 200 | 1740 | 1600 | 2285 |
| ENR 100-250 | 45 | 8031 140 | 48 | CVM A/15 | 1,1 | 125 | 200 | 1740 | 1600 | 2285 |
| ENR 100-250 | 55 | D229,4 | 63 | CVM B/23 | 1,7 | 125 | 200 | 1840 | 2000 | 2330 |
| ENR 100-250 | 75 | D229,6 | 95 | CVM B/25 | 1,85 | 125 | 200 | 1840 | 2300 | 2330 |
| ENR 100-250 | 90 | D229,6 | 95 | CVM B/25 | 1,85 | 125 | 200 | 1840 | 2300 | 2330 |
| ENR 100-250 | 110 | T229 6EC | 125 | MXVE 125/10 | 4 | 125 | 200 | 1840 | 2300 | 2330 |
| ENR 100-315 | 90 | D229,6 | 95 | MXVE 125/10 | 4 | 125 | 200 | 1840 | 2300 | 2265 |
| ENR 125-200 | 55 | D229,4 | 63 | CVM A/12 | 0,9 | 150 | 200 | 1840 | 2000 | 2365 |
| ENR 125-200 | 75 | D229,6 | 95 | CVM A/15 | 1,1 | 150 | 200 | 1840 | 2300 | 2395 |
| ENR 125-200 | 90 | D229,6 | 95 | CVM A/15 | 1,1 | 150 | 200 | 1840 | 2300 | 2395 |
| ENR 125-250 | 55 | D229,4 | 63 | CVM A/15 | 1,1 | 150 | 200 | 1840 | 2000 | 2405 |
| ENR 125-250 | 75 | D229,6 | 95 | CVM B/23 | 1,7 | 150 | 200 | 1840 | 2300 | 2435 |
| ENR 125-250 | 90 | D229,6 | 95 | CVM B/23 | 1,7 | 150 | 200 | 1840 | 2300 | 2435 |
| PQ 125-250 | 75 | D229,6 | 95 | CVM B/23 | 1,7 | 150 | 250 | 2060 | 2400 | 2515 |
| PQ 125-250 | 90 | D229,6 | 95 | CVM B/25 | 1,85 | 150 | 250 | 2060 | 2400 | 2385 |
| PQ 125-250 | 110 | T229 6EC | 125 | CVM B/25 | 1,85 | 150 | 250 | 2060 | 2400 | 2420 |
| PQ 125-250 | 132 | 6,10T | 146 | MXVE 125/10 | 4 | 150 | 250 | 2060 | 2400 | 2420 |
| PQ 125-315 | 132 | 6,10T | 146 | MXVE 125/10 | 4 | 150 | 250 | 2060 | 2400 | 2420 |

(DBA: Diámetro Boca de Aspiración - DCI: Diámetro Colector de Impulsión)

EBARA se reserva el derecho de introducir modificaciones sin previo aviso

Tabla 27.-.Características grupo contra incendios.

El grupo escogido es AF PQ 125-315/132 EDJ

La información sobre las bombas se ha extraído de un catálogo de grupos contraincendio Ebara.

5.5. Extintores de incendio

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales.

Nota: en las zonas de los almacenamientos operados automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas, podrá justificarse la no instalación de extintores

El agente extintor utilizado será seleccionado de acuerdo con la tabla I-1 del apéndice 1 del Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre.

| AGENTE EXTINTOR | CLASES FUEGO (UNE EN 2:1994) | | | |
|---------------------------|------------------------------|---------------|------------|-------------------------|
| | A Sólidos | B Líquidos | C Gases | D Metales especiales |
| Agua pulverizada | xxx ⁽²⁾ | x | | |
| Agua a chorro | xx ⁽²⁾ | | | |
| Polvo BC (Convencional) | | xxx | xx | |
| Polvo ABC (Polivalente) | xx | xx | xx | |
| Polvo específico metales | | | | xx |
| Espuma física | xx ⁽²⁾ | xx | | |
| Anhídrido carbónico | x ⁽¹⁾ | x | | |
| Hidrocarburos halogenados | x ⁽¹⁾ | xx | | |
| Siendo: | | | | |
| xxx Muy adecuado | | | | |
| xx Adecuado | | | | |
| x Aceptable | | | | |

⁽¹⁾ En fuegos poco profundos puede asignarse xx

⁽²⁾ En presencia de tensión eléctrica no son aceptables como agentes extintores el agua a chorro ni la espuma

Tabla 28.-Agentes extintores y su adecuación a distintas fases de fuego.

Cuando en el sector de incendio coexistan combustibles de la clase A y de la clase B, se considerará que la clase de fuego del sector de incendio es A o B cuando la carga de fuego aportada por los combustibles de clase A o de clase B, respectivamente, sea, al menos, el 90 por ciento de la carga de fuego del sector.

En otro caso, la clase de fuego del sector de incendio se considerará A-B.

Si la clase de fuego del sector de incendio es A o B, se determinará la dotación de extintores del sector de incendio de acuerdo con la tabla 92 o con la tabla 30, respectivamente.

Si la clase de fuego del sector de incendio es A-B, se determinará la dotación de extintores del sector de incendio sumando los necesarios para cada clase de fuego (A y B), evaluados independientemente, según la tabla 29 y la tabla 30, respectivamente.

Cuando en el sector de incendio existan combustibles de clase C que puedan aportar una carga de fuego que sea, al menos, el 90 por ciento de la carga de fuego del sector, se determinará la dotación de extintores de acuerdo con la reglamentación sectorial específica que les afecte. En otro caso, no se incrementará la dotación de extintores si los necesarios por la presencia de otros combustibles (A y/o B) son aptos para fuegos de clase C.

Cuando en el sector de incendio existan combustibles de clase D, se utilizarán agentes extintores de características específicas adecuadas a la naturaleza del combustible, que podrán proyectarse sobre el fuego con extintores, o medios manuales, de acuerdo con la situación y las recomendaciones particulares del fabricante del agente extintor.

DETERMINACIÓN DE LA DOTACIÓN DE EXTINTORES PORTÁTILES EN SECTORES DE INCENDIO CON CARGA DE FUEGO APORTADA POR COMBUSTIBLES DE CLASE A

| GRADO DE RIESGO INTRINSECO DEL SECTOR DE INCENDIO | EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR | ÁREA MÁXIMA PROTEGIDA DEL SECTOR DE INCENDIO |
|---|------------------------------|--|
| BAJO | 21 A | Hasta 600 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso) |
| MEDIO | 21 A | Hasta 400 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso) |
| ALTO | 34 A | Hasta 300 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso) |

Tabla 29.-Dotación de extintores portátiles, combustibles tipo A.

DETERMINACIÓN DE LA DOTACIÓN DE EXTINTORES PORTÁTILES EN SECTORES DE INCENDIO CON CARGA DE FUEGO APORTADA POR COMBUSTIBLES DE CLASE B

| VOLUMEN MÁXIMO, V (1), DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN EL SECTOR DE INCENDIO (1) (2) | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| V ≤ 20 | | | | |
| 20 < V ≤ 50 | | | | |
| 50 < V ≤ 100 | | | | |
| 100 < V ≤ 200 | | | | |
| EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR | 113 B | 113 B | 144 B | 233 B |

Tabla 30.-Dotación de extintores portátiles, combustibles tipo B.

NOTAS:

(1) Cuando más del 50 por ciento del volumen de los combustibles líquidos, V, esté contenido en recipientes metálicos perfectamente cerrados, la eficacia mínima del extintor puede reducirse a la inmediatamente anterior de la clase B, según la Norma UNE-EN 3-7.

(2) Cuando el volumen de combustibles líquidos en el sector de incendio, V, supere los 200 l, se incrementará la dotación de extintores portátiles con extintores móviles sobre ruedas, de 50 kg de polvo BC, o ABC, a razón de:

Un extintor, si: $200 \text{ l} < V \leq 750 \text{ l}$.

Dos extintores, si: $750 \text{ l} < V \leq 2000 \text{ l}$.

Si el volumen de combustibles de clase B supera los 2000 l, se determinará la protección del sector de incendio de acuerdo con la reglamentación sectorial específica que lo afecte.

No se permite el empleo de agentes extintores conductores de la electricidad sobre fuegos que se desarrollan en presencia de aparatos, cuadros, conductores y otros elementos bajo tensión eléctrica superior a 24 V. La protección de estos se realizará con extintores de dióxido de carbono, o polvo seco BC o ABC, cuya carga se determinará según el tamaño del objeto protegido con un valor mínimo de cinco kg de dióxido de carbono y seis kg de polvo seco BC o ABC.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

Se instalarán extintores portátiles en todas las áreas de incendio de los establecimientos industriales (de tipo D y tipo E), excepto en las áreas cuyo nivel de riesgo intrínseco sea bajo 1.

La dotación estará de acuerdo con lo establecido en los apartados anteriores, excepto el recorrido máximo hasta uno de ellos, que podrá ampliarse a 25 m.

Los extintores de incendio, sus características y especificaciones se ajustarán al “Reglamento de Aparatos a Presión” y a su instrucción técnica complementaria MIE-AP5.

Asimismo los recipientes de los extintores de incendio deberán cumplir con los requisitos esenciales de seguridad de la Directiva 97/23/CEE “Equipos a presión” transpuesta a través del Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo.

4. Curvas de destilación ASTM-1160 del aceite usado y de las bases SN-80, SN-150 y SN-350.

| % Destilado (Volumen) | T (°C) |
|-----------------------|--------|
| 1,0 | 99,7 |
| 2,0 | 127,8 |
| 3,0 | 150,7 |
| 4,0 | 168,2 |
| 5,0 | 177,8 |
| 7,0 | 195,5 |
| 9,0 | 202,4 |
| 10,0 | 206,6 |
| 15,0 | 216,4 |
| 20,0 | 223,2 |
| 25,0 | 227,7 |
| 30,0 | 231,3 |
| 35,0 | 235,3 |
| 40,0 | 238,8 |
| 45,0 | 243,1 |
| 50,0 | 247,6 |
| 55,0 | 254,1 |
| 60,0 | 259,9 |
| 65,0 | 269,4 |
| 70,0 | 280,1 |
| 72,0 | 284,9 |
| 73,0 | 287,5 |
| 74,0 | 291,6 |
| 75,0 | 294,6 |
| 76,0 | 297,2 |
| 77,0 | 299,4 |
| 78,0 | 303,1 |
| 79,0 | 306,2 |
| 80,0 | 310,8 |
| 81,0 | 315,6 |
| 82,0 | 321,2 |
| 83,0 | 328,0 |

Tabla 31.-Curva de destilación ASTM-1160 del aceite usado

| % Destilado (Volumen) | T (°C) |
|--------------------------|--------|
| 2,5 | 122,3 |
| 5,0 | 123,1 |
| 7,5 | 129,4 |
| 10,0 | 141,6 |
| 15,0 | 146,0 |
| 20,0 | 152,4 |
| 25,0 | 158,1 |
| 30,0 | 160,1 |
| 35,0 | 164,5 |
| 40,0 | 168,8 |
| 45,0 | 171,9 |
| 50,0 | 174,3 |
| 55,0 | 175,3 |
| 60,0 | 177,5 |
| 65,0 | 180,3 |
| 70,0 | 181,8 |
| 75,0 | 183,9 |
| 80,0 | 185,3 |
| 85,0 | 186,7 |
| 90,0 | 188,6 |
| 95,0 | 190,0 |

Tabla 32.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-80

| % Destilado (Volumen) | T (°C) |
|--------------------------|--------|
| 2,5 | 213,7 |
| 5,0 | 215,4 |
| 7,5 | 217,0 |
| 10,0 | 217,9 |
| 15,0 | 219,6 |
| 20,0 | 221,4 |
| 25,0 | 222,7 |
| 30,0 | 224,1 |
| 35,0 | 225,3 |
| 40,0 | 226,7 |
| 45,0 | 228,3 |
| 50,0 | 229,8 |
| 55,0 | 231,7 |
| 60,0 | 233,5 |
| 65,0 | 235,2 |
| 70,0 | 237,1 |
| 75,0 | 238,5 |
| 80,0 | 240,5 |
| 85,0 | 242,3 |
| 90,0 | 244,4 |
| 95,0 | 247,6 |

Tabla 33.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-150

| % Destilado (Volumen) | T (°C) |
|--------------------------|--------|
| 2,5 | 249,4 |
| 5,0 | 250,9 |
| 7,5 | 251,8 |
| 10,0 | 252,4 |
| 15,0 | 253,3 |
| 20,0 | 255,4 |
| 25,0 | 257,3 |
| 30,0 | 258,5 |
| 35,0 | 260,4 |
| 40,0 | 262,8 |
| 45,0 | 265,0 |
| 50,0 | 267,3 |
| 55,0 | 270,0 |
| 60,0 | 271,8 |
| 65,0 | 273,8 |
| 70,0 | 275,8 |
| 75,0 | 277,9 |
| 80,0 | 280,0 |
| 85,0 | 281,9 |
| 90,0 | 284,2 |
| 95,0 | 293,9 |

Tabla 34.-Curva de destilación ASTM-1160 del SN-350

5. Estudio de viabilidad

1. Viabilidad técnica.

Un proceso de regeneración puede dividirse en cuatro fases:

Pretratamiento

Esta primera fase consiste en eliminar de forma grosera una parte importante de los contaminantes del aceite usado como son el agua, los hidrocarburos ligeros, los lodos, las partículas gruesas, etc.

La humedad siempre está presente, los hidrocarburos están debido a las fugas desde el motor y por el deterioro de los componentes del aceite, estas sustancias se deben eliminar aprovechando las diferencias entre sus propiedades físicas y las del aceite

Limpieza, desasfaltado

Para eliminar el hollín y el polvo metálico proveniente del desgaste del motor así como los aditivos añadidos al lubricante y que con el uso se deterioran.

En esta fase hay que eliminar los aditivos, metales pesados y fangos asfálticos. Para ello cada tecnología tiene su procedimiento, es en esta parte donde se diferencian unas de otras, así, unas utilizan el método químico clásico de adición de ácido sulfúrico seguido de filtración con tierras o posterior decantación y neutralización, otros emplean otros procedimientos químicos como adición de sodio líquido y evaporación, extracción con disolventes, extracción con propano, y otros métodos físicos como destilación al vacío o ultrafiltración con membranas.

Fraccionamiento.

El fraccionamiento clasifica diferentes sustancias basándose en los diferentes puntos de ebullición de cada una. En esta fase se separan las bases.

Acabado.

Todas las técnicas empleadas en las etapas anteriores son capaces de obtener una base de aceite libre de contaminantes aunque con una fuerte coloración que lo hace inviable comercialmente, por esta razón se incluye una cuarta etapa de acabado.

Tecnologías de regeneración

Aparte de los procesos tradicionales como el ácido/arcilla, destilación o deasfaltado con solvente, que tienen como principal inconveniente que el producto obtenido no cumple con los niveles mínimos exigidos para reutilizar las bases obtenidas, los procesos a tener en cuenta para elegir el que más nos convenga para la planta serán los siguientes:

1. Evaporador de película fina (TFE) , con diferentes modos de acabado (con hidrógeno, con tierras o con extracción con solventes)
2. Extracción con solvente
3. Proceso térmico desasfaltante (TDA)

Voy a explicar brevemente en qué consisten cada una de las tecnologías:

- Proceso ácido arcilla
- Destilación
- Deasfaltado con solvente
- TFE con acabado de hidrogenación
- TFE con acabado de arcilla
- TFE con acabado de solvente

- Extracción con solvente y acabado de hidrogenación
- Tratamiento térmico

Proceso acido arcilla

Está obsoleto, la calidad de las bases de aceite obtenidas no llegan a los estándares exigidos.

El proceso consiste en desecar el aceite usado antes de añadir ácido sulfúrico para que los elementos a eliminar como los aditivos y los componentes sulfurados formen unos fangos que dejaremos decantar durante 16-48 horas; separaremos el aceite y el fango por sedimentación, quitaremos del aceite obtenido los geles, ácidos orgánicos y sustancias cerosas usando arcilla (arcilla para porcelana o silicato de aluminio) y corregiremos el color.

Destilación

Este proceso es para mejorar el efecto depurador usando una destilación al vacío previa al tratamiento de ácido arcilla, el resto del proceso es similar al anterior

Desasfaltado con solvente

Este proceso usa propano como solvente para separar los elementos a eliminar, como sustancias suspendidas, asfalto, componentes metálicos y resinas, que son insolubles en el propano desde el aceite usado, el esquema es similar al de los métodos anteriores, añadiendo los procesos de la extracción del solvente y la desorción del propano.

El solvente usado no está limitado al propano, algunos solventes orgánicos como alcohol propílico y etileno supercrítico se pueden usar como solventes en el proceso de extracción.

El propano arrastra al aceite y deja fuera las impurezas en un proceso de extracción líquido-líquido, para acabar el proceso es necesario el tratamiento con tierras para corregir la coloración.

TFE con acabado de hidrogenación

Este método usa un evaporador de película fina para separar las sustancias a eliminar del aceite y lo purifica con la hidrogenación.

El proceso consiste en quitar la humedad y los hidrocarburos ligeros del aceite usado, destilar al vacío y llevar a cabo la separación en el evaporador.

Finalmente el aceite se hidrogena para eliminar componentes de cloro, nitrógeno, oxígeno y sulfuros

TFE con acabado de arcilla

El método usa el TFE para separar elementos a eliminar y arcilla para purificar el aceite, la diferencia con el anterior está en que la hidrogenación se sustituye por el tratamiento con arcilla.

TFE con acabado de solvente

El método usa TFE para separar los elementos a eliminar y una extracción con solvente para el tratamiento final, el proceso es similar a los anteriores

Extracción con solvente y acabado con hidrogenación

Este método combina la extracción con solvente y la hidrogenación, usa el solvente para eliminar sustancias indeseadas y la hidrogenación para purificar el aceite.

Primero se elimina la humedad, después se extrae el aceite con el propano, a la mezcla de aceite y propano se le da un tratamiento de hidrogenación para eliminar los sulfuros, nitrógeno y oxígeno, finalmente se separa el propano de las bases.

Tratamiento térmico

Por un calentamiento en vacío a 360 C el WO desecado se divide en tres partes, que son fueloil, aceite base y residuos bituminosos.

El aceite base se somete a hidrotreatmento a alta presión o se trata con arcilla para su uso posterior

| Tecnología de regeneración | Necesidades energéticas | Tasa de reciclado (%) | Calidad del aceite regenerado | Nivel de equipamiento requerido | Coste operacional | Escala (kT/año) |
|---|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------|------------------------|
| Proceso Acido arcilla | Bajas | 63 | Malo | Bajo | Bajo | 2-10 |
| Destilado | Altas | 50 | Malo | Medio | Bajo | 25 |
| Desasfaltado con solvente | Altas | 65-70 | API I | Alto | Alto | 25 |
| TFE con acabado de hidrogenación | Altas | 72 | API II | Alto | Alto | 50-80 |
| TFE con acabado de arcilla | Altas | 72 | API II | Alto | Alto | 100 |
| TFE con acabado de solvente | Altas | 72 | API II | Alto | Alto | 100 |
| Extracción con solvente y acabado con hidrogenación | Altas | 74 | API II | Alto | Alto | 60 |
| Tratamiento térmico | Altas | 74-77 | API II | Alto | Alto | 100-180 |

Tabla 35.-Comparación entre distintas tecnologías a nivel económico y operacional

Como podemos observar, los métodos más antiguos no proporcionan un producto con la calidad suficiente para volver a utilizarlo como componente de base en aceites lubricantes.

Las tecnologías actuales de re-refinado convergen en un procedimiento de dos pasos:

- (a) separación de las bases y los contaminantes mediante una destilación en vacío y
- (b) terminación de las bases mediante hidrogenación.

En este esquema el primer paso presenta problemas de ensuciamiento tanto en el equipo de calentamiento como en el de destilación y problemas de cracking que ocasionan que las bases obtenidas sean de poca calidad.

Para evitar estos problemas se ha propuesto el uso de evaporadores de película fina pero la inversión y los costos de operación de estos equipos es muy elevada, sólo son competitivos para producciones mayores de 60000 Tm/año. Obviamente esto hace que la cuestión logística se convierta en otro problema a considerar.

Por otra parte la supresión de la hidrogenación catalítica es un factor deseable debido al alto coste de esta operación.

Considerando todos estos factores se impone la búsqueda de variaciones del esquema marcado anteriormente, la inclusión de una etapa anterior a la destilación a vacío que evite los problemas de suciedad, de cracking y elimine la necesidad del paso de hidrogenación catalítica.

En principio la extracción con propano cumple con todos estos requisitos, la base de este método es la extracción selectiva de las bases de aceite del aceite usado.

El proceso de extracción es parecido al usado en el refinado de crudo para separar los asfaltenos y producir bases de aceite.

El uso de propano para regenerar el aceite usado lo propuso el Institut Francais du Petrole, para mejorar la eficiencia de la tecnología ácido-arcilla, que se había quedado obsoleta por cuestiones técnicas, económicas y medioambientales.

Las condiciones óptimas de proceso son: $T=90\text{ C}$ y $P= 30\text{ kg/cm}^2$, la destilación a vacío de aceites extraídos en estas condiciones proporciona aceites con unas características físico-químicas similares a las de las bases de aceite virgen.

2. Viabilidad económica

La opción de la regeneración se justifica, aparte de por factores medioambientales, por cuestiones económicas:

1. Las bases procedentes de la regeneración cumplen los estándares de calidad exigidos a aceites de primer refino.
2. Comparativamente, el proceso de regeneración es más económico porque para obtener dos litros de aceite base siguiendo el método tradicional se necesitan 100 litros de petróleo y para obtener la misma cantidad de aceite base el proceso de regeneración necesita tres litros de aceite usado
3. Hay otro factor determinante y es que el aceite usado se puede regenerar indefinidamente.
4. El precio de venta es un 20% más barato que el de primer refino

El precio de las bases de aceite se muestra en el siguiente gráfico, en 2011 venía a estar en torno a 4.5\$ por galón, haciendo la oportuna conversión y teniendo en cuenta una densidad de 900 kg/m^3 el precio de la tonelada de bases está en torno a 1000\$, la depreciación de las bases regeneradas está en torno al 20%, el precio final es aproximadamente de 650 euros/t

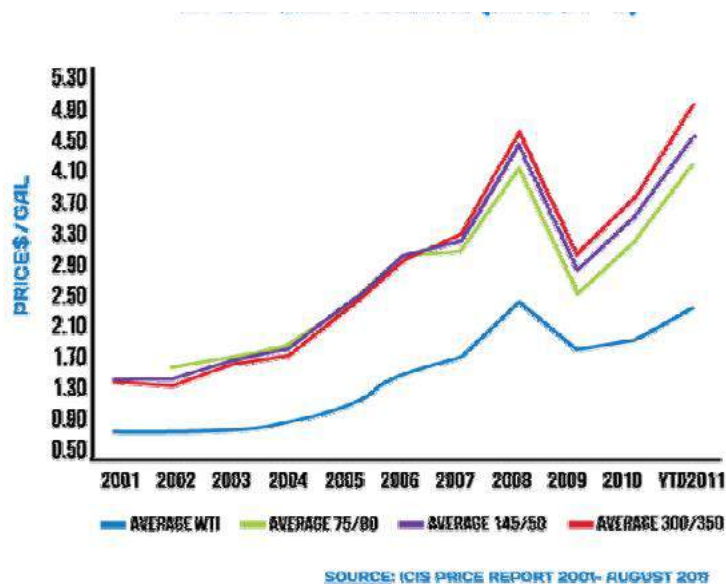


Figura 28.-Evolución del precio de la bases de aceite.

La valorización energética es un procedimiento en el que se eliminan los metales pesados y otros elementos del residuo y se separan la parte acuosa de la oleosa para el

uso de esta última como combustible, útil en muchos tipos de instalaciones industriales de fabricación de otros productos o de producción de energía eléctrica.

La valorización energética se realiza en su mayor parte en las cementeras, en los hornos de las plantas de fabricación de cemento se requieren altas temperaturas para transformar las materias primas en cemento. Estas materias primas son altamente alcalinas. Por tanto, estos hornos tienen condiciones ideales para la recuperación energética de los aceites usados en condiciones respetuosas con el medio ambiente. Elementos contaminantes como hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos clorados y metales pesados se destruyen en las plantas de producción de cemento. De las experiencias existentes en la actualidad se deduce que cuando se utilizan aceites usados como sustitutos de combustibles convencionales, no se aprecian incrementos significativos en cuanto a emisiones de partículas en la atmósfera, en particular de compuestos orgánicos, dioxinas, furanos y otros.

La alcalinidad de las materias primas neutraliza compuestos como óxidos de azufre y de nitrógeno, cloruros de hidrógeno, y por tanto reducen las emisiones en la atmósfera de estos gases.

Según SIGAUS, con el aceite valorizado energéticamente (41898 Tm), se pueden generar 470 GWh de energía eléctrica, haciendo el cálculo considerando el precio de la electricidad 13c€/KWh, obtendríamos un valor de la tonelada de aceite valorizado energéticamente de aproximadamente 1500€, lo cual nos lleva a pensar en que deberán ser los condicionantes legales y ambientales los que determinen la opción de la regeneración.

Hay que tener en cuenta, además, la recogida y transporte de los aceites y sus posibles aplicaciones según distintas tecnologías.

En general, la experiencia muestra que la recogida y transporte de aceites usados resulta poco rentable económicamente. Se debe tener en cuenta que la producción se caracteriza por estar muy diseminada y con bajos volúmenes a recoger. Para que la recogida y transporte sean eficientes¹, debe existir un sistema de ayudas, subvenciones o reducción de impuestos, ya sea de forma directa o indirecta, que ayuden a equilibrar las cuentas de explotación de las compañías que se dedican a la recogida y transporte. Para el posterior tratamiento de los aceites usados, es importante su separación en función de las calidades, lo que implica un mayor coste añadido al sistema de recogida.

Por lo que se refiere a la viabilidad económica en cuanto a las plantas de refino que utilizan tecnologías de aprovechamiento y reciclaje de los aceites usados, se deben tener en cuenta aspectos relacionados con los ingresos por venta de productos y costes que la obtención de estos productos conllevan.

En cuanto a los ingresos por venta de productos procedentes de plantas de tratamiento, hay que comentar que éstos pueden variar de forma significativa en función de varios condicionantes, entre ellos, el precio del petróleo

Así, por ejemplo, si el precio del crudo es alto, el precio del aceite usado también puede aumentar, ya que las industrias que utilizan el aceite para producción de calor están dispuestas a pagar más por dicho aceite. Este aumento de precio conlleva que las industrias que se dedican al reciclaje/re-refino de aceite usado también tengan que pagar más para su aplicación como materia prima, lo que conlleva el consiguiente aumento de costes de las materias primas.

Por otro lado, y en la misma situación de precio del crudo alto, los aceites de base producidos según las tecnologías anteriormente mencionadas, pueden aumentar su valor por el hecho de que los aceites de base de primer refino tendrán precios mayores.

En sentido inverso, cuando el precio del crudo es bajo, la viabilidad económica se ve altamente comprometida por el hecho de que se sigue dando el aprovechamiento para producción de calor, a un menor coste, y en el caso de aplicar los aceites usados para la producción de aceites de base re-refinados, el precio de las bases de re-refino es bajo al entrar en competencia con las bases de primer refino.

El precio de venta de los aceites usados sin tratar, así como el de los aceites usados una vez sometidos a tratamiento, se ve influenciado por los siguientes aspectos:

- Demanda de industrias cementeras.
- Demanda de las plantas de re-refino y otros tratamientos.
- Calidad del aceite recolectado y demanda para cada calidad.
- El precio de los demás combustibles.

De lo manifestado anteriormente se desprende que la viabilidad económica del sector depende mucho de las condiciones del mercado, aunque incluso en condiciones favorables dicha viabilidad resulta compleja. Por este motivo, a nivel de los distintos

países se procede mediante ayudas y subvenciones para estimular el desarrollo del sector.

3. Estudio de mercado

Según SIGAUS, en su resumen de actividad de 2011, el aceite puesto en el mercado tuvo un mínimo histórico y se situó en 302265 Tm, las autoridades ambientales estiman una generación de aceite usado que está entre el 40% y 44% respecto al aceite industrial puesto en el mercado, SIGAUS recogió 134452 Tm, alcanzando el objetivo de recoger el 95% del aceite usado generado

Por comunidades autónomas fueron Cataluña y Andalucía las que más aceite usado recogieron, (20000 Tm), la comunidad valenciana fue tercera (14100 Tm), uno de los pocos territorios donde se recogió más que el año anterior.

En la comunidad de Madrid se gestionaron 11300 Tm, cifra importante pero no acorde a su segundo lugar como comunidad en la que más aceites lubricantes se declararon como puestos en el mercado, sin duda por el efecto de la distribución desde la capital. (Las declaraciones se realizan respecto a la primera transacción comercial del aceite lubricante, no en relación a su lugar de consumo final).

De las 134452 Tm recogidas fueron aptas para la regeneración 132033, de estas, se regeneraron 91134 Tm (el 69.02% de los aceites usados recogidos y regenerables) y se valorizaron energéticamente 40898 Tm.

Actualmente hay cinco plantas en España, pertenecientes a dos empresas diferentes, cuatro pertenecer a Urbaser y una a Cator:

| Planta | Capacidad | Producción | Subproductos |
|-------------|-----------|------------|--------------|
| Fuenlabrada | 40000 | 28000 | 8000 |
| Huelva | 38000 | 27000 | 7000 |
| Cartagena | 38000 | 27000 | 7000 |
| Alfaro | 38000 | 27000 | 7000 |
| Tarragona | 42000 | 30000 | 8000 |
| Total | 196000 | 139000 | 37000 |

Tabla 36.-Plantas de regeneración de aceites industriales usados en España

4. Tamaño y localización.

La planta estará ubicada en la provincia de Cádiz, en el polígono industrial Rio San Pedro, la producción será menor (25k), para adaptarse a la tendencia actual de la demanda



Figura 29.-Localización

La parcela tiene 200m de lado y es aproximadamente cuadrada, se ha elegido esta ubicación por la buena comunicación tanto por tierra, (está a escasos 2 km de la autopista A-4), como marítima, (el puerto de Cádiz) y por las ayudas que presumiblemente se obtendrán por la activación industrial en una zona deprimida como es la bahía de Cádiz.

El tamaño se explica a partir del poco margen capacidad productiva/aceite usado producido, actualmente, de hecho, hay más capacidad de producción que aceite disponible, este ratio es mayor que 1 actualmente, es por eso que el método elegido ha sido tanto por cuestiones ambientales como por la rentabilidad a partir de producciones bajas.

5. Gastos e ingresos

Primero voy a calcular cuál es el coste de producción por tonelada de aceite base:

| | Consumo | kWh | kWh/Tm | €/Tm |
|----------------------|---------|---------|--------|-------|
| Bombeo | 12 | 103680 | 4.147 | 0.572 |
| Compresores | 423 | 3654720 | 146.18 | 20.17 |
| Instalaciones | 50 | 432000 | 17.3 | 2.38 |
| Combustible | 500 | 4320000 | 172.8 | 7.133 |

Tabla 37.-Coste energético por tonelada

Supongo el precio del kWh: 0.13€/kWh, el combustible lo mido con 0.048 €/termia

| | Precio (€/Tm) |
|--------------------------|---------------|
| Energía eléctrica | 23.15 |
| Gas natural | 7.133 |
| Propano | 3.6 |
| Reactivos | 10 |
| Total | 43.88 |

Tabla 38.-Costes de producción del proceso

Para el proceso productivo descrito estimo necesarias diez personas (seis operarios, un contable/financiero, un gerente y dos mantenedores), a razón de 30k €/año por término medio supone un gasto en personal de 300000€/año, esto es, 12€/Tm como gastos de personal.

Habría que añadir la mano de obra indirecta, 20% de la anterior, 3€/Tm, mantenimiento (4% capital inmovilizado 19.11 €/Tm) y suministros (0.5% CI 2.4€/Tm).

El total de costes de producción será de 80.4 €/Tm.

A esta cantidad habría que añadirle el precio de compra de la materia prima, este precio está sujeto a fluctuaciones continuas y además, dependiendo de la procedencia (el propio SIGAUS o comprado en el exterior) puede variar bastante, asumiré el valor de 300€/Tm con lo cual los gastos de producción están en 380.4€/Tm.

El precio de venta, estimado en el cálculo de viabilidad económica, es de 650 €/Tm.

6. Cálculos financieros

Voy a calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR) a partir de los siguientes datos y supuestos:

El estudio se hará con una previsión de 10 años, la inversión inicial, establecida en el presupuesto, será de 10.9 M€, los fondos propios se asumen como el 20% de esta cantidad

| | €/Tm | M€ |
|--------------------------------------|-------|--------|
| Precio de venta (€/Tm) | 650 | 12.025 |
| A. Coste energía (€/Tm) | 43.88 | 1.097 |
| B. Coste materia prima (€/Tm) | 330 | 8.25 |
| (A+B). Costes variables | | 9.347 |
| Personal, costes fijos (€/Tm) | 36 | 0.9 |
| Licencias, contratos de obra | | 0.366 |
| Rendimiento | | 0.74 |
| Inversión inicial | | 10.9 |

Tabla 39.-Datos iniciales para cálculo de rentabilidad

| RENABILIDAD DEL PROYECTO - CÁLCULO VALOR ACTUAL NETO - TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | | | | | |
|--|------|--------------|------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | SUM |
| Ingresos | | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 120.3 |
| Costes Variables | | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 86.0 |
| Costes Fijos | | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 9.0 |
| Gastos Gries (seguros+otros) | | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 3.6 |
| Prestamo (devolución principal) | | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | | | | | | 8.7 |
| Préstamo (pago intereses) | | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | | | | | | 2.1 |
| Beneficios antes de impuestos | -2.2 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 8.7 |
| Impuestos | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.6 |
| Flujo de caja | -2.2 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 8.0 |
| Flujo de Caja Descontado | -2.2 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 4.7 |
| Cálculo Tasa Interna Retorno | -2.2 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.0 |
| Amortización | | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 6.5 |
| Base Liquidable del Impuesto | -2.2 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Compensación años anteriores | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 0.9 | 0.0 | |
| Base Negativa Acumulada | -2.2 | -3.1 | -3.9 | -4.5 | -5.1 | -5.4 | -3.9 | -2.4 | -0.9 | 0.0 | 0.0 | |
| Base Real del Impuesto | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.5 | |
| Datos de partida | | | | | | | | | | | | |
| Inversión M€ | 10.9 | | | | | | | | | | | |
| Recursos propios M€ | 2.18 | | | | | | | | | | | |
| Financiación M€ | 8.72 | | | | | | | | | | | |
| Préstamo tipo interés | 8% | | | | | | | | | | | |
| Préstamo años | 5 | | | | | | | | | | | |
| Amortización años | 16 | | | | | | | | | | | |
| Amortización anual | 6% | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Descuento | 5% | | | | | | | | | | | |
| Impuesto Sociedades | 30% | | | | | | | | | | | |
| Valor Actual Neto M€ | | 4.7 | | Suma de Flujos de Caja Descontados | | | | | | | | |
| Tasa Interna de Retorno | | 21.2% | | Tipo que hace Valor Actual Neto = 0 | | | | | | | | |

Figura 30.- Cálculo de TIR y VAN

Con estos datos el VAN=4.74 M€ y el TIR=21.2 %, lo cual muestra una situación claramente ventajosa.

Haciendo un análisis de sensibilidad del precio de venta fijando el de compra en 300 €/Tm:

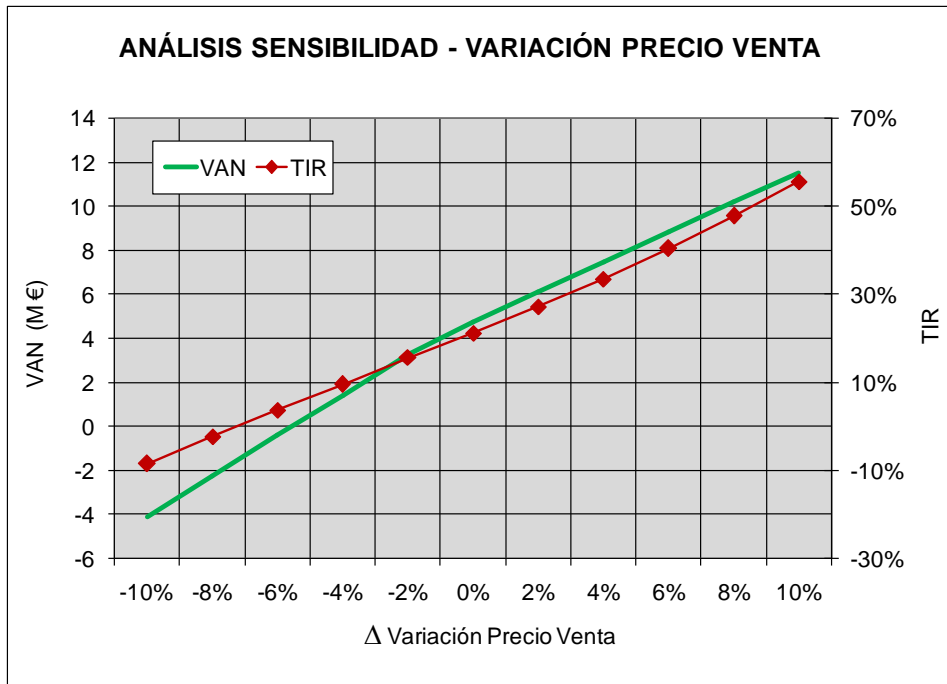


Figura 31.-Análisis de sensibilidad Impacto del precio de venta

Se observa que si el precio de venta sube de los 650 en un 8% ya nos encontramos con un VAN que supera la inversión inicial y con un TIR del 47.8%, de todas formas la variación de este factor, como ya se expone anteriormente, está directamente relacionado con el precio del petróleo con lo cual no hay manera de actuar sobre él.

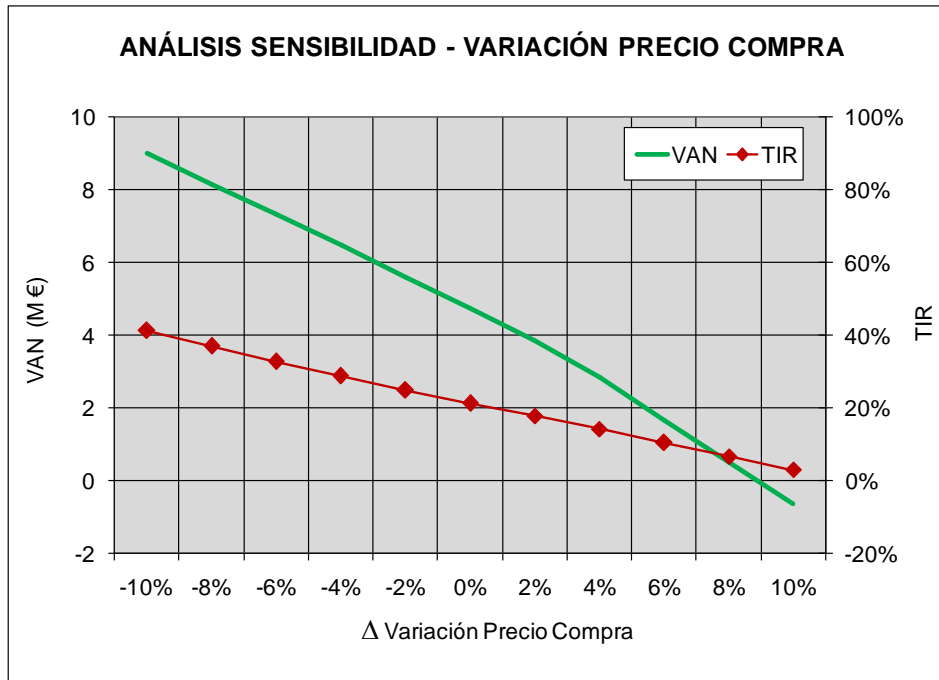


Figura 32.- Análisis de sensibilidad. Impacto precio de venta

La disminución de un 9% sobre los 300 €/Tm del precio de compra de materia prima hace que la inversión deje de ser rentable. Pienso que este es el factor más sensible y al mismo tiempo el más fácilmente controlable mediante los cambios apropiados en la legislación o la subvención a la hora de adquirir el aceite usado procedente del sistema integrado de gestión, SIGAUS; en la situación actual no se recoge aceite suficiente para abastecer a todas las plantas de reciclaje existentes y habría que recurrir a la importación del mismo para poder cubrir la producción.

7. Viabilidad legal

Todos los requerimientos legales se cumplen y no hay previsión de cambios en la legislación que pudieran repercutir negativamente en la inversión.

La previsión de cambio, si es que se realiza alguno, será a un modelo parecido al existente en Italia, en el que se obliga a que el 100% del aceite usado recogido se regenere, en España estamos en el 65%.

Por otra parte se cumplen todos los requisitos a nivel ambiental y laboral exigidos por la ley.

PLANOS

Lista de planos

01. Plano de ubicación.
02. Diagrama esquemático
03. Equipos.
04. Balance de masa y energía.
05. Layout.
06. Tuberías.
07. P&ID
08. Diagrama unifilar.
09. Implantación Contra Incendios.
10. Torre de destilación atmosférica
11. Torre de destilación a vacío SN-80
12. Torre de destilación a vacío SN-150/SN-350
13. Tanques de almacenamiento.
14. Separador flash.

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

1. Presupuesto y mediciones detalladas

A continuación se muestra el presupuesto detallado:

| Coste equipos | Total | Precio de compra | Montaje | Transporte | Cimentación | Acero estructural | Construcción |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|
| Tanques de almacenamiento | 1 223 618 | 465 342 | 758 275 | 93 068 | 23 267 | 23 267 | 13 960 |
| Vasijas horizontales | 124 188 | 47 229 | 76 959 | 9 446 | 2 361 | 2 361 | 1 417 |
| Intercambiadores de calor | 792 612 | 301 431 | 491 181 | 60 286 | 15 072 | 15 072 | 9 043 |
| Bombas | 102 273 | 38 894 | 63 378 | 7 779 | 1 945 | 1 945 | 1 167 |
| Compresores | 730 518 | 277 816 | 452 702 | 55 563 | 13 891 | 13 891 | 8 334 |
| Torres de destilación flash | 80 357 | 30 560 | 49 797 | 6 112 | 1 528 | 1 528 | 917 |
| Torre de extracción | 146 104 | 55 563 | 90 540 | 11 113 | 2 778 | 2 778 | 1 667 |
| Torres de destilación | 1 137 450 | 416 725 | 720 725 | 125 017 | 20 836 | 20 836 | 12 502 |
| Bombas de vacío | 29 221 | 11 113 | 18 108 | 2 223 | 556 | 556 | 333 |
| Evaporador | 36 526 | 13 891 | 22 635 | 2 778 | 695 | 695 | 417 |
| Separador atmosférico | 3 287 | 1 250 | 2 037 | 250 | 63 | 63 | 38 |
| Torre de refrigeración | 54 789 | 20 836 | 33 953 | 4 167 | 1 042 | 1 042 | 625 |
| Calderas | 568 725 | 208 362 | 360 363 | 62 509 | 10 418 | 10 418 | 6 251 |
| Total equipos | 5 029 667 | 1 889 012 | 3 140 654 | 440 311 | 94 451 | 94 451 | 56 670 |

Tabla 1.1.- Presupuesto detallado (continuación pág. siguiente)

| Coste equipos | Aislamiento | Instrumentación | Electricidad | Canalización | Pintura | Varios | Mano de obra |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------|---------------------|
| Tanques de almacenamiento | 4 653 | 27 921 | 37 227 | 209 404 | 23 267 | 13 960 | 288 280 |
| Vasijas horizontales | 472 | 2 834 | 3 778 | 21 253 | 2 361 | 1 417 | 29 258 |
| Intercambiadores de calor | 3 014 | 18 086 | 24 114 | 135 644 | 15 072 | 9 043 | 186 736 |
| Bombas | 389 | 2 334 | 3 112 | 17 502 | 1 945 | 1 167 | 24 095 |
| Compresores | 2 778 | 16 669 | 22 225 | 125 017 | 13 891 | 8 334 | 172 107 |
| Torres de destilación flash | 306 | 1 834 | 2 445 | 13 752 | 1 528 | 917 | 18 932 |
| Torre de extracción | 556 | 3 334 | 4 445 | 25 003 | 2 778 | 1 667 | 34 421 |
| Torres de destilación | 4 167 | 25 003 | 33 338 | 187 526 | 20 836 | 12 502 | 258 161 |
| Bombas de vacío | 111 | 667 | 889 | 5 001 | 556 | 333 | 6 884 |
| Evaporador | 139 | 833 | 1 111 | 6 251 | 695 | 417 | 8 605 |
| Separador atmosférico | 13 | 75 | 100 | 563 | 63 | 38 | 774 |
| Torre de refrigeración | 208 | 1 250 | 1 667 | 9 376 | 1 042 | 625 | 12 908 |
| Calderas | 2 084 | 12 502 | 16 669 | 93 763 | 10 418 | 6 251 | 129 080 |
| Total equipos | 18 890 | 113 341 | 151 121 | 850 056 | 94 451 | 56 670 | 1 170 243 |

Tabla 1.2.- Presupuesto detallado

2. Presupuesto por equipos

| Coste equipos | Total | Precio de compra | Montaje |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Tanques de almacenamiento | 1 223 618 | 465 342 | 758 275 |
| Vasijas horizontales | 124 188 | 47 229 | 76 959 |
| Intercambiadores de calor | 792 612 | 301 431 | 491 181 |
| Bombas | 102 273 | 38 894 | 63 378 |
| Compresores | 730 518 | 277 816 | 452 702 |
| Torres de destilación flash | 80 357 | 30 560 | 49 797 |
| Torre de extracción | 146 104 | 55 563 | 90 540 |
| Torres de destilación | 1 137 450 | 416 725 | 720 725 |
| Bombas de vacío | 29 221 | 11 113 | 18 108 |
| Evaporador | 36 526 | 13 891 | 22 635 |
| Separador atmosférico | 3 287 | 1 250 | 2 037 |
| Torre de refrigeración | 54 789 | 20 836 | 33 953 |
| Calderas | 568 725 | 208 362 | 360 363 |
| | Total | Precio de compra | Montaje |
| Total equipos | 5 029 667 | 1 889 012 | 3 140 654 |

Tabla 2.-Presupuesto por equipos

Realizaré una estimación de la inversión inicial, lo dividiré en capital inmovilizado, capital circulante y gastos de puesta en marcha de la planta.

El capital inmovilizado lo calculo a partir del coste del equipamiento:

Calcularé el presupuesto total a partir del coste de los equipos, cada una de las partidas será una fracción de esta cantidad que voy a llamar E:

3. Resumen del presupuesto e inversión inicial

| | |
|--|-------------------|
| Equipos y montaje | |
| Precio de compra equipos | 1 889 012 |
| Montaje | |
| Transporte | 440 311 |
| Cimentación | 94 451 |
| Acero estructural | 94 451 |
| Construcción | 56 670 |
| Aislamiento | 18 890 |
| Instrumentación | 113 341 |
| Electricidad | 151 121 |
| Canalización | 850 056 |
| Pintura | 94 451 |
| Varios | 56 670 |
| Mano de obra | 1 170 243 |
| Total montaje | 3 140 654 |
| Equipos y montaje(E) | 5 029 667 |
| Terrenos y edificios (35%E) | 1 760 383 |
| Capital físico (Y)=(Suma E+35%E) | 6 790 050 |
| Proyección y dirección de obra P=(8%Y) | 543 204 |
| Capital directo Z=(P+Y) | 7 333 254 |
| Seguridad y salud (5%Z) | 366 663 |
| Licencias, contrato de obras (5%Z) | 366 663 |
| Gastos imprevistos (15%Z) | 1 099 988 |
| Puesta en marcha (5%Z) | 366 663 |
| Capital Inmovilizado (Z+40%Z) | 9 533 230 |
| Capital circulante (5%Z) | 366 663 |
| Compra Terreno | 1 000 000 |
| Inversión inicial | 10 899 893 |

Tabla 3.-Resumen presupuesto. Inversión inicial

Instalación eléctrica: incluye subestación, transformadores y motores.

Terrenos y edificios: incluye la nivelación del terreno, los análisis, la construcción de edificios,...

Instalaciones auxiliares: incluye las instalaciones de agua, vapor, gases, refrigeración, calefacción,...

CAPITAL FÍSICO (Y): La suma de estos factores

Proyección y dirección de obras (P): Se calcula como el 8% del capital físico

CAPITAL DIRECTO (Z): La suma del capital físico y P

Contrato de obras, permisos, licencias: depende de la localización y complejidad de la planta, así como de los precios de cada sitio.

Se calcula como el 5% del capital directo.

Gastos no previstos: para absorber errores, subidas de precios,...

Se calcula como el 15% del capital directo.

Estimo el coste del Plan de Seguridad y Salud, incluyendo la instalación contra incendios, en un 5% del capital directo.

La suma de todas estas cantidades representa el capital inmovilizado

Capital circulante:

Este es el capital destinado al funcionamiento del negocio que asegura el rendimiento del capital inmovilizado. Es decir, el capital necesario para el funcionamiento de la planta.

Corresponde a la compra de materias primeras, la producción y el que tenemos en caja.

Este capital no pierde valor, si no se tiene en cuenta la inflación permanece constante.

Se calcula como el 5% del capital inmovilizado.

La inversión inicial total será de 10.9 M€.

PLIEGO DE CONDICIONES

1. Definición y alcance del Pliego

1.1. Objeto

El presente pliego regirá en unión de las disposiciones que con carácter general y particular se indican, y tienen por objeto la ordenación de las condiciones técnico-facultativas que han de regir en la ejecución de las obras de EJECUCIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLADO DE ACEITES INDUSTRIALES USADOS.

1.2. Cuerpo normativo

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de las obras objeto del presente proyecto será el formado por toda la LEGISLACION DE OBLIGADOCUMPLIMIENTO que le sea de aplicación en la fecha de la forma del Contrato de adjudicación de las obras.

Si entre la normativa de aplicación existiesen discrepancias, se aplicarán las más restrictivas, salvo que por parte de la Dirección Facultativa se manifieste por escrito lo contrario en el Libro de Órdenes.

Si entre la normativa de aplicación existiese contradicción será la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el Libro de Órdenes.

Será responsabilidad del Contratista cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si esta no está firmada en el Libro de Órdenes por la Dirección Facultativa y por tanto estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que debe tomar la Dirección Facultativa para corregir la situación creada.

1.3. Documentos que definen las obras

El presente Pliego de condiciones generales, conjuntamente con los otros documentos, memorias, planos y mediciones, forman el proyecto básico que servirá de base para la realización de las obras. Los planos constituyen los documentos que definen la obra en forma geométrica y cuantitativa.

1.4. Compatibilidad y relación entre dichos documentos

Lo mencionado en los Pliegos de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y los Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en estos últimos.

Las omisiones en Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de obra que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o la intención expuestos en los Planos y Pliegos de Condiciones, o que, por uso y costumbre, deben ser realizados, no sólo no eximen al contratista de la obligación de ejecutar esos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones sin que suponga variación en el presupuesto de la unidad o el capítulo.

2. Condiciones Facultativas

2.1. Obligaciones del contratista

Art.1. Condiciones técnicas

Las presentes condiciones técnicas serán de obligada observación por el contratista a quien se adjudique la obra, el cual deberá hacer constar que las conoce y que se compromete a ejecutar la obra con estricta sujeción a las mismas en la propuesta que formule y que sirva de base a la adjudicación.

Art.2. Marcha de los trabajos

Para la ejecución del programa de desarrollo de la obra, el contratista deberá tener siempre en la obra un número de obreros proporcionado a la extensión de los trabajos y clases de estos que estén ejecutándose.

Art.3. Personal

Todos los trabajos han de ejecutarse por personas especialmente preparadas.

Cada oficio ordenará su trabajo armónicamente con los demás procurando siempre facilitar la marcha de los mismos, en ventaja de la buena ejecución y rapidez de la construcción, ajustándose a la planificación económica prevista en el proyecto.

El contratista permanecerá en la obra durante la jornada de trabajo, pudiendo estar representado por un encargado apto, autorizado por escrito, para recibir instrucciones verbales y firmar recibos y planos o comunicaciones que se lo dirijan.

Art.4. Precauciones a adoptar durante la construcción

Las precauciones a adoptar durante la construcción serán las previstas en el REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

El contratista se sujetará a las leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como a los que se dicten durante la ejecución de las obras.

Art.5. Responsabilidades del contratista

En la ejecución de las obras que se hayan contratado, el contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiera costarle, ni por las erradas maniobras que cometiese durante la construcción, siendo de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del Ingeniero. Asimismo será responsable ante los Tribunales de los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran, tanto en la construcción como andamiajes, ateniéndose en todo a las disposiciones de Policía Urbana y leyes comunes sobre la materia.

Art.6. Desperfectos en propiedades colindantes

Si el contratista causase algún desperfecto en propiedades colindantes tendrá que restaurarlas por su cuenta dejándolas en el estado en que las encontró al comienzo de la obra. El contratista adoptará cuantas medidas encuentre necesarias para evitar la caída de operarios, desprendimiento de herramientas y materiales que puedan herir o matar a alguna persona.

Art.7. Seguro de incendios

Queda obligado el contratista a asegurar las obras en Compañía de reconocida solvencia inscrita en el Registro de Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

En caso de no asegurar las obras se entiende que es el contratista el asegurador.

La póliza habrá de extenderse con la condición especial de que si bien el contratista la suscribe con dicho carácter es requisito indispensable que en caso de siniestros, una vez

justificada su cuantía, el importe íntegro de la indemnización lo cobre la entidad propietaria, para ir pagando la obra que se reconstruya a medida que esta se vaya realizando, previas las certificaciones facultativas, como los demás trabajos de la construcción.

Art. 8. Obligaciones no especificadas

Es obligación del contratista ejecutar cuanto sea necesario para la terminación completa y buena construcción y aspecto de las obras, aunque algún detalle complementario no se halle expresamente determinado en estas condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero-Director.

Las dudas que pudieran ocurrir en las condiciones y demás documentos del contrato se resolverán por el Ingeniero-Director así como la inteligencia e interpretación de los planos, detalles y descripciones debiendo someterse el contratista a lo que dicho facultativo decida.

Art.9. Documentos que puede reclamar el contratista

El contratista conforme a lo dispuesto en el Pliego de Condiciones, podrá sacar a sus expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitadas por el Ingeniero-Director, el cual autorizará con su firma las copias, si el contratista lo desea.

Art.10. Seguros

El contratista estará asegurado en Compañía solvente para cubrir todos los accidentes que ocurran en la obra, si la Compañía no los abonase, los abonará el contratista directamente.

En cualquier momento estos documentos podrán ser exigidos por la propiedad y la Dirección Facultativa.

2.2. Facultades de la dirección técnica

Art.1. Interpretación de los documentos de Proyecto

El contratista queda obligado a que todas las dudas que surjan en la interpretación de los documentos del Proyecto o posteriormente durante la ejecución de los trabajos serán resueltas por la Dirección Facultativa de acuerdo con el “Pliego de Condiciones

Técnicas de la Dirección General de Arquitectura”, Pliego de Condiciones que queda en su articulado incorporado al presente de Condiciones Técnicas.

Las especificaciones no descritas en el presente Pliego con relación al Proyecto deben considerarse como datos en cuenta en la formulación del Presupuesto por parte de la Empresa que realice las obras así como el grado de calidad de las mismas.

En las circunstancias en que se vertieran conceptos en los documentos escritos que no fueran reflejados en los Planos del Proyecto, el criterio a seguirlo decidirá la Dirección Facultativa de las obras, recíprocamente cuando en los documentos gráficos aparecieran conceptos que no se ven reflejados en los documentos escritos, la especificación de los mismos, será decidida por la Dirección Facultativa de las obras.

La Contrata deberá consultar previamente cuantas dudas estime oportunas para una correcta interpretación de la calidad constructiva y de características del Proyecto.

Art.2. Aceptación de materiales

Los materiales serán reconocidos antes de su puesta en obra por la Dirección Facultativa, sin cuya aprobación no podrán emplearse en dicha obra; para ello la contrata proporcionará al menos dos muestras para su examen por parte de la Dirección Facultativa, ésta se reserva el derecho de desechar aquellos que no reúnan las condiciones que a su juicio, no considere aptas. Los materiales desechados serán retirados de la obra en el plazo más breve. Las muestras de los materiales una vez que hayan sido aceptados, serán guardados juntamente con los certificados de los análisis para su posterior comparación y contraste.

Art.3. Mala ejecución

Si a juicio de la Dirección Facultativa hubiera alguna parte de la obra mal ejecutada, el contratista tendrá la obligación de demolerla y volverla a realizar cuantas veces sea necesario, hasta que quede a satisfacción de dicha Dirección, no otorgando estos aumentos de trabajo derecho a percibir ninguna indemnización de ningún género, aunque las condiciones de mala ejecución de la obra se hubiesen notado después de la recepción provisional, sin que ello pueda repercutir en los plazos parciales o en el total de ejecución de la obra.

Art.4. Reformas en el proyecto

Si durante el curso de las obras el Ingeniero-Director estimase conveniente introducir modificaciones en el proyecto, el contratista estará obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente proyectadas no aumentasen en una sexta parte las de igual índole, consignadas en el Presupuesto de Contrata, abonándosele la parte que resulte con arreglo a los precios del Proyecto.

2.3. Disposiciones varias

Art.1. Replanteo

Como actividad previa a cualquier otra de la obra se procederá por la Dirección Facultativa a la comprobación del replanteo de las obras en presencia del Contratista marcando sobre el terreno conveniente todos los puntos necesarios para su ejecución. De esta operación se extenderá acta por duplicado que firmará la Dirección Facultativa y la Contrata, la cual, facilitará por su cuenta todos los medios necesarios para la ejecución de los referidos replanteos y señalamiento de los mismos, cuidando bajo su responsabilidad de las señales o datos fijados para su determinación. Asimismo para el resto de replanteos que se verifiquen en obra, estos se realizarán por el Contratista con la consiguiente aprobación de la Dirección Facultativa para el inicio de la correspondiente unidad.

Art.2. Libro de Órdenes, Asistencia e Incidencias

Con objeto de que en todo momento se pueda tener un conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra, se llevará, mientras dure la misma, el Libro de Órdenes Asistencia e Incidencias, en el que se reflejarán las visitas facultativas realizadas por la Dirección de la obra, incidencias surgidas y en general, todos aquellos datos que sirvan para determinar con exactitud si por la contrata se han cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del proyecto.

El Ingeniero-Director de la obra, y los demás facultativos colaboradores en la dirección de las mismas, irán dejando constancia, mediante las oportunas referencias, de sus visitas e inspecciones y las incidencias que surjan en el transcurso de ellas y obliguen a cualquier modificación en el proyecto o la ejecución de las obras, las cuales serán de obligado cumplimiento.

Las anotaciones en el Libro de Órdenes, Asistencias e Incidencias, harán fe a efectos de determinar las posibles causas de resolución e incidencias del contrato. Sin embargo, cuando el contratista no estuviese conforme, podrá alegar en su descargo todas aquellas razones que abonen su postura, aportando las pruebas que estime pertinentes. Efectuar una orden a través del correspondiente asiento en este Libro, no será obstáculo para que cuando la Dirección Facultativa lo juzgue conveniente, se efectúe la misma también por oficio. Dicha orden se reflejará también en el Libro de Órdenes.

Art.3. Modificaciones en las unidades de Obra

Cualquier modificación en las unidades de obra que suponga la realización de distinto número de aquellas, más o menos de las figuradas en el estado de mediciones del presupuesto, deberá ser conocida y aprobada previamente a su ejecución por el Director Facultativo, haciéndose constar en el Libro de Obra, tanto la autorización citada como la comprobación posterior de su ejecución.

En caso de no obtener esta autorización, el contratista no podrá pretender, en ningún caso, el abono de las unidades de obra que se hubiesen ejecutado demás respecto a las figuradas en el proyecto.

Art.4. Controles de obra: Pruebas y ensayos

Se ordenará cuando se estime oportuno, realizar las pruebas y ensayos, análisis y extracción de muestras de obra realizada para comprobar que tanto los materiales como las unidades de obra están en perfectas condiciones y cumplen lo establecido en este Pliego. El abono de todas las pruebas y ensayos será de cuenta de la propiedad.

En caso que sean efectuados pruebas y/o ensayos y no se cumplan las especificaciones recogidas bien en normativa vigente o especificaciones de la Dirección Facultativa, los gastos del ensayo, reparación de los elementos defectuosos y nuevos ensayos, correrán por cuenta del contratista.

Art.5. Correspondencia oficial

El contratista tendrá derecho a que se le acuse recibo, si lo pide, de las comunicaciones y reclamaciones que dirija al Ingeniero-Director y a su vez está obligado a devolver a dicho Ingeniero, ya en originales, ya en copias, todas las ordenes y avisos que de él reciba poniendo al pie el “enterado” y su firma.

Art.6. Accesos a la obra

Se facilitarán los accesos a todas las partes de la obra por medio de chaperas, andamiaje con tablonos, pasamanos, etc., de tal manera que todas las personas que accedan a los diversos sitios de la obra tengan la seguridad necesaria para la revisión de los diferentes trabajos.

Art.7. Gastos de obra

Serán por cuenta del promotor salvo que se indique en contrato, los gastos referentes a licencia de obras, honorarios de Proyecto y Dirección Facultativa, así como todos los originados para dotar a la obra de acometidas de agua, electricidad, etc.

3. Condiciones generales

3.1. Mediciones

Art.1. Forma de medición

La medición del conjunto de unidades de obra que constituyen el proyecto se verificará aplicando a cada unidad de obra la unidad de medida que le sea apropiada y con arreglo a las mismas unidades adoptadas en el presupuesto, unidad completa, partida alzada, metros cuadrados, cúbicos o lineales, kilogramos, etc.

Tanto las mediciones parciales como las que se ejecuten al final de la obra, se realizarán conjuntamente con el contratista, levantándose las correspondientes actas que serán firmadas por ambas partes.

Todas las mediciones que se efectúen comprenderán las unidades de obra realmente ejecutadas, no teniendo el contratista derecho a reclamación de ninguna especie por las diferencias que se produjeran entre las mediciones que se ejecuten y las que figuren en el proyecto, así como tampoco por los errores de clasificación de las diversas unidades de obra que figuren en los estados de valoración.

Art.2. Valoración de unidades no expresadas en este Pliego

La valoración de las obras no expresadas en este Pliego se verificará aplicando a cada una de ellas la medida que le sea más apropiada y en forma de condiciones que estime justas el Ingeniero, multiplicando el resultado final por el precio correspondiente.

Art.3. Equivocaciones en el presupuesto

Es de suponer que el contratista ha hecho un detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por lo tanto, al no haber hecho ninguna observación sobre errores posibles o equivocaciones del mismo, no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte que si la obra ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna, si por el contrario el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

3.2. Valoraciones

Art.1. Valoraciones

Las valoraciones de las unidades de obra que figuran en el presente proyecto, se efectuarán multiplicando el número de estas por el precio unitario asignado a las mismas en el presupuesto.

En el precio unitario aludido en el párrafo anterior se consideran incluidos los gastos del transporte de materiales, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto, así como todo tipo de impuestos fiscales que graven los materiales por el Estado, Provincia o Municipio, durante la ejecución de las obras, y toda clase de cargas sociales. También serán de cuenta del contratista los honorarios, las tasas y demás gravámenes que se originan con ocasión de las inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones con que esté dotado el inmueble.

El contratista no tendrá derecho por ello a pedir indemnización alguna por las causas enumeradas. En el precio de cada unidad de obra van comprendidos los de todos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra terminada y en disposición de recibiese.

Art.2. Valoración de las obras no incluidas o incompletas

Las obras no incluidas se abonarán con arreglo a precios consignados en el Presupuesto, sin que pueda pretenderse cada valoración de la obra fraccionada en otra forma que la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

Art.3. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso excepcional e imprevisto en el cual fuese necesaria la designación de precios contradictorios entre la propiedad y el contratista, estos precios

deberán fijarse con arreglo a los determinados para unidades análogas, después de haber convenido lo mismo el Ingeniero en representación de la Propiedad y el contratista.

Art.4. Relaciones valoradas

El Contratista de la obra formulará mensualmente una relación valorada de los trabajos ejecutados desde la anterior liquidación con sujeción a los precios del presupuesto.

La Dirección Facultativa, que presenciara las operaciones de valoración y medición, tendrá un plazo de diez días para examinarlas. Deberá dentro de este plazo dar su conformidad o, en caso contrario, hacer las observaciones que considere convenientes.

Estas relaciones valoradas no tendrán más que carácter provisional a buena cuenta, y no supone la aprobación de las obras que en ellas se comprenden.

Se formará multiplicando los resultados de la medición por los precios correspondientes, y descontando si hubiera lugar la cantidad correspondiente al tanto por ciento de baja o mejora producido en la licitación.

Art.5. Obras que se abonarán al contratista: Precio de las mismas

Se abonarán al contratista la obra que realmente se ejecute con sujeción al proyecto que sirve de base al contrato, o a las modificaciones del mismo, autorizadas por la superioridad, o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le haya comunicado por escrito el Director de la obra, siempre que dicha obra se halle ajustada a los preceptos del contrato y sin que su importe pueda exceder de la cifra total de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el Proyecto o en el Presupuesto no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna especie, salvo en los casos de rescisión.

Tanto en las certificaciones de obra como en la liquidación final, se abonarán las obras hechas por el contratista a los precios de ejecución material que figuran el presupuesto para cada unidad de obra.

Si excepcionalmente se hubiera realizado algún trabajo que no se halle reglado exactamente en las condiciones de la contrata pero que sin embargo sea admisible a juicio del Director, se dará conocimiento de ello, proponiendo a la vez la rebaja de precios que se estime justa, y si aquella resolviese aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

Cuando se juzgue necesario emplear materiales para ejecutar obras que no figuren en el proyecto, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiera, y cuando no, se discutirá entre el Director de la obra y el contratista, sometiéndoles a la aprobación superior.

Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento se sujetarán siempre a lo establecido en el contrato general de la obra.

Al resultado de la valoración hecha de este modo, se le aumentará el tanto por ciento adoptado para formar el presupuesto de la contrata, y de la cifra que se obtenga se descontará lo que proporcionalmente corresponda a la rebaja hecha, en el caso de que exista ésta.

Cuando el contratista, con la autorización del Director de la obra emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que lo estipulado en el proyecto, sustituyéndose la clase de fábrica por otra que tenga asignado mayor precio, ejecutándose con mayores dimensiones o cualquier otra modificación que resulte beneficiosa a juicio de la Propiedad, no tendrá derecho, sin embargo, sino a lo que correspondería si hubiese construido la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

Art.6. Abono de las partidas alzadas

Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por una partidaalzada del presupuesto, no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellos se formen o en su defecto, por lo que resulte de la medición final.

Para la ejecución material de las partidas alzadas figuradas en el proyecto de obra, deberá obtenerse la aprobación de la Dirección Facultativa. A tal efecto, antes de proceder a su realización se someterá a su consideración el detalle desglosado del importe de la misma, el cual, si es de conformidad podrá ejecutarse.

4. Condiciones legales

4.1. Recepción de obras

Art.1. Recepción de las obras

Una vez terminadas las obras, y hallándose en las condiciones exigidas, se procederá a la recepción de las mismas.

Al acto de recepción concurrirán la propiedad, el facultativo encargado de la dirección de la obra y el contratista, levantándose el acta correspondiente. En caso de que las obras no se hallen en estado de ser recibidas se actuará conforme a lo dispuesto en contrato establecido.

El plazo de la garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la recepción de la obra. Al realizarse la recepción de las obras deberá presentar el contratista las pertinentes autorizaciones de los Organismos oficiales de la provincia para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requieran. No se efectuará esa recepción de las obras si no se cumple este requisito.

Art.2. Plazo de garantía

Sin perjuicio de las garantías que expresamente se detallan en el contrato el contratista garantiza en general todas las obras que ejecute, así como los materiales empleados en ellas y su buena manipulación.

El plazo de garantía será el establecido en contrato y durante este período el contratista corregirá los defectos observados, eliminará las obras rechazadas y reparará las averías que por dicha causa se produzcan, todo ello por su cuenta y sin derecho a indemnización alguna, ejecutándose en caso de resistencia dichas obras por la Administración con cargo a la fianza.

El contratista garantiza a la Propiedad contra toda reclamación de tercera persona, derivada del incumplimiento de sus obligaciones económicas o disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva de las obras, la Propiedad tomará acuerdo respecto a las retenciones efectuadas.

Tras la recepción de la obra el contratista quedará relevado de toda responsabilidad salvo lo referente a los vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del contrato por parte del empresario, de los cuales responderá en el término de 10 años. Transcurrido este plazo quedará totalmente extinguida la responsabilidad.

Art.3. Pruebas para la recepción

Con carácter previo a la ejecución de las unidades de obra, los materiales habrán de ser reconocidos y aprobados por la Dirección Facultativa. Si se hubiese efectuado su

manipulación o colocación sin obtener dicha conformidad deberán ser retirados todos aquellos que la citada dirección rechaza, dentro de un plazo de treinta días.

El contratista presentará oportunamente muestras de cada clase de material a la aprobación de la Dirección Facultativa, las cuales conservarán para efectuaren su día comparación o cotejo con los que se empleen en obra.

Siempre que la Dirección Facultativa lo estime necesario serán efectuadas por cuenta de la contrata las pruebas y análisis que permitan apreciar las condiciones de los materiales a emplear.

4.2. Cargos al contratista

Art.1. Planos para las instalaciones

El contratista, de acuerdo con la Dirección Facultativa entregará en el acto de la recepción provisional, los planos de todas las instalaciones ejecutadas en la obra, con las modificaciones o estado definitivo en que hay quedado.

Art.2. Autorizaciones y Licencias

El contratista se compromete igualmente a entregar las autorizaciones que perceptivamente tienen que expresar las delegaciones Provinciales de Industria, Sanidad, etc., y autoridades locales, para la puesta en servicio de las referidas instalaciones.

Son también de cuenta del contratista todos los arbitrios, licencias municipales, vallas, alumbrado, multas, etc., que ocasionen las obras desde su inicio hasta su total terminación, salvo que se especifique lo contrario en el contrato entre la Propiedad y el contratista.

Art.3. Conservación durante el plazo de garantía

El contratista durante el tiempo que media entre la recepción provisional y la definitiva, será el conservador de las obras, donde tendrá el personal suficiente para atender a todas las averías y reparaciones que puedan presentarse, aunque el establecimiento fuese ocupado o utilizado por la propiedad antes de la recepción definitiva.

4.3. Disposiciones varias

Art.1. Normas de aplicación

Para todo aquello no detallado expresamente en los artículos anteriores, y en especial sobre las condiciones que deberán reunir los materiales que se emplean en obra, así como la ejecución de cada unidad de obra, y las normas para su medición y valoración regirá el Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura.

Se cumplimentarán todas las normas vigentes y las sucesivas que se publiquen en el transcurso de las obras.

Art.2. Suspensión de las obras

Cuando la entidad propietaria desee suspender la ejecución de las obras tendrá que avisarlo con un mes de anticipación y el contratista tendrá que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados al pie de obra, al precio corriente en la localidad; igual se hará en los casos de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el contratista, el propietario se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al contratista tan sólo la obra ejecutada con pérdida de la retención como indemnización de perjuicios irrogados a la entidad propietaria; quedando obligado el contratista a responder de los perjuicios superiores a esta cantidad, salvo que se indique lo contrario en el contrato.

En caso de muerte o de quiebra del contratista, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo bajo las condiciones estipuladas en la misma. El propietario puede admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este caso tengan aquéllos derecho a indemnización alguna.

Tanto en estos casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del contratista, tendrá éste obligación a recogerlos en un plazo de ocho días; de no ser así se entiende que los abandona a favor de la obra.

Art.3. Prorroga de las obras

Si se diese el caso de que por alguna contingencia, la Empresa Constructora solicitase una ampliación de plazo para la terminación de las obras, este se determinará de

acuerdo con la Dirección Facultativa y siempre y cuando las causas alegadas sean por motivos ajenos al discurrir normal de la obra.

Art.4. Rescisión de contrato

En caso de que hubiese rescisión de contrato, la valoración de las obras incompletas se haría aplicando los precios del presupuesto, sin que el contratista tenga derecho alguno a reclamación. Si no existiesen precios descompuestos, o en el precio dado no estuviesen claramente especificados, se aplicarán a los materiales los precios corrientes de almacén de la localidad.

Art.5. Personal en obra

Todo el personal que desarrolle cualquier actividad en la obra, deberá tener su situación laboral de acuerdo con la legislación vigente.

5. Condiciones técnicas generales

Art.1. Calidades de los materiales

Todos los materiales a emplear en la presente obra serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

Art. 2. Pruebas y ensayos de los materiales

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la propiedad, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las obras, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

Art. 3. Materiales no consignados en proyecto

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa, no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

Art. 4. Condiciones generales de ejecución

Todos los trabajos, incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de la construcción, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Edificación de la Dirección General de

Arquitectura y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista el bajo contrato, para variar esa esmerada ejecución, ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

5.1. Cumplimiento de los plazos

El contratista está obligado al cumplimiento de los plazos parciales fijados definitivamente por la Administración, así como del plazo final para la total terminación de obra.

Si el retraso fuera producido por motivos no imputables al contratista y ésta se ofreciera a cumplir sus compromisos mediante prórroga del tiempo convenido, se concederá por la Administración un plazo que será, por lo menos, igual al tiempo perdido.

El contratista dará comienzo a las obras una vez firmada el Acta de Inicio de las mismas.

5.2. Plan de obra y relación de maquinaria

Al inicio de las obras, el contratista estará obligado ante el requerimiento de la Dirección Facultativa a complementar el Plan de Obra que hay previsto con la relación de medios humanos y su cualificación profesional, así como con la relación de medios auxiliares y maquinaria que se compromete a mantener durante la ejecución de las obras.

Asimismo, el contratista deberá aumentar los medios auxiliares y personal técnico, siempre que la Administración compruebe que ello es necesario para el desarrollo de las obras en los plazos previstos.

La aceptación del Plan de Obra y de la relación de medios auxiliares propuestos no implicará exención alguna de responsabilidad para el contratista, en caso de incumplimiento de los plazos parciales o del final.

MATERIALES EN DEPÓSITO

Los materiales que se entreguen por la Administración al contratista se considerarán en depósito desde el momento de la entrega, siendo el contratista responsable de su custodia y conservación hasta tanto la obra sea recibida.

A tal fin, el contratista responde con la fianza de cumplimiento de los daños, deterioros, pérdidas, extravíos, robos o cualquier otro accidente que puedan sufrir los citados materiales.

MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES

Toda la maquinaria y medios auxiliares empleados por el contratista serán de su exclusiva cuenta, sin que en ningún caso pueda exigirse que la Administración se las abone, ya que su coste presumible y gastos de amortización y conservación han sido tenidos en cuenta en la formación de los distintos precios. No podrá, el contratista, alegando lo costoso de las instalaciones auxiliares, exigir que se le abone cantidad alguna en concepto de anticipo sobre dichos medios.

CONTROL DE CALIDAD E INSPECCION Y CONTROL

Previamente al inicio de las obras, el contratista deberá presentar al Ingeniero-Director, para su aprobación, el Plan de Control de Calidad y el de Puntos de Inspección y Control de la obra, que será de aplicación tanto a la obra civil como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, estas se someterán a los controles establecidos por la normativa legal de vigente aplicación, o los que por cualquier motivo considerase necesario la Dirección Facultativa, siendo el coste de los mismos por cuenta del contratista.

En los mencionados planes se recogerá de forma clara la identificación de cada unidad de obra, el tipo de ensayo a realizar y la normativa de aplicación, la frecuencia de realización de cada tipo de ensayo, y las condiciones de aceptación o rechazo. Para materiales y equipos definirá los certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en obra, la frecuencia de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo.

5.3. Manuales de mantenimiento y planos as built

Concluidas las obras, el contratista está obligado a entregar los “Manuales de mantenimiento” de aquellas instalaciones o equipos que hubiese instalado, así como los planos “As-Built” de todas las obras realizadas. Tanto los manuales como los planos se entregarán por triplicado. En los citados manuales de mantenimiento se recogerán, tanto la descripción detallada de los equipos o instalaciones, como lista de repuestos,

operaciones de mantenimiento preventivo y operativo y, en general, todo lo necesario para el correcto funcionamiento y conservación de las citadas instalaciones y/o equipos.

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. Antecedentes y objeto

Se redacta el presente Estudio de Seguridad y Salud de acuerdo con lo establecido en el apartado 1 del Artículo 4 del R.D. 1627/1997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Es el objetivo del presente Estudio de Seguridad la prevención de todos los riesgos que indudablemente se producen en cualquier proceso laboral y está encaminado a proteger la integridad de las personas y los bienes, indicando y recomendando los medios y métodos que habrán de emplearse, así como las secuencias de los procesos laborales adecuados en cada trabajo específico, a fin de que contando con la colaboración de todas las personas que intervienen en los trabajos a conseguir un RIESGO NULO durante el desarrollo de los mismos.

Se atenderá especialmente a los trabajos de mayor riesgo, y se cuidarán las medidas para las protecciones individuales y colectivas, señalizaciones, instalaciones provisionales de obra y primeros auxilios.

Este Estudio se redacta en tanto sirva no solo de cumplimiento de la Ley, sino que pueda ser guía y directriz práctica durante la ejecución de las obras y sobre todo, la interpretación del futuro Plan de Seguridad que deben emitir las empresas constructoras de estas obras. Es por eso que se hace en este Estudio, referencia a los deberes y derechos en materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que en el marco de las relaciones laborales se fijan en la legalidad vigente, normas y códigos.

Así, en nuestra Constitución, Art. 40.2.- “Los poderes públicos fomentarán una política que garantice la formación y la readaptación profesional y velarán por la Seguridad e Higiene en el Trabajo.”

En el Estatuto de los Trabajadores, Art.4.2.d.-...”tienen derecho a su integridad física, y a una política adecuada en materia de Seguridad en el Trabajo...” en el Art.19.1.-...” Protección eficaz en materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo, durante la prestación de sus servicios...” Art. 19.3.-...” inspección control y participación por medio de sus representantes legales...”.

La figura del Vigilante, sustituida hoy por un Delegado de Prevención en la nueva Ley, vigente, así como los Comités de Seguridad que se sustituyen por los Comités de Seguridad y Salud, el Coordinador en materia de Seguridad durante la fase de Proyecto y durante la fase de Obra, el Aviso Previo del promotor a la autoridad laboral competente y el mayor rango de todas estas disposiciones, adecuación a las Directivas de la CEE y en concreto a la Directiva 92/57/CEE, constituyen los órganos precisos para determinar el cuerpo básico de garantías de protección para los trabajadores, dentro del marco eficaz de una política coherente con el resto de países de la C.E.E.

Como resumen sintetizado de los objetivos que éste Plan pretende alcanzar, se enumeran los siguientes según el R.D. 1627/7/1997 y en su Art. 8. Principios generales aplicables al Proyecto de obras, y además:

1) Garantizar la salud e integridad física de los trabajadores, con aplicación del Art. 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, (31/1995/8 de Noviembre) “Principios de Acción Preventiva” que dice:

- a) Evitar los riesgos.
- b) Evaluar los riesgos que no se pueden evitar.
- c) Combatir los riesgos en sus orígenes.
- d) Adaptar el trabajo a la persona...atenuar la monotonía... lo repetitivo...
- e) Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- f) Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún riesgo.
- g) Planificar la prevención buscando un conjunto coherente...
- h) Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- i) Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

2) Evitar acciones o situaciones peligrosas por imprevisión, insuficiencias o faltas de medios.

3) Delimitar y esclarecer atribuciones y responsabilidades en materia de Seguridad, a las personas que intervienen en el proceso constructivo.

4) Determinar los costos de las medidas de protección y prevención.

- 5) Definir la clase de medidas de protección a emplear en función del riesgo. Ante la duda, se dispondrá la protección más completa.
- 6) Detectar a tiempo los riesgos que se derivan de la problemática de la obra.
- 7) Aplicar técnicas de ejecución que reduzcan los riesgos lo más posible.
- 8) Se investigarán y analizarán los accidentes que ocurran. Se estudiará el origen. Se rechazarán por sistema las causas “fortuitas”, se esclarecerán los hechos. Se buscará la trayectoria y trazabilidad de lo ocurrido. Se dispondrán los medios para que no se repitan las causas.

En aplicación de este Estudio de Seguridad y Salud, el contratista de la obra elaborará el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo aplicable a la obra, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán las previsiones contenidas en este estudio, en función de sus propios sistemas y medios de ejecución de la obra.

2. Identificación de la obra

2.1 Tipo de obra

La obra objeto del presente Estudio de Seguridad y Salud, consiste en la EJECUCIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE ACEITES INDUSTRIALES USADOS. Para ello, se ejecutarán todas las partidas necesarias de demoliciones, obra civil, estructura metálica, equipos e instalaciones, imprescindibles para su construcción.

2.2 Situación

La planta de Reciclaje de aceites industriales usados estará localizada en el Polígono Industrial Rio San Pedro en Cádiz, en la c/Chile.

El acceso a la planta se puede realizar a través de la carretera Sevilla Cádiz (N-4).

2.3 Servicios y redes de distribución afectadas por la obra

Al realizarse las obras en el interior de la parcela de ubicación actual, no se afectan servicios ni redes de distribución públicas.

2.4 Presupuesto total de ejecución de la obra

El presupuesto total de ejecución de la obra civil asciende a 15339024,70 €.

2.5 Plazo de ejecución

El plazo de ejecución se estima en 6 meses, con un plazo incluido de puesta en marcha de tres meses.

2.6 Número de trabajadores

Durante la ejecución de las obras se ha previsto una presencia media de 8 trabajadores simultáneamente.

3. Normas de Seguridad aplicables a la obra

- Real Decreto 485/1.997 sobre Señalización de seguridad en el trabajo.
- Real Decreto 486/1.997 sobre Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1.997 sobre Manipulación de cargas.
- Real Decreto 773/1.997 sobre Utilización de Equipos de Protección Individual.
- Real Decreto 39/1.997. Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1215/1.997 sobre Utilización de Equipos de Trabajo.
- Real Decreto 1627/1.997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Estatuto de los Trabajadores.
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica, en los títulos no derogados.

Adicionalmente, serán de aplicación las Condiciones Técnicas y Prescripciones Reglamentarias de aplicación a cada uno de los trabajos.

4. Descripción, características y programación de la obra

4.1 Características generales de la obra

Como ya anteriormente se ha indicado, la obra objeto del presente Estudio de Seguridad y Salud, consiste en la EJECUCIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE ACEITES INDUSTRIALES USADOS en Cádiz.

En la Memoria Descriptiva y Planos del proyecto en el que se integra este estudio se recoge una descripción detallada de las características de estas obras e instalaciones.

4.2 Fases de ejecución de la obra

En coherencia con las características de la obra, se han previsto las siguientes fases de ejecución:

- TRABAJOS CON DEMOLICIÓN Y ADECUACIÓN DEL TERRENO
- MOVIMIENTO DE TIERRAS
- EJECUCIÓN DE CIMENTACIÓN
- EJECUCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA
- MONTAJE DE EQUIPOS
- INSTALACIONES
- PUESTA EN MARCHA

4.3 Descripción de la obra

Descripción de actividades a realizar.

4.3.1 Demoliciones

La demolición de los elementos será realizada por maquinaria debidamente matriculada (en el caso que se utilice maquinaria) con la documentación de maquinista y máquina debidamente legalizada, y con operarios especializados en demoliciones en el caso que se realice con medios manuales.

Desarrollo de las fases de trabajo:

Antes de proceder a una demolición se han de llevar a cabo una serie de actuaciones, que a continuación detallamos:

- Visita previa de reconocimiento.
- Recabar la posible documentación existente a Organismos, Propiedad, Colegios Profesionales, etc.
- Investigar y situar la ubicación de tuberías de agua, colectores, gas, electricidad, etc.
- Anotar la antigüedad del edificio y calidades de los elementos estructurales y decorativos para posible recuperación.
- Estudiar la cimentación del edificio y colindantes

Se deben tomar medidas preventivas previas a la demolición:

1. Vallado del recinto y señalización. Protección de acceso y huecos:

- Se cerrará el recinto mediante valla de material resistente
- La valla tendrá una altura mínima de 2m
- La distancia mínima de esta valla a los parámetros de la obra será de 1.50 m según las Ordenanzas Municipales.
- La valla se iluminará cada 10 m y en las esquinas con luces rojas.
- La señalización exterior será de prohibido el paso a los peatones, salida de camiones y maquinaria pesada en movimiento.
- La señalización interior será de uso obligatorio de casco, guantes, botas, caídas a distinto nivel y caída de objetos.
- Los accesos al edificio a demoler y las distintas zonas de trabajo así como los huecos, se protegerán en caso necesario, con cubiertas, pasillos de seguridad, barandillas u otros medios para evitar el daño de caídas de materiales a los trabajadores.

2. Protección de la vía pública:

- Para evitar la caída de materiales se pondrán lonas o redes tupidas a lo largo del andamiaje.

3. Apeos y apuntalamientos:

- Cuando se aprecien grietas notables en muros, vigas, desplomes acusados en o elementos en mal estado ha de procederse a su apeo provisional.
- Estos apeos serán de abajo arriba y al revés de cómo se hace la demolición.
- También se apearán los huecos ordinarios, pisos apeos de machos y muros; así mismo se apuntalarán los edificios colindantes, medianerías, estructuras viales y en general aquellas partes que tengan peligro de derrumbamiento. Las piezas grandes se evacuarán con la ayuda de grúas.
- Caso de piezas manejables el desescombrado puede hacerse a través de huecos de En forjados, no coincidentes en la vertical

- Otro método de evacuación es el empleo de tubos telescópicos o canaletas, estos tubos sólo saldrán al exterior de la fachada en el último tramo que será inclinado para reducir la velocidad de salida del material.
- Se podrá lanzar el escombros desde una altura no superior a 6m, siempre que se disponga de un espacio libre de 6x6 m de lado.
- Cuando la carga de escombros se haga con máquina, ésta se acercará como máximo un metro del frente de la demolición y trabajará en sentido oblicuo al frente.

Normas de seguridad en utilización de equipos oxiacorte

- Se prohíben los trabajos de soldadura y corte, en locales donde se almacenen materiales inflamables, combustibles, donde exista riesgo de explosión o en el interior de recipientes que hayan contenido sustancias inflamables.
- Para trabajar en recipientes que hayan contenido sustancias explosivas o inflamables, se debe limpiar con agua caliente y desgasificar con vapor de agua, por ejemplo. Además se comprobará con la ayuda de un medidor de atmósferas peligrosas (explosímetro), la ausencia total de gases.
- Se debe evitar que las chispas producidas por el soplete alcancen o caigan sobre las botellas, mangueras o líquidos inflamables.
- No utilizar el oxígeno para limpiar o soplar piezas o tuberías etc., o para ventilar una estancia, pues el exceso de oxígeno incrementa el riesgo de incendio.
- Los grifos y los manorreductores de las botellas de oxígeno deben estar siempre limpios de grasas, aceites o combustible de cualquier tipo. Las grasas pueden inflamarse espontáneamente por acción del oxígeno.
- Si una botella de combustible (normalmente propano) se calienta por cualquier motivo, puede explotar; cuando se detecte esta circunstancia se debe cerrar el grifo y enfriarla con agua, si es preciso durante horas.
- Si se incendia el grifo de una botella de combustible (normalmente propano), se tratará de cerrarlo, y si no se consigue, se apagará con un extintor de nieve carbónica o de polvo.

- Después de un retroceso de llama o de un incendio del grifo de una botella de combustible (normalmente propano), debe comprobarse que la botella no se calienta sola.

Utilización de botellas

- Las botellas deben estar perfectamente identificadas en todo momento, en caso contrario deben inutilizarse y devolverse al proveedor.

- Todos los equipos, canalizaciones y accesorios deben ser los adecuados a la presión y gas a utilizar.

- Las botellas de combustible (normalmente propano) llenas se deben mantener en posición vertical, al menos 12 horas antes de ser utilizadas. En caso de tener que tumbarlas, se debe mantener el grifo con el orificio de salida hacia arriba, pero en ningún caso a menos de 50 cm del suelo.

- Los grifos de las botellas de oxígeno y combustible (normalmente propano) deben situarse de forma que sus bocas de salida apunten en direcciones opuestas.

- Las botellas en servicio deben estar libres de objetos que las cubran total o parcialmente.

- Las botellas deben estar a una distancia entre 5 y 10 m de la zona de trabajo.

- Antes de empezar una botella comprobar que el manómetro marca “cero” con el grifo cerrado.

- Si el grifo de una botella se atasca, no se debe forzar la botella, se debe devolver al suministrador marcando convenientemente la deficiencia detectada.

- Antes de colocar el manorreductor, debe purgarse el grifo de la botella de oxígeno, abriendo un cuarto de vuelta y cerrando a la mayor brevedad.

- Colocar el manorreductor con el grifo de expansión totalmente abierto; después de colocarlo se debe comprobar que no existen fugas utilizando agua jabonosa, pero nunca con llama.

Si se detectan fugas se debe proceder a su reparación inmediatamente.

- Abrir el grifo de la botella lentamente; en caso contrario el reductor de presión podría quemarse.

- Las botellas no deben consumirse completamente pues podría entrar aire. Se debe conservar siempre una ligera sobrepresión en su interior.
- Cerrar los grifos de las botellas después de cada sesión de trabajo. Después de cerrar el grifo de la botella se debe descargar siempre el manorreductor, las mangueras y el soplete.
- La llave de cierre debe estar sujeta a cada botella en servicio, para cerrarla en caso de incendio. Un buen sistema es atarla al manorreductor.
- Las averías en los grifos de las botellas debe ser solucionadas por el suministrador, evitando en todo caso el desmontarlos.
- No sustituir las juntas de fibra por otras de goma o cuero.
- Si como consecuencia de estar sometidas a bajas temperaturas se hiela el manorreductor de alguna botella utilizar paños de agua caliente para deshelas.

Mangueras

- Las mangueras deben estar siempre en perfectas condiciones de uso y sólidamente fijadas a las tuercas de empalme.
- Las mangueras deben conectarse a las botellas correctamente sabiendo que las de oxígeno son rojas y las de combustible (normalmente propano) negras, teniendo estas últimas un diámetro mayor que las primeras.
- Se debe evitar que las mangueras entren en contacto con superficies calientes, bordes afilados, ángulos vivos o caigan sobre ellas chispas procurando que no formen bucles.
- Las mangueras no deben atravesar vías de circulación de vehículos o personas sin estar protegidas con apoyos de paso de suficiente resistencia a la compresión.
- Antes de iniciar el proceso de soldadura se debe comprobar que no existen pérdidas en las conexiones de las mangueras utilizando agua jabonosa, por ejemplo. Nunca utilizar una llama para efectuar la comprobación.
- No se debe trabajar con las mangueras situadas sobre los hombros o entre las piernas.
- Las mangueras no deben dejarse enrolladas sobre las ojivas de las botellas.
- Después de un retorno accidental de llama, se deben desmontar las mangueras y comprobar que no han sufrido daños. En caso afirmativo se deben sustituir por unas nuevas desechando las deterioradas.

Soplete

- El soplete debe manejarse con cuidado y en ningún caso se golpeará con él.
- En la operación de encendido debería seguirse la siguiente secuencia de actuación:
 - Abrir lentamente y ligeramente la válvula del soplete correspondiente al oxígeno.
 - Abrir la válvula del soplete correspondiente al combustible (normalmente propano) alrededor de 3/4 de vuelta.
 - Encender la mezcla con un encendedor o llama piloto.
 - Aumentar la entrada del combustible hasta que la llama no despida humo.
 - Acabar de abrir el oxígeno según necesidades.
 - Verificar el manorreductor.
- En la operación de apagado debería cerrarse primero la válvula del combustible (normalmente propano) y después la del oxígeno.
- No colgar nunca el soplete en las botellas, ni siquiera apagado.
- No depositar los sopletes conectados a las botellas en recipientes cerrados.
- La reparación de los sopletes la deben hacer técnicos especializados.
- Limpiar periódicamente las toberas del soplete pues la suciedad acumulada facilita el retorno de la llama. Para limpiarlas toberas se puede utilizar una aguja de latón.
- Si el soplete tiene fugas se debe dejar de utilizar inmediatamente y proceder a su reparación. Hay que tener en cuenta que fugas de oxígeno en locales cerrados pueden ser muy peligrosas.

Retorno de llama

- En caso de retorno de la llama se deben seguir los siguientes pasos:
 - Cerrar la llave de paso del oxígeno interrumpiendo la alimentación a la llama interna.
 - Cerrar la llave de paso del combustible (normalmente propano) y después las llaves de alimentación de ambas botellas.
 - En ningún caso se deben doblar las mangueras para interrumpir el paso del gas.

- Efectuar las comprobaciones pertinentes para averiguar las causas y proceder a solucionarlas.

Emplazamiento

- No deben ubicarse en locales subterráneos o en lugares con comunicación directa con sótanos, huecos de escaleras, pasillos, etc.
- Los suelos deben ser planos, de material difícilmente combustible y con características tales que mantengan el recipiente en perfecta estabilidad.

Ventilación

- En las áreas de almacenamiento cerradas la ventilación será suficiente y permanente, para lo que deberán disponer de aberturas y huecos en comunicación directa con el exterior y distribuidas convenientemente en zonas altas y bajas. La superficie total de las aberturas será como mínimo 1/18 de la superficie total del área de almacenamiento.

Instalación eléctrica

- Estará de acuerdo con los vigentes Reglamentos Electrotécnicos

Protección contra incendios

- Indicar mediante señalización la prohibición de fumar.
- Las botellas deben estar alejadas de llamas desnudas, arcos eléctricos, chispas, radiadores u otros focos de calor.
- Proteger las botellas contra cualquier tipo de proyecciones incandescentes.
- Si se produce un incendio se deben desalojar las botellas de lugar de incendio y se hubieran sobrecalentado se debe proceder a enfriarse con abundante agua.

Medidas complementarias

- Utilizar códigos de colores normalizados para identificar y diferenciar el contenido de las botellas.
- Proteger las botellas contra las temperaturas extremas, el hielo, la nieve y los rayos solares.
- Se debe evitar cualquier tipo de agresión mecánica que pueda dañar las botellas como pueden ser choques entre sí o contra superficies duras.

- Las botellas con caperuza no fija no deben asirse por ésta. En el desplazamiento, las botellas, deben tener la válvula cerrada y la caperuza debidamente fijada.
- Las botellas no deben arrastrarse, deslizarse o hacerlas rodaren posición horizontal. Lo más seguro en moverlas con la ayuda de una carretilla diseñada para ello y debidamente atadas a la estructura de la misma. En caso de no disponer de carretilla, el traslado debe hacerse rodando las botellas, en posición vertical sobre su base o peana.
- No manejar las botellas con las manos o guantes grasientos.
- Las válvulas de las botellas llenas o vacías deben cerrarse colocándoles los capuchones de seguridad.
- Las botellas se deben almacenar siempre en posición vertical.
- No se deben almacenar botellas que presenten cualquier tipo de fuga. Para detectar fugas no se utilizarán llamas, sino productos adecuados para cada gas.
- Para la carga/descarga de botellas está prohibido utilizar cualquier elemento de elevación tipo magnético o el uso de cadenas, cuerdas o eslingas que no estén equipadas con elementos que permitan su izado con su ayuda.
- Las botellas llenas y vacías se almacenarán en grupos separados.

Otras normas no reglamentarias

- Almacenar las botellas al sol de forma prolongada no es recomendable, pues puede aumentar peligrosamente la presión en el interior de las botellas que no están diseñadas para soportar temperaturas superiores a los 54oC.
- Guardar las botellas en un sitio donde no se puedan manchar de aceite o grasa.
- Si una botella de combustible (normalmente propano) permanece accidentalmente en posición horizontal, se debe poner vertical, al menos doce horas antes de ser utilizada. Si se cubrieran de hielo se debe utilizar agua caliente para su eliminación antes de manipularla.
- Manipular todas las botellas como si estuvieran llenas.
- En caso de utilizar un equipo de mantenimiento mecánica para su desplazamiento, las botellas deben depositarse sobre una cesta, plataforma o carro apropiado con las válvulas cerradas y tapadas con el capuchón de seguridad

4.3.2 Demolición manual

Para la realización de este método es necesario disponer de los siguientes útiles y herramientas: cuñas, mazas, picos, palas, cortafríos, punterolas, palanquetas, martillos, etc.

Con estos útiles se pueden demoler pequeños bloques de obra, con lo cual los cascotes nunca adquieren excesivo tamaño.

4.4 Principales riesgos y medidas preventivas en fase de ejecución

Los accidentes que pueden ocurrir con mayor frecuencia son: fractura de piernas, pinchazos por clavos en las extremidades superiores e inferiores, golpes por objetos o herramientas en distintas partes del cuerpo, caídas al mismo o distinto nivel, atrapamiento por objetos, proyección de partículas en los ojos, etc.

A fin de evitar los riesgos que puedan producir los accidentes expuestos, se han de tomar las precauciones necesarias, y que entre otras enumeramos:

- Sanear cada día al finalizar el turno y previamente al inicio de trabajos, todas las zonas con riesgo inminente de desplome.
- Colocación de testigos en lugares adecuados, vigilando su evolución durante toda la demolición.
- El derribo debe hacerse a la inversa de la construcción planta a planta, empezando por la cubierta de arriba hacia abajo. Procurando la horizontalidad y evitando el que trabajen operarios situados a distintos niveles.
- Se procurará en todo momento evitar la acumulación de materiales procedentes del derribo en las plantas o forjados del edificio, ya que lo sobrecargan.
- Para derribar las chimeneas, cornisas y voladizos, Susceptibles de desprendimientos, se dispondrá de un sólido andamiaje.
- Al retirar las chapas, las cubiertas se harán de forma simétrica respecto a la cumbre, y siempre desde esta a los aleros.
- A lo largo de la cumbre se dispondrá de un sistema de sujeción fijado a elementos resistentes para amarrar los cinturones de seguridad de los operarios y que permita la movilidad de los mismos.
- Cuando sea necesario trabajar sobre un muro externo que tenga piso solamente a un lado y altura superior a los 10 m., debe establecerse en la otra cara, un andamio.

- Cuando el muro es aislado, sin piso por ninguna cara y su altura sea superior a 6 m, el andamio se situará por las dos caras.
- Sobre un muro que tenga menos de 35 cm de espesor, nunca se colocará un trabajador.
- La tabiquería interior se ha de derribar a nivel de cada planta, cortando con rozas verticales y efectuando el vuelco por empuje que se hará por encima del punto de gravedad.
- Las vigas, armaduras y elementos pesados, se desmontarán por medio de poleas.
- Se ha de evitar el dejar distancias excesivas entre las uniones horizontales de las estructuras verticales.
- Ya hemos dicho que el escombros se ha de evacuar por tolvas o canaletas, por lo que esto implica la prohibición de arrojarlo desde lo alto al vacío.
- Los escombros producidos han de regarse de forma regular para evitar polvaredas.
- Se debe evitar trabajar en obras de demoliciones y derribos cubiertas de nieve o en días de lluvia.

4.5 Protecciones

4.5.1 Protecciones colectivas

Como método de trabajo y en el campo de la protección, prioritariamente se utilizarán las protecciones técnicas que son colectivas y más eficaces, agotando al máximo este sistema.

Las protecciones técnicas y colectivas más utilizadas son: los apeos y apuntalamientos, que garantizan la estabilidad de los elementos que pudieran desprenderse durante el derribo, las barandillas correctamente instaladas en huecos y las lonas, redes, etc.

4.5.2 Protecciones personales

Los operarios que trabajen en obras de derribos, han de disponer y utilizar en todo momento las prendas de protección personal necesarias que sean homologadas y de calidad reconocida:

- Cascos de seguridad.
- Guantes de cuero, cota de malla, etc.
- Botas de seguridad con plantilla de acero y puntera reforzada.

- Ropa de trabajo en perfecto estado de conservación.
- Gafas de seguridad antipartículas y anti-polvo.
- Cinturón de seguridad de sujeción o de suspensión.
- Mascarillas individuales contra el polvo y/o equipo autónomo.

Acabada la demolición, se hará una revisión general de edificaciones medianeras y colindantes, viales e instalaciones adyacentes, adoptándose las medidas adicionales que fuesen necesarias. Se dejarán las protecciones, cerramientos, huecos de arquetas o pozos convenientemente protegidos y señalizados.

Movimiento de tierras:

Tanto el desbroce y limpieza necesario si procede, como la excavación de la zona hasta la cota de cimentación, deberán ser realizados con maquinaria debidamente matriculada, con la documentación de maquinista y máquina debidamente legalizada.

Desarrollo de las fases de trabajo:

Antes de empezar cualquier trabajo

- Se precisa conocer las reglas y recomendaciones que aconseja el contratista de la obra. Así mismo deben seguirse las recomendaciones especiales que realice el encargado de la obra.
- El conductor deberá usar prendas de protección personal:
 - Casco protector de la cabeza: Habitualmente la cabeza del conductor está protegida con cabina, pero es indispensable el uso del casco protector cuando se abandona la misma para circular por la obra. El casco de seguridad estará homologado (MT-1).
 - Botas de seguridad antideslizantes: El calzado de seguridad es importante debido a las condiciones en las que se suele trabajar en la obra (con barro, agua, aceite, grasas, etc.).
 - Protección de los oídos: Cuando el nivel de ruido sobrepase el margen de seguridad establecido y en todo caso, cuando sea superior a 80 dB, será obligatorio el uso de auriculares o tapones. Serán homologados (MT-2).
- Ropa de trabajo: No se deben utilizar ropas de trabajo sueltas que puedan ser atrapadas por elementos en movimiento. Eventualmente, cuando las condiciones atmosféricas lo aconsejen y el puesto de mando carezca de cabina, el conductor deberá llevar ropa que le proteja de la lluvia.

- Guantes: El conductor deberá disponer de guantes adecuados para posibles emergencias de conservación durante el trabajo.
- Protección de la vista: Así mismo, y cuando no exista cabina, el conductor deberá hacer uso de gafas de seguridad a fin de protegerse de la proyección de partículas en operaciones de excavación.
- Toda prenda de protección personal estará homologada siempre que lo exija la normativa vigente.

Se conocerán las normas de circulación en la zona de trabajo, las señales y balizamientos utilizados tales como: banderolas, vallas, señales manuales, luminosas y sonoras.

Cuando se deba trabajar en la vía pública, la máquina deberá estar convenientemente señalizada de acuerdo con lo indicado en el Código de Circulación.

El conductor deberá conocer la zona de trabajo, además de:

- Conocer el plan de circulación de la obra y cada día informarse de los trabajos realizados que puedan constituir un riesgo: zanjas abiertas, tendido de cables, etc.
- Conocer la altura de la máquina circulando y trabajando, así como las zonas de altura limitada o estrechas.
- Con el tren de rodadura de ruedas de goma, circular con precaución o velocidad lenta en zonas de polvo, barro o suelo helado
- Realizar un buen mantenimiento de las zonas de circulación.

Al arrancar la máquina:

- Comprobar que ninguna persona se encuentra en las cercanías de la máquina, y si hay alguien, hacer que se aparte de sus inmediaciones.
- Secarse las manos, quitarse el fango de los zapatos antes de subir a la máquina
- Utilizar empuñaduras y estribos para subir, si están estropeados se repararán.
- Verificar regulación del asiento.
- Seguir las instrucciones del manual del constructor.

En terreno con pendiente seguir las siguientes medidas preventivas:

- No bajar de lado

- Para desplazarse sobre un terreno en pendiente, orientar el brazo de la maquina hacia la parte de abajo, tocando casi el suelo.
- Para extracción, trabajar de cara a la pendiente.
- Al parar, orientar el equipo hacia la parte alta de la pendiente y apoyarlo en el suelo.
- Una pendiente se baja con la misma velocidad que se sube.
- No bajar nunca una pendiente con el motor parado o en punto muerto, bajar con una marcha puesta.

En trabajos de demolición seguir las siguientes premisas:

- No derribar con la cuchara elementos de construcción en los que la altura por encima del suelo es superior a la longitud de la proyección horizontal del brazo en acción.
- Tapar los huecos del suelo antes de circular. Si esto no es posible, balizar la zona.
- Cuando se realicen rampas, no utilizar vigas de madera o hierro que puedan dejar oquedades.
- Equipar a la cabina de una estructura que proteja al conductor contrala caída de materiales.

Si se trabaja en lugar peligroso:

- Cuando se trabaja en zanja, en cantera, junto a taludes en los que haya peligro de caída de materiales o de vuelco de la maquina se equipará la retroexcavadora con cabina antivuelco y contra caída de objetos.
- Si se entra en una galería oscura, encender los faros y las luces deposición.

Al finalizar la jornada de trabajo se han de seguir una serie de medidas preventivas, tales como:

Llenado de carburante:

- Cuando se llene el depósito no fumar y tener el motor parado.
- Colocarse a favor del viento para no quedar salpicado.
- Cerrar bien el tapón del depósito.

Al aparcar la máquina:

- Es preferible parar la maquina en terreno llano, calzar las ruedas y apoyar el equipo en el suelo.
- El suelo donde se estacione la maquina será firme y sólido; en invierno no estacionar la maquina en el barro o en charcos de agua, ya que puede helar.
- Para parar la máquina, consultar el manual del constructor.
- Colocar todos los mandos en punto muerto.
- Colocar el freno de parada y desconectar la batería.
- Quitar la llave de contacto y guardarla el maquinista, asimismo cerrar la puerta de la cabina.
- Bajar de la cabina utilizando las empuñaduras y escalones diseñados para ello. Siempre mirando a la máquina.

Queda totalmente prohibido:

- Subir pasajeros
- Utilizar la pala como andamio o apoyo para subir personas.
- Colocar la cuchara por encima del camión.
- No respetar las señalizaciones.
- Subir o bajar en marcha sea cual sea su velocidad.
- Trabajar en las proximidades de una línea eléctrica aérea con tensión sin asegurarse que se han tomado las distancias mínimas de seguridad, siendo para líneas de menos de 66.000 V 3m, y de 5m para las de más de 66.000V.
- Ingerir bebidas alcohólicas antes y durante el trabajo.
- Consejos para el conductor:
 - No ingerir bebidas alcohólicas antes y durante el trabajo.
 - No tomar medicamentos sin prescripción facultativa, especialmente tranquilizantes.
 - No realizar carreras, ni bromas a los demás conductores.
 - Estar únicamente atento al trabajo.
 - No transportar a nadie en la cuchara.

- Cuando alguien debe guiar al maquinista, éste no lo perderá nunca de vista.
- No dejar nunca que este ayudante toque los mandos.
- Reducción del polvo en el lugar de trabajo, por medio de una ventilación eficaz y sistemas de extracción localizada.
- Proveer a las cabinas de los vehículos empleados (volteadora, pala cargadora, etc.) de ventilación a través de filtros que impidan la entrada de microorganismos al interior, así como un adecuado mantenimiento de los mismos.
- Encender los faros al final del día para ver y ser visto.

Cimentación:

La cimentación se realizará mediante losa de hormigón armado y muros de contención.

- Se colocará la ferralla y se procederá al hormigonado y posteriormente se someterá a vibrado. Se han de tomar las siguientes medidas preventivas:
 - Los productos de la excavación se transportaran directamente a vertedero, entregándose previamente al PROMOTOR, la documentación en regla de máquinas, camiones, maquinistas, etc.
 - Los acopios de materiales se harán de forma que el centro de gravedad de la carga, esté a una distancia igual a la profundidad de la zanja o pozo más un metro
 - Cuando la excavación vaya a estar más de un día abierta, al existir tráfico de personal o de terceros en las proximidades, deberá protegerse el riesgo de caída a distinto nivel, mediante una barandilla reglamentaria (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de dos metros del borde.
 - Ante la existencia de conducciones eléctricas próximas a la zona de trabajo, se señalarán previamente, suspendiendo los trabajos mecánicos, continuando manualmente. Se avisará lo antes posible a los propietarios de la instalación para intentar realizar los trabajos con ésta fuera de servicio.
 - Deben existir pasarelas protegidas por barandillas que permitan atravesar sin riesgo. Además deben existir escaleras de mano suficientes para permitir salir de las zanjas en caso de emergencia con suficiente rapidez, estando las vías de salida libres de obstáculos.

- Cuando las zanjas o los pozos tengan más de un metro de profundidad, siempre que haya operarios en su interior, deberá mantener uno en exterior, que podrá actuar como ayudante en el trabajo, y dará la alarma en caso de producirse alguna emergencia.

Es conveniente que se establezca entre los operarios un sistema de señales acústicas para ordenar la salida de la zanja en caso de peligro.

- Queda prohibido trabajos simultáneos en distintos niveles de la misma vertical, ni se trabajará sin casco de seguridad. Además se evitará situar cargas suspendidas por encima de los operarios.

- Las maniobras de la maquinaria y camiones serán dirigidos por personal distinto al conductor.

- Si es necesario que se acerquen vehículos al borde de la excavación, se instalarán topes de seguridad a base de tabloncillos de madera embutidos en el terreno

- La anchura de las zanjas será la suficiente para permitir la realización de los trabajos recomendándose en función de la profundidad las siguientes:

Hasta 1,5 metros anchura mínima de 0,65 metros.

Hasta 2 metros anchura mínima de 0,75 metros.

Hasta 3 metros anchura mínima de 0,80 metros.

- Las anchuras anteriores se consideran libres, medidas entre las posibles entibaciones si existieran

- Cuando la profundidad de la zanja sea superior a 1,5 m y existan problemas de desprendimientos se recurrirá a un sistema de entibación cuajada (revistiendo el 100% de la pared).

- Queda totalmente prohibido entibar sobre superficies inclinadas, realizándolo siempre sobre superficies verticales, y en caso necesario se rellenará el trasdós de la entibación para asegurar un perfecto contacto entre esta y el terreno.

- Deberán revisarse diariamente las entibaciones antes de comenzar la jornada de trabajo, tensando los cordales que se hayan aflojado.

- Las entibaciones o partes de estas se quitarán sólo cuando dejen de ser necesarias, y siempre por franjas horizontales empezando por la parte inferior del corte. Hay que

tener en cuenta que tan peligroso resultan las operaciones de entibado como desestibado.

- Se señalizará adecuadamente con carteles.

Estructura Metálica:

Para realizar la estructura se empezará colocando los soportes y apoyos en los pilares metálicos según detalles del proyecto de ejecución.

Toda la estructura metálica se irá montando por fases en el suelo para posteriormente izarla mediante grúas móviles hasta su lugar definitivo donde se procederá a los trabajos de terminación y remate, usándose en todo momento los medios individuales de protección contra caídas a distinto nivel, así como los propios para caídas de objetos. Estas operaciones se realizarán con la ayuda de grúas móviles y manipuladoras telescópicas. Se han de tomar las siguientes medidas preventivas:

- Hay que asegurarse de que la carga está perfectamente enganchada y equilibrada, y deberá transportarse sujeta como mínimo por dos puntos.
- Revisar periódicamente los elementos de amarre: cuerdas, cables y cadenas.
- El posicionamiento de los perfiles en su lugar de montaje debe ser guiado mediante cuerdas, por un operario que quede fuera de la vertical del material que se esté manipulando.
- Revisar frecuentemente las llaves para los tornillos y demás elementos.
- Almacenar los perfiles ordenados, de acuerdo a sus dimensiones y orden de utilización, en capas horizontales y sobre durmientes de madera; se procurará que sea lo más próximo posible a su lugar de montaje.
- Habrá que disponer de un extintor de incendios adecuado.
- Asegurarse antes del comienzo de los trabajos, de que en la zona no hay materiales inflamables y explosivos.
- Se deberá acotar la zona de trabajo.
- No realizar trabajos de soldadura en superficies que contengan grasas o aceites, así como en zonas donde se almacenen o empleen pinturas inflamables, barnices, disolventes, etc.
- Se prohíbe fumar.

- Queda prohibido trabajar sin los equipos de protección individual en los trabajos de soldadura y oxicorte.
- En el montaje de la estructura, está prohibido trabajar sin instalar los sistemas de protección colectiva e individual que impidan o limiten la caída.
- Prohibido utilizar grupos electrógenos sin conexionado de los mismos a tierra o sin protección.

Ejecución de elementos de hormigón armado:

Se ejecutaran los elementos verticales (muros de hormigón armado).

Los trabajos de encofrado de elementos de hormigón armado se ajustaran al proyecto de ejecución y a las indicaciones de la D.F. de las obras.

- El ascenso y descenso del personal a los encofrados se efectuará a través de escaleras de mano reglamentarias.
- Para el tránsito sobre el forjado en construcción se dispondrán pasarelas de circulación apoyadas sobre elementos resistentes del conjunto de 60 cm de ancho como mínimo.
- Se recomienda caminar apoyando los pies en dos tableros a la vez, es decir, sobre las juntas.
- Se instalarán listones sobre los fondos de madera de las losas de escalera, para permitir un más seguro tránsito en esta fase y evitar deslizamientos.
- Se instalarán barandillas reglamentarias en los frentes de aquellas losas horizontales, para impedir la caída al vacío de las personas.
- Se esmerará el orden y la limpieza durante la ejecución de los trabajos.

DESENCOFRADO Y TRABAJOS POSTERIORES:

- Desencofrar los elementos verticales desde arriba hacia abajo.
- Los desencofrados se utilizaran mediante barra de uñas realizando la operación desde zona ya desencofrada.
- Concluido el desencofrado, se apilarán los tableros ordenadamente para su transporte sobre bateas emplintadas, sujetas con sogas atadas con nudos de marinero (redes, lonas).
- Terminado, el desencofrado, se procederá a un barrido de la planta para retirar los escombros y proceder a su vertido mediante trompas(o bateas emplintadas).

- Los clavos o puntas existentes en la madera usada, se extraerán. No dejar nunca clavos en la madera, salvo que esta quede acopiada en lugar donde nadie pueda pisar.
- Se cortarán los latiguillos y separadores en los pilares ya ejecutados para evitar el riesgo de cortes y pinchazos al paso de los operarlos cerca de ellos.
- Una vez concluido un determinado tajo, se limpiará eliminando todo el material sobrante, que se apilará, en un lugar conocido para su posterior retirada.
- Se instalarán cubridores de madera sobre las esperas de ferralla de las losas de escalera.
- Los clavos sueltos o arrancados se eliminarán mediante un barrido y apilado en lugar conocido para su posterior retirada.
- Los huecos del forjado, se cubrirán con madera clavada antes de proceder al armado.
- Los huecos del forjado permanecerán siempre tapados para evitar caídas a distinto nivel.

NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD:

Antes de autorizar la subida de personas al forjado para armarlo y hormigonarlo, el Encargado debe revisar la verticalidad y estabilidad de los puntales y la correcta nivelación de las sopandas. Solamente entonces autorizará proseguir con el trabajo.

- Se suspenderán los trabajos al exterior en presencia de vientos fuertes y lluvias intensas.
- Se advertirá del riesgo de caída a distinto nivel al personal que deba caminar sobre el entablado.
- Uso correcto de todo el equipo de protección personal que se asigne: casco, gafas, cinturones, guantes etc.
- No hacer temeridades.
- El ascenso o descenso de personal a los encofrados se realizará por escaleras de mano reglamentarias.
- Se instalarán listones provisionales de madera en fondos de encofrados de losas de madera para evitar deslizamientos en estafase de obra.

- Se protegerán y señalizarán debidamente las esperas de hierro redondo en arranque de losas de escaleras y donde existe peligro de caídas sobre ellas ante el peligro de hincado en personas.
- Se balizarán las armaduras metálicas de esperas de pilares y muros de hormigón.
- Se protegerán los extremos de forjados o encofrados y los huecos de forjados con redes, barandillas y cubrimientos de huecos.
- Se esmerará el orden y la limpieza en la ejecución de los trabajos.
- Los clavos o puntas en madera usada se extraerán o remacharán.
- Terminado un tajo, se limpiará todo el material sobrante, apilándolo para su posterior retirada.
- Antes del vertido del hormigón se comprobará la buena estabilidad del conjunto.
- Queda prohibido encofrar sin antes haber cubierto el riesgo de caída desde altura mediante la rectificación de la situación de redes, protecciones de huecos y barandillas.
- Se prohíbe circular sobre sopandas, se tenderán tableros que actúen de caminos seguros y se circulará sujetos al cable con cinturón de seguridad.
- Se prohíbe apoyar escaleras de mano sobre puntales.
- El izado de tableros o bovedillas recuperables se efectuará mediante bateas emplintadas, colocando el material ordenado y sujeto mediante flejes, cuerdas, redes o lonas.
- La instalación de tableros o bovedillas recuperables sobre sopandas se realizará desde castillete de hormigonado o andamio adecuado.
- Los desencofrados se utilizarán mediante barra de uñas realizando la operación desde zona ya desencofrada. Terminado el desencofrado se apilarán los tableros para su transporte en bateas emplintadas, y se recorrerá la planta retirando los escombros sobrantes.
- Antes de autorizar la subida de personal al forjado para armarlo se revisará la verticalidad y buena estabilidad de puntales y del conjunto.

Vertido de hormigón

- Antes del inicio del vertido del hormigón, el capataz o encargado revisará el buen estado de seguridad de las entibaciones de contención de tierras de los taludes de vaciado que interesan a la zona de muro que se va a hormigonar, para realizar los refuerzos o saneos que fueran necesarios.
- El acceso al trasdós del muro (espacio comprendido entre el encofrado externo y el talud del vaciado) se efectuará mediante escaleras de mano. Se prohíbe el acceso escalando.
- Antes del inicio del hormigonado, el capataz o encargado, revisará el buen estado de seguridad de los encofrados en prevención de reventones y derrames.
- El hormigonado se realizará desde plataforma en coronación de encofrado, torreta o andamio tubular.
- Antes del inicio del hormigonado y como remate de los trabajos de encofrado, se habrá construido la plataforma de trabajo de coronación del muro o se habrá colocado en su lugar la torreta o andamio desde el que se realizará el vertido.
- El acceso a la plataforma de trabajo se realizará mediante escaleras de mano reglamentarias.
- Se establecerán a una distancia mínima de 2 m. (como norma general), fuertes topes de final de recorrido, para los vehículos que deban aproximarse al borde de los taludes de vaciado, para verter el hormigón.
- El vertido del hormigón en el interior del encofrado se hará repartiéndolo uniformemente a lo largo del mismo, por tongadas regulares, en evitación de sobrecargas puntuales que puedan deformar o reventar el encofrado.
- El desencofrado del trasdós del muro se efectuará lo más rápidamente posible, para no alterar la entibación si la hubiere, o la estabilidad del talud natural.
- Los grandes huecos se protegerán tendiendo redes horizontales en la planta inmediatamente inferior. En el momento en que el forjado lo permita se izara en torno a los huecos el peto definitivo de fábrica, en prevención de caídas al vacío.
- Los puntales se colocarán sobre madera clavados.
- Se prohíbe concentrar cargas de hormigón en un solo punto. Para prevenir el riesgo catastrófico, se prohíbe verter el contenido del cubo de servicio en un único punto del

forjado que se dispone a hormigonar; es decir, concentrar cargas de hormigón en un solo punto para ser extendidas con rastrillos y vibrador.

- El vertido se realizará extendiendo el hormigón con suavidad sin descargas bruscas, y en superficies amplias.
- Se establecerán plataformas móviles de un mínimo de 60 cm. De ancho (tres tablones trabados entre sí) desde los que ejecutar los trabajos de vibrado o vertido del hormigón.
- Se establecerán caminos de circulación sobre las superficies a hormigonar formados por líneas de tres tablones de anchura de 60cm.
- Se prohíbe transitar pisando directamente sobre las bovedillas (cerámicas o de hormigón) en prevención de caídas a distinto nivel.
- Se prohíbe cargar los forjados en los vanos una vez encofrados y antes de transcurrido el periodo mínimo de endurecimiento, en prevención de flechas y hundimientos.
- Antes del inicio del hormigonado, se revisará la correcta disposición y estado de las redes de protección de los trabajos de estructura.
- Se prohíbe trepar por los encofrados de pilares o permanecer en equilibrio sobre los mismos.
- Se vigilará el buen comportamiento de los encofrados durante el vertido del hormigón, paralizándolos en el momento que se detecten fallos.
- No se reanudará el vertido hasta restablecer la estabilidad mermada.
- El hormigonado y vibrado del hormigón se realizará desde castilletes de hormigonado.
- La cadena de cierre del acceso de la torreta de hormigonado permanecerá amarrada, cerrando el conjunto siempre que sobre la plataforma exista algún operario.
- Se revisará el buen estado de los huecos en el forjado, reinstalando las tapas que falten y clavando las sueltas diariamente.
- Se revisará el buen estado de las viseras de protección contra caídas de objetos, solucionándose los deterioros diariamente.
- Se dispondrán accesos fáciles y seguros para llegar a los lugares de trabajo.

- Se esmerará el orden y la limpieza durante esta fase. El barrido de puntas, clavos y restos de maderas y de serrín será diario, prestando especial atención a los restos de alambres.
- Seguir recomendaciones para manipulación de cargas y posturas forzadas.

Carpintería y cerrajería:

· Las carpinterías y cerrajerías a colocar en los interiores de las naves y en las distintas dependencias se ajustarán al proyecto de ejecución y a las indicaciones de la D.F. de las obras, correspondiendo a unidades de ventanas, puertas metálicas, cerramientos de parcela y elementos de seguridad y protección. Se han de tomar las siguientes medidas preventivas:

- La colocación de cercos y hojas de puertas y ventanas se llevará a cabo por dos personas para evitar vuelcos, golpes y caídas.
 - Los cercos de ventana se deberán apuntalar sobre precerco para evitar el vuelco de las mismas, tanto hacia el interior como el exterior.
 - La conexión con los cuadros eléctricos se realizará con las correspondientes clavijas macho-hembra.
 - Instalar anclajes y cuerdas para cinturones de seguridad en los alféizares.
 - Las colas, barnices, decapantes, disolventes y pinturas han de quedar almacenados en espacios ventilados, disponiendo en las proximidades de un extintor de polvo seco y señalización expresa de "Prohibido fumar", para evitar incendios y explosiones.
 - Depositar los restos de trapos, algodón, papel, etc. impregnados de disolvente o pintura en recipientes adecuados y destinados a tal uso.
 - El transporte a mano de lamas, rodapiés u otros elementos de longitud superior a 2 m se realizará teniendo en cuenta que la punta quede siempre a una altura superior a la de una persona para evitar el golpe a otros operarios.
- Equipos de Protección:
- Guantes y casco de protección.
 - Botas de seguridad con puntera reforzada.
 - Gafas anti-partículas.

- Arnés de seguridad anticaídas.

Cubierta:

Los principales riesgos y factores de riesgo asociados a la realización de trabajos sobre cubiertas de materiales ligeros, claraboyas, lucernarios, etc., son:

Caídas de altura: al subir o bajar de la cubierta mediante escaleras manuales portátiles o fijas; por rotura de las cubiertas al pasar el operario; pisar directamente sobre claraboyas o tragaluces interiores de insuficiente resistencia; por las inclemencias atmosféricas.

Caída de objetos o de parte de la cubierta sobre personas: por acumular cargas excesivas sobre las mismas; al pisar directamente sobre la superficie rompiéndose una parte de la misma; por contactos eléctricos con cables accesibles desde la cubierta.

El acceso se realiza mediante escalas fijas verticales o inclinadas se deberían cumplir las recomendaciones especificadas en la NTP-408-96 “Escalas fijas deservicio” con las siguientes particularidades:

- Al pie de la escalera se instalará un cartel que indique la prohibición de uso por personal no autorizado además de instalar una puerta provista de cierre con llave.
- Al final de la escalera instalar una barandilla basculante con dispositivo de cierre automático por gravedad asegurando que el operario no caerá por la abertura de la escala.
- Además se cumplirá lo indicado en el punto relativo a los equipos individuales de protección personal y más concretamente sobre la utilización de dispositivos anticaídas.

Protecciones colectivas: La instalación de protecciones colectivas (redes de seguridad, barandillas, pasarelas, cables de vida, telas metálicas, etc.) de forma permanente o eventual asegura al trabajador contra cualquier caída por rotura de parte de la cubierta, lucernarios, claraboyas, etc.

Se deben instalar redes de seguridad siempre que las condiciones de la nave así lo permitan y como medida complementaria a otras frente a la existencia del riesgo de caída de altura. La utilización eficaz de las redes implica seguir las reglas que se resumen en:

- Instalarlas bajo la zona de trabajo y de circulación.

- Montarlas lo más cerca posible de la superficie de trabajo, para que en el caso de una caída eventual, el operario no pueda encontrar en su trayectoria ningún obstáculo de la estructura inferior; además la altura de caída se debe limitar a un máximo de 6 m.
- Por otro lado la superficie o zona de la cubierta que la red protege debe estar permanentemente acotada mientras duren todos los trabajos a fin y efecto de impedir que se pueda circular por zonas no protegidas.
- Su instalación la efectuarán equipos especializados.
- Controlar el estado de las redes en el tiempo ya que sus cualidades mecánicas se ven alteradas en particular por los rayos ultravioletas y la humedad. Su sustitución será imperativa periódicamente aconsejándose cada año o antes si se comprueba algún tipo de deterioro.

La instalación de barandillas perimetrales debe cumplir las siguientes normas:

- Prever puntos de anclaje permanentes de los montantes soporte de las barandillas en el perímetro de los tejados de los edificios.
- Situar las barandillas de protección rígida en el perímetro del tejado a una altura que será función de la pendiente del tejado y de su geometría; en ningún caso será inferior a 0,90 m. y se complementará con un rodapié de 30 cm. de altura que impida la caída de objetos o materiales. La resistencia será de 150 Kg. / ml.
- Estar instaladas permanentemente sobre todo si se interviene frecuentemente en la cubierta.

Para no pisar directamente sobre las cubiertas se utilizan pasarelas de circulación entre la cubierta y los trabajadores facilitando de esta forma la realización de trabajos sobre éstas. Para facilitar su montaje deben estar diseñadas para ser ensambladas a medida que se avanza en los trabajos y ser desplazadas sin que en ningún caso el trabajador deba apoyarse directamente sobre la cubierta. Según la frecuencia de acceso a la cubierta las pasarelas deben dejarse permanentemente sobre ella y sobre todo nunca debe quedarse solo un trabajador realizando las operaciones encomendadas.

El ensamblaje de las pasarelas se hace mediante dos eclisas que se introducen en cada uno de los dos extremos doblados de una pasarela. Luego se ensamblan con una segunda pasarela.

Instalación de un cable de vida, que consiste en instalar longitudinalmente sobre la cumbrera un cable de acero inoxidable con fijación en sus dos extremidades y soportado a intervalos regulares por unos puntos de anclaje intermedios destinados a absorber los esfuerzos del cable. La unión entre el cable de vida y el arnés de seguridad se lleva a cabo mediante un carro especialmente diseñado para recorrer toda su longitud. El carro se desliza por el cable sin ninguna manipulación extra y en caso de caída el carro se bloquea, anulando así los riesgos de pendolaje.

Instalación de telas metálicas permanentes, siendo un sistema apropiado para ser montado en la fase de construcción de la cubierta. Las telas metálicas se fijan sobre las correas antes de colocar las piezas de material ligero. La malla debe ser galvanizada y los intersticios no superiores a 0,10 m de forma que el pie de un operario no pueda atravesarla en caso de rotura de la cubierta; el diámetro de los alambres será de 2 mm como mínimo.

Para evitar que tanto el material que forma la cubierta como la tela metálica se dañen con la presión, es recomendable la instalación sobre las correas de unas bandas de espuma plástica. El tamaño aconsejable de cada uno de los paneles enrejados podría ser de 2 m² de superficie y ligeramente ensamblados unos con otros y fijados a la estructura soporte de la cubierta de forma que en caso de una sobrecarga eventual esta se reparta proporcionalmente a los paneles adyacentes al que está sometido a dicha sobrecarga.

4.5.3 Caídas de altura a través de lucernarios o claraboyas y otras pequeñas aberturas cubiertas de material ligero

Las medidas de prevención para evitar la caída de altura en lucernarios o claraboyas abarcan por un lado la construcción e instalación y por otro los lucernarios o claraboyas ya instalados.

Los lucernarios o claraboyas deben montarse y construirse de forma que puedan soportar una carga estática de 90 Kg. aplicados perpendicularmente sobre cualquier punto de la superficie. Además se deben instalar por encima del nivel normal del suelo de la cubierta.

Para los lucernarios ya montados es conveniente proteger sus lados accesibles mediante barandillas de suficiente resistencia de forma que se distingan del resto de la cubierta en caso estar cubiertas de nieve o polvo.

Otra forma de protección es cubrirlos con emparrillados metálicos de una resistencia equivalente a la indicada para el propio material de cobertura. Su instalación debe garantizar que no queden limitadas las funciones normales del lucernario o claraboya y permitan el mantenimiento periódico previsto.

Para reforzar la seguridad se pueden colocar carteles de prohibición que indiquen “No sentarse, pisar o saltar”.

4.5.4 Caída de objetos sobre personas o instalaciones

Debe prohibirse dejar directamente sobre la cubierta objetos, materiales, accesorios de limpieza, etc.; estos se depositarán sobre las pasarelas colocadas para circular los operarios.

No se pisará directamente sobre la cubierta ligera para que en caso de rotura y aunque no se produzca la caída del operario, las partes de la cubierta rotas puedan caer sobre las personas o instalaciones que se encuentren en la vertical del lugar donde se produzca el incidente.

4.5.5 Contactos eléctricos

Para prevenir el riesgo de contacto eléctrico con cables accesibles desde la cubierta, no se deben efectuar trabajos en las proximidades de conductores o elementos bajo tensión, desnudos o sin protección, salvo que estén desconectados de la fuente de energía.

Si a pesar de ello se deben realizar trabajos los cables se desviarán o se protegerán mediante fundas aislantes o apantallamiento. Para el caso de líneas de alta tensión se seguirá lo dispuesto en el vigente Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

Queda prohibido la manipulación y el montaje de la cubierta sin la colocación previa de elementos de seguridad, tales como redes de protección fijadas a elementos estructurales, y línea de vida, formada por cable de acero de seguridad fijado a dos puntos resistentes de las limatesas, para poder fijar los cinturones de seguridad.

No se deben realizar trabajos si las condiciones atmosféricas, sobre todo el viento así lo desaconsejan. Como regla general no se trabajará si llueve o si la velocidad del viento es superior a los 50 Km. /h, debiéndose retirar cualquier material o herramienta que pueda caer desde la cubierta.

El extendido y recibido de cumbreras y baberos de plomo o similares, entre planos inclinados se realizarán siempre con cinturones de seguridad amarrados a cable de seguridad debidamente fijado a elementos fuertes de estructura.

Se deberá llevar un programa de mantenimiento preventivo que lleve a cabo revisiones periódicas de todos los elementos relacionados con los sistemas de prevención de las caídas de altura (cables, pasarelas, escaleras, E.P.I's, etc.) sustituyéndolos cuando su estado así lo aconseje siguiendo en todo caso las instrucciones de los fabricantes.

Albañilería y revestimientos

Se debe informar a los trabajadores acerca de los riesgos existentes en el trabajo y las medidas de control que deben seguirse, así como impartir la formación necesaria para la realización de cada tarea.

Vallar la obra para evitar el acceso a la misma de personas que no trabajen en ella. Crear accesos seguros a las zonas de trabajo, (Andamios, tejados, zanjas, etc.) mediante la utilización de pasarelas y torres de acceso protegidas.

Señalizar toda la obra indicando las vías de tráfico de los vehículos. Marcar en el suelo las zonas de paso de estos y las vías de los peatones manteniendo, si es posible una separación física entre ambas. Indicar la prohibición de entrada de personas ajenas a la obra mediante la señal correspondiente.

Mantener seguras las vías de tráfico. Señalar y delimitar espacios “seguros” alrededor de los vehículos de carga y de la maquinaria de excavación (retroexcavadora, pala cargadora, buldócer, etc.) Los límites vienen dados por el alcance máximo de estos vehículos, ya sean propios de la obra, instalados sobre camión o móviles. Se deben señalar y vallar en cada caso.

Formar de manera específica a los conductores de los vehículos mencionados (Deben disponer de un documento acreditativo). Además, es necesario que el trabajador tenga la autorización expresa de la empresa.

Usar los dispositivos obligatorios de seguridad de las maquinas (señales sonoras y protectores) y revisar su buen funcionamiento.

Dotar la obra con instalaciones higiénicas y de descanso que cubran las necesidades de todas las personas que trabajan en ella. Establecer procedimientos de emergencia

instalando los medios necesarios contraincendios (extintores, vías de evacuación, etc.) y de primeros auxilios.

Instalar los montacargas y elevadores de manera que su solidez y estabilidad estén garantizadas.

Asignar el montaje, desmontaje y modificación de andamios a personas formadas para ello. Comprobar periódicamente su estado de seguridad, sobre todo después de mal tiempo. Instalar en ellos barandillas, rodapiés y redes para evitar la caída de personas y objetos.

Utilizar equipos mecánicos de manipulación de carga y eliminar, en lo posible, la manipulación manual. Formar a las personas que trabajan sobre como levantar cargas con seguridad.

Instaurar medidas para reducirla exposición al ruido. Prioritariamente, se procurará el aislamiento de las máquinas productoras de ruido y el uso de los EPI (orejeras y tapones). Almacenar de forma segura las sustancias peligrosas siguiendo las indicaciones de las fichas de Datos de Seguridad.

Utilizar los equipos de protección personal que sean necesarios: casco, guantes, calzado, cinturón, mascarillas contra la exposición al polvo (madera, silicatos, etc.).

Instalar protecciones colectivas contra caídas en todos los lugares que sean necesarios (barandillas, cobertura de huecos, redes de seguridad). Identificarlos techos y partes frágiles de la obra y proteger los agujeros con cubiertas marcadas fijas para evitar las caídas.

Instalar protecciones que eviten que las personas o los vehículos caigan en las excavaciones: vallas señalizadas (franjas rojas y blancas) a 1,50m mínimo del borde del va-ciado; barandillas en zonas de paso a 0,60 m del borde del vaciado; topes de seguridad para vehículos, etc.

4.5.6 Entornos al lugar de la obra:

El acceso a la obra no entraña ninguna dificultad al poder realizarse a través de los viarios existentes. En cuanto a la circulación de personas ajenas a la obra, hay que tener en cuenta, en primer lugar, que el acceso al recinto queda impedido, y en segundo lugar, que la circulación periférica está controlada sin riesgo alguno para el tráfico de la zona.

Topográficamente, el terreno no presenta dificultades.

4.5.7 Instalación eléctrica

Se debe Informar a los trabajadores acerca de los riesgos existentes en el trabajo y las medidas de control que deben seguirse, así como impartir la formación necesaria para la realización de cada tarea.

Riesgos más frecuentes:

- Quemaduras por deflagración eléctrica.
 - Contactos eléctricos directos.
 - Contactos eléctricos indirectos.
 - Caída de personas al mismo nivel.
 - Caída de personas a distinto nivel.
- Medidas preventivas y protecciones colectivas:
- La instalación eléctrica será realizada por técnicos especialistas, haciendo uso del REBT.
 - Cortar el suministro de energía por el interruptor principal, que se colocará en un lugar visible y conocido por los operarios, ante cualquier operación que se realice en la red.
 - La conexión del cuadro general con la línea suministradora será el último cableado de la instalación.
 - Inspeccionar las conexiones de mecanismos, protecciones y empalmes de los cuadros generales eléctricos, antes de la entrada en carga de la instalación.
 - Se utilizarán clavijas macho-hembra para el conexionado de los cables al cuadro de suministro.
 - Se colocarán planos de distribución sobre los cuadros eléctricos.
 - Las plataformas y herramientas estarán protegidas con material aislante.
 - Protección adecuada de los huecos, antes de la instalación de andamios de borriquetas o escaleras de mano, para la realización del cableado y conexión de la instalación eléctrica.
 - Se colocarán cables de seguridad a lo largo de la fachada para realizar la instalación eléctrica en terrazas, balcones, vuelos...

- Iluminación mínima de 200 lux en la zona de trabajo.

Equipos de protección individual:

- Calzado con suela aislante ante contactos eléctricos.
- Guantes aislantes
- Banqueta de maniobra
- Comprobadores de temperatura.

5. Oficios, maquinaria y medios auxiliares previstos para la ejecución de la obra

Las actividades de obra descritas, se realizan con la concurrencia de los siguientes oficios:

Empresa autorizada de demoliciones.

Albañilería en general.

Carpintería metálica.

Pintores.

Electricistas.

Montaje de Equipos electromecánicos.

Montadores de Estructuras metálicas.

Montadores de prefabricados.

Montadores de cubiertas.

Como medios auxiliares para la realización de los diferentes trabajos, se ha previsto la utilización de:

- Andamios en general.
- Redes tipo horca.
- Escaleras de mano.
- Redes de seguridad.
- Líneas de vida.

Como maquinaria necesaria para la ejecución de la obra se ha previsto el empleo de:

- Pala cargadora.
- Cizalla hidráulica.
- Máquinas de oxicorte.
- Volquete autopropulsado.
- Motoniveladora.
- Camión de transporte de materiales.
- Camión grúa.
- Dumper.
- Martillo neumático.
- Máquinas herramienta de mano en general.
- Taladro eléctrico portátil.
- Rozadora radial eléctrica.
- Soldadora por arco eléctrico.

En aplicación de este Estudio de Seguridad y Salud, el contratista de la obra elaborará el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo aplicable a la misma, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán estas previsiones, en función de sus propios sistemas y medios de ejecución de la obra.

6. Planificación obra

De acuerdo con las fases de ejecución de obra anteriormente indicadas, se ha previsto el siguiente plan de ejecución de las mismas.

PLAN DE EJECUCIÓN DE OBRA

Semana 1-4: Trabajos previos y movimiento de tierras.

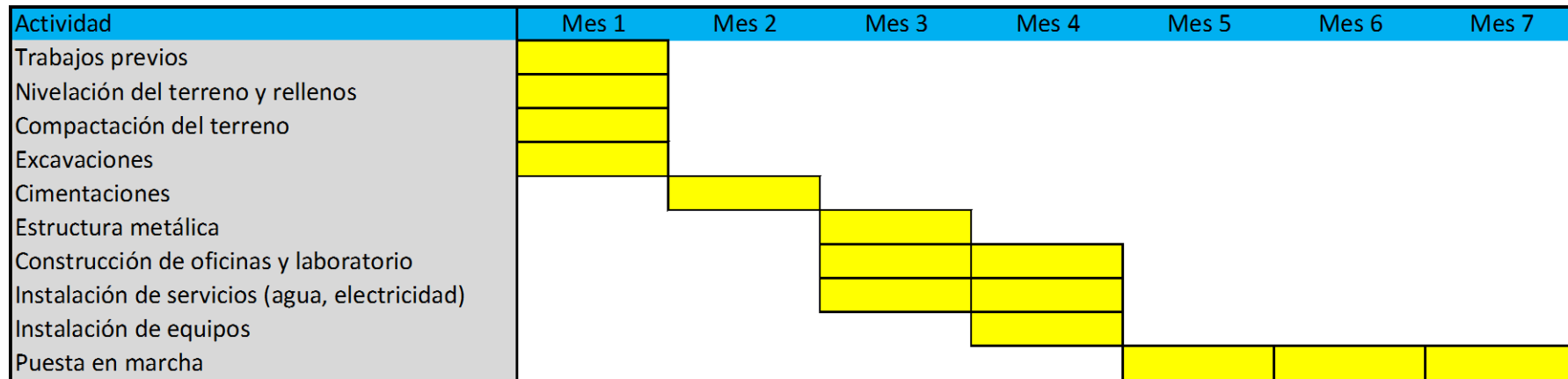
Semana 5-8: Cimentación.

Semana 9-12: Montaje de estructura metálica.

Semana 13-16: Montaje de equipos.

Semana 17-20: Instalaciones.

Semana 21-32: Puesta en marcha.



Carta Gantt

7. Análisis general de riesgos y prevención de los mismos

Ejecución de la obra, con indicación de las medidas preventivas a adoptar, y los equipos de protección individual y colectiva a emplear. No obstante, como medidas preventivas de carácter general se tendrá en cuenta:

Actividades de la obra:

- Se mantendrán las vallas de obras en buen estado vigilándolas y manteniéndolas en el transcurso de la obra.
- Se mantendrán limpias las áreas de trabajo, evitando acumulación de escombros y montículos de tierra.
- Se señalizará y separará el tránsito de vehículos y operarios.
- Se colocarán barandillas en los bordes de los desniveles (0.90 m.).
- Se evitará una exposición constante de los operarios a los agentes atmosféricos adversos.
- Se colocarán los topes de retroceso para vertido y carga de vehículos.
- Las cargas deberán ir paletizadas con el fin de evitar el deslizamiento de cualquier material en la maniobra de izado y traslado.
- Se apilarán ordenadamente los elementos auxiliares antes y después de utilizarlos.

Los oficios que intervienen en la obra:

- Se mantendrán los tajos limpios de escombros o medios auxiliares.
- Se señalizará el área dispuesta por donde se vierten los escombros.
- Se evitará el acopio de cemento, yesos o derivados que estén mal envasados o rotos con el fin de no provocar polvaredas que puedan afectar a operarios y transeúntes fuera del recinto delimitado para la obra.
- No se permitirá la realización de fuego en la obra bajo ningún concepto, evitándose así incendios, asfixias, etc...
- Los envases almacenados deben permanecer correctamente cerrados.
- Se vigilará que los locales o lugares de trabajo donde sea necesaria la utilización de maquinaria que produzcan polvo estén perfectamente ventilados.

- Se cuidará que cada oficio que por necesidad de los medios auxiliares necesiten corriente eléctrica, la tomen de los cuadros de distribución de equipados con puesta a tierra, así como conectar los aparatos con las clavijas macho hembra para tal fin.

Medios auxiliares:

- Se extremará el cuidado oportuno para instalar andamios y borriquetas en planos horizontales. Si por cualquier motivo esto no fuese posible, se calzarán adecuadamente con elementos resistentes y se tomarán medidas para evitar el deslizamiento de los citados elementos y vuelcos.
- Antes de la utilización de cualquier medio auxiliar, se comprobará el estado del mismo desechando todo aquel que no cumpla con las prescripciones mínimas.
- Los medios auxiliares deberán poseer los elementos propios adecuados para la prevención de la seguridad.

Maquinaria para intervenir en la obra:

- Se recibirá en la obra la maquinaria que cumpla con las condiciones de seguridad dispuestas para cada una en la legislación vigente, desechando aquellas que no lo cumplan.
- Se designará la circulación interior en la obra para las distintas maquinarias rodadas adecuando el terreno para tal fin para evitar vuelcos y atropellos.
- No se dejarán las máquinas funcionando si no existe un operario pendiente de su utilización.
- No se colocarán instalaciones provisionales o definitivas en el trazado designado para la circulación de maquinaria.
- Se colocarán topes de retroceso para vertido y carga de vehículos.
- Cuando en la ejecución de la obra coincidan dos o más máquinas de circulación rodada, se dispondrá un trabajador u operario para controlar el movimiento alternativo de las mismas.
- Para la maquinaria portátil o de fácil traslado, se tendrá en cuenta que posea los elementos de seguridad diseñados para la misma, que esté conectada correctamente en el cuadro de distribución, que los cables no estén pelados o dañados. No se trabajará con

la mencionada maquinaria en presencia de agua, sólo se utilizará aquella que esté diseñada para tal fin.

- Las máquinas de uso corriente y de pequeño tamaño suelen tener elementos que por su utilización en el trabajo requerido se desgastan, por lo que hay que evitar apurar al máximo dicho material para evitar riesgos leves ligeramente dañinos.

Instalaciones de la obra:

- Se suministrarán andamios y borriquetas en perfecto estado, no acumulando los materiales a manipular de forma desordenada.
- No se trabajará sin comprobar que la instalación no posee tensión eléctrica.
- Se comprobará antes del inicio de la jornada laboral en estado de las bombonas de butano.
- No se manejarán productos tóxicos en lugares cerrados o sin ventilación.

Desmontaje de las instalaciones provisionales de la obra:

- Antes de la eliminación o retirada de los elementos auxiliares en las instalaciones provisionales de la obra, se comprobará que los servicios están desconectados.

7.1 Riesgo de incendio

El presente estudio de Seguridad y Salud, prevé el uso en la obra de materiales y sustancias capaces de originar un incendio. Sabemos que las obras pueden llegar a incendiarse por las experiencias que en tal sentido conocemos.

La experiencia demuestra y los medios de comunicación social así lo han divulgado, que las obras pueden arder por causas diversas, que van desde la negligencia simple, a las prácticas de riesgo por vicios adquiridos en la realización de los trabajos o a causas fortuitas.

Por ello, en el pliego de condiciones técnicas y particulares, se dan las normas a cumplir este plan de seguridad y salud, con el objetivo de ponerlas en práctica durante la realización de la obra.

7.2 Relación de protecciones colectivas

Según se desprende del análisis de riesgo de cada una de las actividades que concurrirán en la obra, las protecciones colectivas necesarias son:

- Líneas de vida homologadas según normas CE EN 795, CE EN 353-1.
- Redes de seguridad homologadas según normas UNE-EN 1263-2.
- Extintores de incendios tipo 21A-113B.
- Interruptor diferencial de 300 mA mínimo.
- Toma de tierra normalizada general de la obra.

7.3 Relación de equipos de protección individual

Según el análisis de riesgo realizado anteriormente, se extrae la siguiente relación de equipo de protección individual:

- Casco de polietileno.
- Ropa de trabajo.
- Gafas anti proyecciones.
- Guantes de cuero.
- Guantes de goma o PVC.
- Cinturón elástico anti vibratorio.
- Botas impermeables.
- Mascarillas con filtro mecánico recambiable antipolvo.
- Mandil de cuero.
- Polainas de cuero.
- Calzado para la conducción.
- Botas de seguridad
- Guantes de soldador
- Manguitos de soldador
- Cinturón de seguridad.
- Pantallas y gafas de soldador.
- Manoplas de cuero
- Trajes para tiempo lluvioso
- Gafas de seguridad anti proyecciones
- Muñequeras
- Faja elástica
- Gafas de seguridad anti polvo.
- Gafas de seguridad anti impactos.
- Protectores auditivos.

- Mascarilla filtrante y mascarilla anti polvo con filtro mecánico específico recambiable.
- Arnés de seguridad.

8. Señalización de los riesgos

8.1 Señalización de los riesgos del trabajo

Como complemento de la protección colectiva y de los equipos de protección individual anteriormente indicados, se ha previsto el empleo de una señalización normalizada, que recuerde en todo momento los riesgos existentes a todos los que trabajan en la obra. La señalización prevista es la del listado que se ofrece a continuación, a modo informativo.

- Riesgo en el trabajo. BANDA DE ADVERTENCIA DE PELIGRO.
- Riesgo en el trabajo. PROHIBIDO PASO A PEATONES. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA CABEZA. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA MANOS. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA OIDOS. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA PIES. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN VIAS RESPIRATORIAS. Tamaño mediano.
- Señal salvamento. EQUIPO PRIMEROS AUXILIOS. Tamaño mediano.

8.2 Señalización vial

Los trabajos a realizar, no originan riesgos importantes para los operarios por la presencia de la vecindad o del tráfico rodado. Es necesario, por lo tanto, que en los momentos en los que así se requiera se organice la circulación de vehículos de la manera más segura, mediante la instalación de la oportuna señalización vial.

La señalización prevista es la del listado que se ofrece, a modo de información:

- Señalización vial (manual) DISCO DE STOP O PROHIBIDO EL PASO. TM-3.
- Señalización vial PROHIBIDO EL ESTACIONAMIENTO. TR-308.60 cm de diámetro.
- Señalización vial TRIANGULAR PELIGRO. TP-18 "Obras" 60 cm de lado.

9. Prevención asistencial en caso de accidente laboral

9.1 Primeros Auxilios

Será necesario disponer de un local con botiquín de primeros auxilios, en el que se den las primeras atenciones sanitarias a los posibles accidentados. El botiquín contendrá como mínimo:

- Un frasco conteniendo agua oxigenada.
- Un frasco conteniendo alcohol de 96 grados.
- Un frasco conteniendo tintura de yodo.
- Un frasco conteniendo mercurio cromo.
- Un frasco conteniendo amoníaco.
- Una caja de gasa estéril.
- Una caja de algodón hidrófilo estéril.
- Un rollo de esparadrapo.
- Un torniquete.
- Una bolsa para agua o hielo.
- Una bolsa conteniendo guantes esterilizados.
- Un termómetro clínico.
- Una caja de apósitos autoadhesivos.
- Una caja de analgésicos.
- Un tubo de pomada para quemaduras

9.2 Medicina Preventiva

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en esta obra, así como los accidentes derivados de trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de las toxicomanías peligrosas, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, se realizarán los reconocimientos médicos previos a la contratación de los trabajadores de la obra, y los preceptivos de ser realizados al año de su contratación.

9.3 Evacuación de accidentados

La evacuación de accidentados se realizará siempre por personal sanitario especializado, bajo ningún concepto el accidentado será movilizadado por personal inexperto con el fin de evitar posibles lesiones o agravar las ya producidas. En la zona de vestuarios existirá

cartel donde quede recogido el Centro de Salud más próximo, así como el teléfono y dirección del mismo.

10. Presupuesto Seguridad y Salud.

El presupuesto de realización de este plan de Seguridad y Salud asciende a 254771 €.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Couper J., Penney W., Fair J. and Walas S. (2010). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Elsevier, Revised 2nd Edition.
- McCabe W. and Smith J. (2002). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Mc Graw-Hill, 6^a Edición.
- Perry R. and Green D. (1997) *Manual del Ingeniero Químico*. Mc Graw-Hill, 6^a Edición.
- Coulson J. and Richardson J. (1996). *Chemical Engineering*. Volume 6. Pergamon.
- Riegel E. (1992) *Handbook of Industrial Chemistry*. Chapman and Hall, 9th Edition.
- American Petroleum Institute (1997). *API Technical Data Book. Petroleum Refining*
- Vian A.,Ocón J.(1976) *Elementos de ingeniería química*. Aguilar
- Marcilla Gomis A.(1998), *Introducción a a las operaciones de separación. Cálculo por etapas de equilibrio*. Universidad de Alicante
- Treybal R.(1998) *Operaciones de transferencia de masa*. Editorial Mc Graw-Hill. 2^a Edición
- Branan C (2012). *Rules of thumb for chemical engineers* Elsevier. Revised 4nd Edition

Tesis y artículos científicos

- Andrés Frank Paz Menéndez (2004). Estudio Experimental para la regeneración de aceites automotrices usados mediante la extracción supercrítica. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional Universidad de Méjico.
- Rincón J., Cañizares P. and García M. (2007). Regeneration of used lubricant oil by ethane extraction, *J. of Supercritical Fluids* 39: 315–322
- Rincón J., Cañizares P. and García M. (2003). Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction, *Ind. Eng. Chem. Res.* 42: 4867-4873

-Naji H. (2010). Characterizing Pure and Undefined Petroleum Components. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* 10, Issue: 02.

Hsu Y., et al. (2009). Analysis and comparison of regenerative technologies of waste lubricant. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5, Issue 3.

Páginas WEB

www.sulzer.com.

www.airliquide.com

www.aselube.com

www.ebara.es

www.bombasrh.com

www.sigaus.es