

# Memoria Descriptiva

Parque de Almacenamiento de ácido sulfúrico del 98 %

Manuel Masegoza Pérez

## Índice

Tabla de contenidos .....	5
1.- ANTECEDENTES .....	7
2.- OBJETO DEL PROYECTO.....	7
3.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	7
4.- REGLAMENTACIÓN .....	10
5.-AZUFRE Y ÁCIDO SULFÚRICO .....	10
5.1.- Propiedades del ácido sulfúrico .....	11
5.2.- Método de las cámaras de plomo.....	12
5.3.- Método de contacto .....	13
5.4.- Producción de ácido sulfúrico vía azufre .....	20
5.5.- Recuperación del ácido sulfúrico .....	21
6.- ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS .....	22
6.1.- Introducción.....	22
6.2.- Tipos de tanques de almacenamiento.....	23
7.- DISEÑO Y FABRICACIÓN DE RECIPIENTES Y TUBERÍAS.....	24
7.1.- Materiales .....	24
7.2.- Normas de diseño .....	24
7.3.- Fabricación .....	25
8.- SISTEMAS DE VENTEO Y ALIVIO DE PRESIÓN.....	25
9.-INSTALACIONES DE RECIPIENTES DENTRO DE EDIFICIOS .....	26
9.1.- Características de los edificios .....	26
9.2.- Sistemas de venteo y alivio de presión.....	27
10.- DISTANCIAS ENTRE INSTALACIONES Y ENTRE RECIPIENTES .....	27
10.1.- Distancia entres instalaciones.....	27
10.2.- Distancias entre recipientes.....	27
11.- OBRA CIVIL .....	27
11.1.- Cimentaciones.....	27
11.2.- Cubetos de retención.....	29
11.3.- Límites exteriores de las instalaciones: vallado.....	31
12.- INSTALACIONES PARA CARGA Y DESCARGA .....	31
12.1.- Cargaderos terrestres .....	31
12.2.- Cargaderos marítimos y fluviales.....	32
12.3.- Operaciones de carga y descarga .....	32

13.- TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES.....	32
13.1.- Depuración de efluentes líquidos .....	32
13.2.- Lodos y residuos sólidos.....	32
13.3.- Emisión de contaminantes a la atmósfera.....	33
14.- MATERIALES .....	33
15.- DISEÑO DE LA ENVOLVENTE .....	33
15.1.- Tensiones de trabajo.....	33
15.2.- Tamaños y espesores de las chapas de la envolvente .....	33
15.3.- Disposición de componentes .....	34
15.4.- Anillo de coronamiento .....	35
15.5.- Pruebas en la envolvente.....	36
16.- DISEÑO DE FONDOS .....	36
16.1.- Tamaños de chapas.....	36
16.2.- Métodos de construcción .....	36
16.3.- Pruebas del fondo .....	37
17.- UNIÓN ENTRE ENVOLVENTE Y FONDO .....	37
18.-DISEÑO DEL TECHO .....	37
18.1.- Tipos de techos .....	38
19.-SOLDADURAS .....	38
19.1.- Tipos de soldadura .....	39
19.2.- Soldaduras en el fondo .....	40
19.3.- Soldaduras en la envolvente .....	40
20.- CONEXIONES DEL TANQUE .....	40
20.1.- Entradas de hombre en envolvente.....	40
20.2.- Tubuladuras de envolvente .....	41
20.3.- Accesorios de limpieza de tipo a paño.....	41
20.4.- Puertas de limpieza tipo a paño.....	41
20.5.- Entradas de hombre de techo .....	42
20.6.- Tubuladuras del techo .....	42
21.- TUBERÍAS.....	42
21.1.- Sistemas de tuberías .....	42
21.2.- Diseño de tuberías .....	43
21.3.- Válvulas .....	44
21.4.- Uniones entre tuberías y válvulas.....	45

21.5.- Uniones mediante bridas .....	45
21.6.- Tipos de bridas .....	46
22.- PLATAFORMAS Y PASARELAS .....	46
23.- ESCALERAS .....	47
24.- BOMBAS .....	48
24.1.- Tipos de bombas .....	48
24.3.- NPSH requerido de las bombas.....	49
24.4.- NPSH disponible .....	50
24.5.- Cavitación.....	50
24.6.- Rendimiento mecánico de bombas .....	51
24.7.- Curvas características de las bombas centrífugas.....	51
24.8.- Curvas del sistema .....	52
24.9.- Selección de la bomba .....	53
25.- CIMENTACIÓN .....	53
26.- CUBETO DE RETENCIÓN .....	53
27.- REVESTIMIENTO ANTIÁCIDO.....	54
28.- SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y ELÉCTRICO.....	55
28.1.- Sistema de iluminación .....	55
28.2.- Sistema eléctrico .....	55
28.3.- Puesta a tierra de los tanques.....	56
29.-SISTEMA CONTRA INCENDIOS .....	56
30.- SISTEMA DE SANEAMIENTO.....	56
31.-PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN.....	57

## Tabla de contenidos

Ilustración 1: Distancia a las localidades más cercanas .....	8
Ilustración 2: Vista aérea de Huelva.....	9
Ilustración 3: Vista aérea del Polo Químico de Huelva .....	9
Ilustración 4: Producción mundial de sulfúrico (195 millones de Tm en el año 2005).....	11
Ilustración 5: Diagrama del método de las cámaras de plomo.....	12
Ilustración 6: Consumo mundial de sulfúrico.....	14
Ilustración 7: Esquema de funcionamiento del convertidor .....	17
Ilustración 8: Diagrama de flujo del método de contacto .....	18
Ilustración 9: Espesor mínimo según API 650 .....	34
Ilustración 10: Tamaño mínimo del anillo de coronamiento según API 650 .....	35
Ilustración 11: Tamaño mínimo de la soldadura tipo filete .....	37
Ilustración 12: Tipo de techo recomendado según API .....	38
Ilustración 13: Recomendaciones de API 650 para plataformas y pasarelas.....	47
Ilustración 14: Recomendaciones de API 650 para escaleras .....	47
Ilustración 15: Tipos de bombas .....	49



## 1.- ANTECEDENTES

La industria química necesita de grandes volúmenes de ácido sulfúrico. La rentabilidad en las plantas en las que se lleva a cabo la obtención del ácido sulfúrico se encuentran estrechamente ligadas a la continuidad de la marcha de los procesos que se llevan a cabo en ellas, provocándose una pérdida de la producción y de rendimiento cuando se interrumpe dicha continuidad con la consiguiente disminución de la rentabilidad económica. Se pretende independizar, en la medida de lo posible, estas paradas de causas externas como los suministros de materias primas y productos auxiliares, o como lo que nos afecta que es la retirada de productos finales.

El problema planteado se resuelve contando con grandes capacidades de almacenamiento, es por ello que se hace imprescindible el diseño y construcción de tanques donde albergar grandes volúmenes ácido sulfúrico al menos el correspondiente a varios días de producción.

## 2.- OBJETO DEL PROYECTO

En el presente proyecto se va a realizar el diseño de un parque de almacenamiento de ácido sulfúrico del 98% de concentración. Este parque se llevará a cabo dentro de una parcela situada en el Polo Químico de la provincia de Huelva.

La parcela no ha sido utilizada por otro tipo de instalaciones previa a la que nos ocupa. Ésta se encuentra construida, pero sin ningún tipo de utilización anterior con lo que supondrá una ventaja para nuestra instalación, evitándonos cualquier tipo de obra civil.

En principio se ha planteado la construcción de dos tanques de almacenamiento con capacidades de 5.000 y 10.000 m<sup>3</sup> ambos recogidos en un mismo cubeto.

## 3.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Como se ha dicho con anterioridad, la instalación será construida en el Polo Químico de la provincia de Huelva. La ubicación de la planta se justifica teniendo en cuenta una serie de factores. Estos factores serán los siguientes:

- Mercados: La localización de otra clase de mercados en los alrededores, puede ser beneficioso debido a que los materiales necesarios para la construcción de la planta pueden ser adquiridos a nuestras empresas vecinas, consiguiendo así, un importante ahorro económico. Además el hecho de que haya plantas en los alrededores de la nuestra, cuya materia prima es el ácido sulfúrico, nos proporciona un amplio margen de ganancia en cuestión de transporte. Un factor muy importante en este sentido es la existencia en esta localidad de grandes y fuertes industrias.

- Transporte y comunicaciones: Este factor se considera en dos vertientes:
  - Transporte de materias primas: El polígono industrial en cuestión está bien comunicado.
  - Acceso de los trabajadores: Al estar cercano al núcleo urbano, está bien comunicado mediante transportes públicos. Esto facilitará el acceso de los trabajadores, los consumidores y los suministradores.

Destacan el puerto de Huelva que limita con la zona industrial y la N-442 (carretera Huelva-Matalascañas).

- Mano de obra: A este respecto tendremos en cuenta que exista en la zona suficiente disponibilidad de mano de obra. Esto queda garantizado por encontrarse en un polígono industrial cercano al núcleo urbano.
- Suministros y servicios: El suministro de materias primas es un factor importante a observar, ya que un difícil abastecimiento de las mismas conlleva altas inversiones en transportes. En nuestro caso este factor queda altamente justificado, ya que en las cercanías existen empresas que pueden proporcionarnos todo tipo de materia primas necesarias para la consecución de la planta.

Cualquier instalación necesita unos recursos básicos (agua, gas, electricidad, telefonía...) que deben ser garantizados. Así como una serie de servicios públicos que deben encontrarse en sus cercanías como son un equipo de bomberos, hospitales o centros de salud entre otros. La ubicación elegida garantiza todos los servicios.

- Calidad de vida: La calidad de vida queda asegurada para los trabajadores y las familias de los mismos, mediante factores tales como la educación, sanidad, transportes...
- Impuestos: Al tener situación en una zona industrial, que no se encuentra inmersa en el centro urbano, los impuestos serán menores.
- Terrenos y climatología: Los terrenos están calificados como zona industrial y no tiene un elevado coste por metro cuadrado.

La climatología es favorable, es decir, no es una zona con un elevado índice pluviométrico, lo cual beneficia por un lado el almacenamiento y por otro lado, el hecho de que el clima en esta zona sea suave influye en la comodidad de los trabajadores.

La parcela sobre la que se ubican los nuevos tanques tiene unas dimensiones de 200x200 m, y por tanto cuenta con una extensión de 40.000 m<sup>2</sup>.

Localidad	Distancia (km)
Huelva	6,1
Mazagón	15,4
Palos de la Frontera	11,4

Ilustración 1: Distancia a las localidades más cercanas



Así pues, el emplazamiento será el mostrado en la imagen:

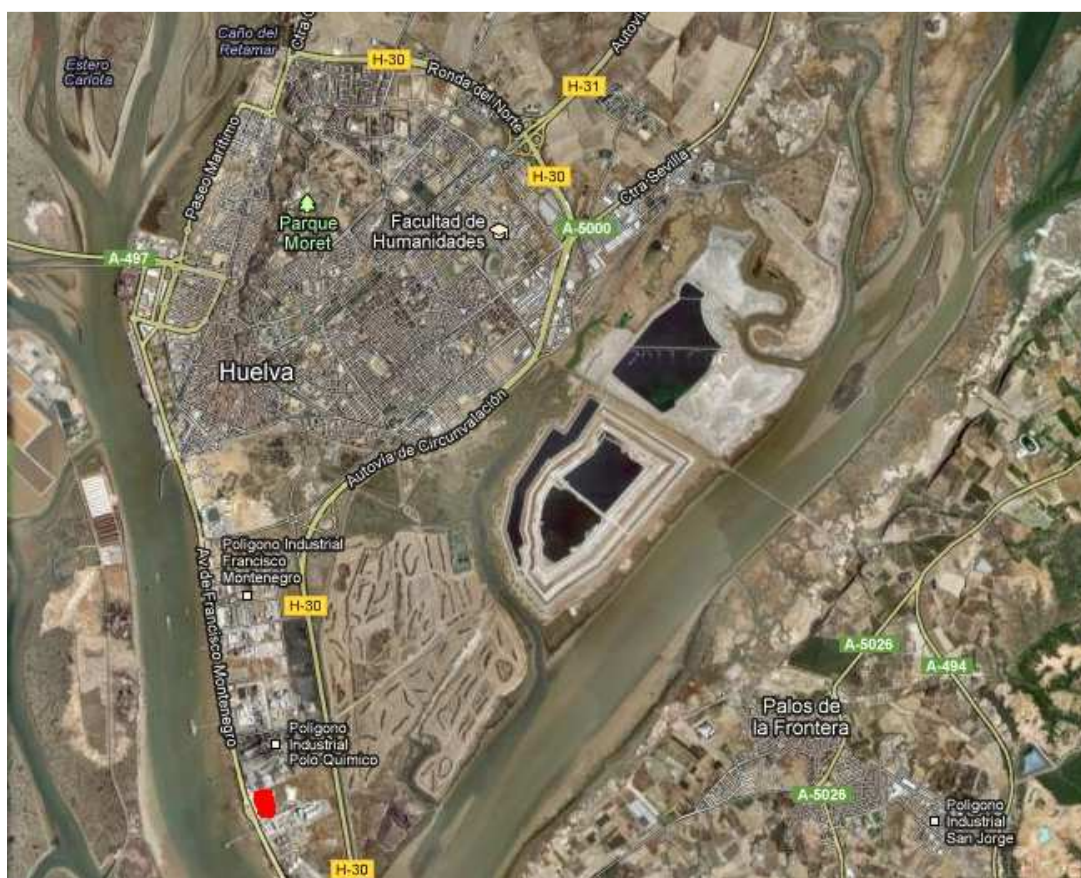


Ilustración 2: Vista aérea de Huelva



Ilustración 3: Vista aérea del Polo Químico de Huelva

## 4.- REGLAMENTACIÓN

El diseño de la instalación está sometido a la siguiente normativa:

Legislación:

- Ley de Gestión Integral de la Calidad Ambiental (GICA).
- Ley de prevención de riesgos laborales.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).
- Instrucción EH-82 para proyecto y ejecución de hormigón en masa o armado del MOPT.

Normas y códigos:

- Código API-650 de diseño de tanques.
- Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (ITC-MIE-006 Almacenamiento de líquidos corrosivos).
- Código ASTM (A-7 para chapas y perfiles estructurales; A-30 para tornillos).
- UNE EN-ISO 9001: 2008 Sistemas de Gestión de la Calidad.

## 5.-AZUFRE Y ÁCIDO SULFÚRICO

El azufre es uno de los materiales más importantes y básicos en la Industria Química. Su obtención puede ser de tres formas como azufre elemental, como sulfuro metálico o procedente de las desulfuraciones de las industrias petrolera y de gas natural.

Los sulfuros metálicos son de especial importancia ya que son aprovechables desde el punto de vista metálico, y por supuesto, desde el de azufre que es punto de partida para obtener el sulfúrico cuya producción es indicativa del potencial químico-industrial de un país.

Todas las menas metálicas son materia prima por el metal, salvo el hierro que por su valor relativo menor es materia prima por el azufre. Aún así se suele recuperar el azufre de todas ellas para evitar la contaminación del aire por gases sulfurosos.

Hasta hace poco tiempo la principal forma de obtención del azufre era a través de la tostación de la pirita, hasta que fueron descubiertos grandes yacimientos de azufre elemental y a la creciente disponibilidad del azufre procedente de la desulfuración de los productos del petróleo y del gas natural. Todo esto es más económico que la pirita lo que la ha hecho caer en desuso para la obtención de azufre.

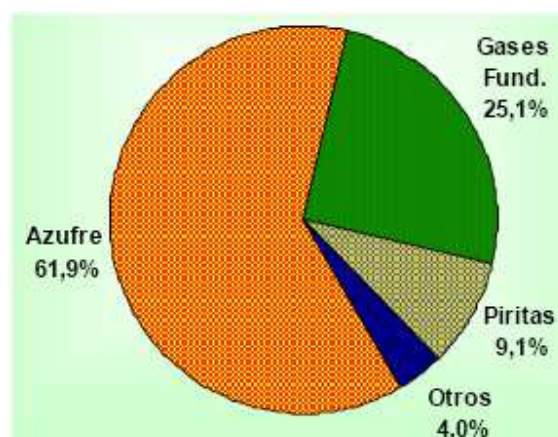


Ilustración 4: Producción mundial de sulfúrico (195 millones de Tm en el año 2005)

La gran parte del azufre se emplea en la producción de ácido sulfúrico pero también cabe destacar su uso para: la producción de pulpa de madera, disulfuro de carbono, insecticidas, fungicidas, agentes blanqueantes, hule vulcanizado, detergentes, productos farmacéuticos, fertilizantes, cueros, hojalata y colorantes; el refinado del petróleo; el teñido de telas; y como agente para la formación de sulfatos y para la sulfonación. Aunque se emplee en tantas industrias, no es frecuente que aparezca en el producto acabado.

El origen del primer ácido sulfúrico se desconoce, pero se le menciona ya en el siglo X, siendo su preparación mediante la quema de azufre con salitre. Posteriormente, en 1746, en Inglaterra, se introdujo el método de las cámaras de plomo, que hoy en día se encuentra en desuso.

### 5.1.- Propiedades del ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un ácido mineral fuerte y un oxidante fuerte. Se disocia en agua de acuerdo con dos equilibrios:

- $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HSO}_4^-$
- $\text{HSO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

El primero de ellos a proporciones de agua bajas y el segundo a proporciones altas, por esta razón el ácido sulfúrico diluido actúa como un ácido dibásico.

El ácido sulfúrico concentrado y caliente es una sustancia altamente oxidante. Sus características de higroscopicidad se deben a la formación de diferentes hidratos, los cuales corresponden al monohidrato ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), el dihidrato ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), el trihidrato ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), el tetrahidrato ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) y por último el hexahidrato ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Todos estos hidratos tienen puntos de fusión muy definidos. Las irregularidades en la relación entre las fuerzas de los ácidos sulfónicos y las gravedades específicas correspondientes y los puntos de congelación se deben a estos hidratos.

Las reacciones del Ácido Sulfúrico concentrado en el área de los compuestos orgánicos están muy influenciadas por las propiedades oxidantes e higroscópicas de éste; debido a estas



características las reacciones de nitración, sulfonación y esterificación aseguran rendimientos más altos.

Las soluciones de ácido sulfúrico pueden concentrarse en forma económica hasta alrededor del 93% en peso de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Se pueden hacer ácidos más fuertes disolviendo trióxido de azufre en ácido de 98 a 99%.

El ácido sulfúrico se vende en forma de varias soluciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en agua, o de  $\text{SO}_3$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Es tos últimos llamados *óleums*, se comercializan con base al porcentaje de  $\text{SO}_3$  presente.

Antes, cuando gran parte del ácido se obtenía por el método de las cámaras de plomo, la soluciones de ácido en agua se vendían de acuerdo con su gravedad específica o de sus grados Baumé (°Bé). La gravedad específica del ácido sulfúrico aumenta gradualmente hasta 1,844 a 15°C para el ácido del 97%, después de lo cual disminuye hasta 1,839 a la misma temperatura para una concentración del ácido del 100%. En consecuencia, en este intervalo superior, por encima del 95%, las fuerzas deben determinarse por otros medios que no sean la densidad. Actualmente en las plantas se emplean la conductancia eléctrica, el índice de refracción y la transmisión sónica.

Como el ácido en las plantas de contacto ha desplazado al de las cámaras de plomo, el porcentaje de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se especifica en forma normal. El ácido que contiene 93,19% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (66 °Bé) es el ácido comercial normal en Estados Unidos. En Europa se emplea normalmente una ácido algo más fuerte (con alrededor de un 95% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

## 5.2.- Método de las cámaras de plomo

Veremos este procedimiento aunque se encuentre en desuso. Es el método más antiguo y supuso un importante avance sobre los aparatos de vidrio y el procedimiento de obtener sulfúrico por descomposición térmica de los sulfatos.

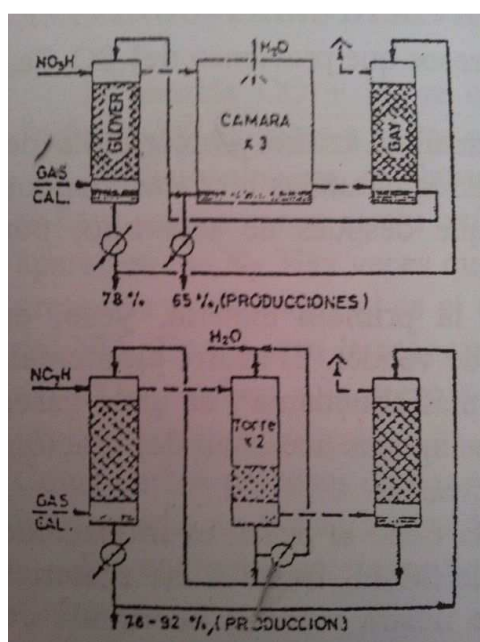
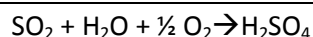
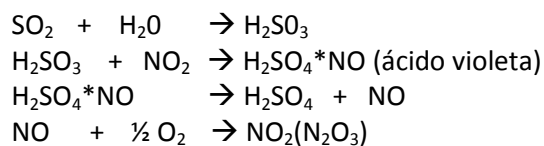


Ilustración 5: Diagrama del método de las cámaras de plomo

Los gases sulfurosos entran en la cámara, adicionándole ácido nítrico, vapores nitrosos y vapor de agua:



El ácido formado se va depositando en el fondo de la cámara con una concentración del 60 al 65%, que es demasiado baja para la mayoría de las aplicaciones. Para concentrarlo se envía a la *torre Glover* donde se pone en contacto (contracorriente) con los gases depurados calientes, que vienen de la tostación, gracias al relleno de que se carga la torre. Los gases se enfrían y su calor sirve para concentrar el ácido de las cámaras y que se desorban de éste los vapores nitrosos que lleva disueltos (desnitración del ácido de cámaras). De la *torre Glover* se saca la producción del ácido concentrado 78% previo enfriamiento.

Los gases de las cámaras llevan  $\text{SO}_2$  y vapores nitrosos que hay que recuperar. Para ello se llevan a las *torres de Gay-Lussac*, también de relleno y regadas con ácido concentrado y frío que disuelve a dichos productos. Del fondo se extrae el ácido y se le conduce a la *torre Glover*, donde la temperatura elevada de éste (200 a 400°C) gasifica los componentes nitrosos que pueden así pasar de nuevo a las cámaras.

En resumen:

- En las cámaras se oxida el  $\text{H}_2\text{SO}_3$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
- En la *torre Glover* se enfrían los gases, se concentra el ácido de cámaras y se desnitrifica el ácido de la *torre de Gay-Lussac*.
- En la *torre de Gay-Lussac* se retienen por absorción los vapores nitrosos que salen de las cámaras.

Se observa que se obtiene un ácido sulfúrico de muy baja concentración. Para obtener ácidos concentrados del 98% sería necesario disponer de concentradores, que son aparatos de contacto del ácido con gases calientes. Esto encarece mucho la producción de ácidos concentrados y por eso básicamente ha quedado en desuso.

### 5.2.1.- Catálisis homogénea

---

Constituye el antiguo método de las cámaras de plomo o el más perfeccionado de torres, y se efectúa mediante el empleo de óxidos de nitrógeno. Se obtienen ácidos de hasta el 80% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , siendo necesaria una concentración posterior para lograr mayores riquezas.

## 5.3.- Método de contacto

El método de contacto fue descubierto en 1831. En este proceso se incluían las características esenciales del proceso de contacto moderno, en particular el paso de una mezcla de dióxido de azufre y aire sobre un catalizador, seguido de la absorción del trióxido de

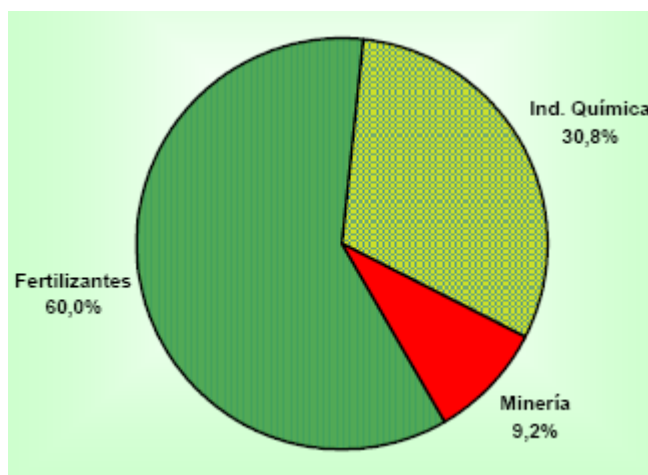
azufre en ácido sulfúrico del 98,5 al 99%. No obstante, este invento no fue un éxito comercial durante más de 40 años probablemente porque:

- Faltaba demanda para un ácido fuerte.
- Había un conocimiento inadecuado de las reacciones catalíticas de los gases.
- El progreso de la tecnología química era muy lento.

El desarrollo de la industria de los colorantes dio como resultado una demanda creciente de ácidos concentrados para la manufactura de la alizarina y de otros materiales orgánicos colorantes. En 1889, se demostró que un exceso de oxígeno en la mezcla gaseosa para el proceso del contacto era ventajoso. Este proceso se ha ido mejorando en todos los detalles y en la actualidad, es uno de los pocos procesos industriales continuos de bajo costo, controlado automáticamente. Todas las plantas nuevas de ácido sulfúrico utilizan el método de contacto.

### *5.3.1.- Uso y producción por el método de contacto.*

La producción de fertilizantes es la principal aplicación del ácido sulfúrico. Cuando el superfosfato era el fertilizante usual de fosfato, las plantas de ácido sulfúrico por el método de las cámaras y las plantas de superfosfato se construían y operaban en el mismo sitio. Se trata de pequeñas plantas localizadas cerca de zonas agrícolas.



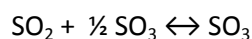
**Ilustración 6: Consumo mundial de sulfúrico**

Hoy día se requieren fertilizantes más concentrados a fin de reducir los costes de transporte y de aplicación. Las plantas de fosfato triple representan mayor capital que las plantas comunes de superfosfatos. Se construyen a una escala mucho mayor y, como las plantas precedentes de superfosfatos, operan en los mismos lugares que las plantas de contacto.

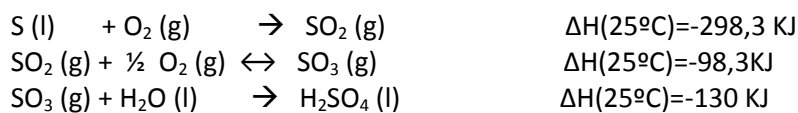
El ácido fuerte, de 93 a 99%, se utiliza en la purificación de productos del petróleo, la preparación de dióxido de titanio, la alquilación del isobutano, la manufactura de muchos productos químicos de nitrógeno, la síntesis del fenol, la recuperación de ácidos grasos en la fabricación de jabones y la manufactura de ácido fosfórico y superfosfato triple.

Desde los inicios de construcción de plantas de ácido sulfúrico mediante el método de contacto, ha habido muchas mejoras, tanto en el equipo como en el catalizador. Las plantas en las que se quema el azufre son las más sencillas y baratas, ya que no se requiere purificación especial de los gases del quemador para proteger al catalizador. En la configuración de una sola absorción, que era el proceso normal hasta los años 70, se ponía poca atención en planear la recuperación eficiente del catalizador.

El método de contacto se ha ido modificando de forma gradual para emplear doble absorción (o doble catálisis), lo que aumenta los rendimientos y reduce las emisiones de SO<sub>2</sub> sin convertir en la chimenea. En ésta configuración de flujo, los gases que salen de la primera torre de absorción, son recalentados por intercambio de calor con los gases del fondo del convertidor y vuelven a entrar en la etapa final del convertidor. Debido al menor contenido de trióxido de azufre, el equilibrio de la reacción, que se muestra a continuación, se desplaza en la dirección deseada lográndose recuperaciones del 99,7%. Los gases que salen de esta etapa final se enfrían y el SO<sub>3</sub> se absorbe en una torre de absorción.



El calor de combustión del azufre se utiliza en una caldera de calor de desecho o en unas calderas y economizadores para generar vapor y fundir con él el azufre, y para fines de generación de energía en la planta. El vapor es uno de los productos de la planta. Las reacciones son:



La reacción para ir de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> es una reacción exotérmica y reversible. Una constante de equilibrio calculada a partir de las presiones parciales es la que regula esta reacción:

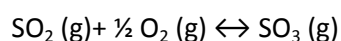
$$K_p = \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{SO}_2} \cdot (P_{\text{O}_2})^{1/2}}$$

Los valores de K<sub>p</sub> se han determinado de forma empírica, basados en presiones en atmósferas y son constantes a cualquier temperatura dada. Estos valores experimentales concuerdan satisfactoriamente con los valores de K<sub>p</sub> calculados a partir de datos termodinámicos.

Los datos para la conversión de equilibrio muestran que la conversión de dióxido de azufre decrece a medida que aumenta la temperatura. Por esta razón es deseable llevar a cabo la reacción a una temperatura lo mas baja posible. En el procedimiento real de una planta de contacto se aprovechan tanto las consideraciones de velocidad como las de equilibrio, permitiendo primero que entren los gases sobre una parte del catalizador a una temperatura que oscila entre los 425 y los 440°C, y dejando luego que la temperatura aumente adiabáticamente a medida que se efectúa la reacción. La reacción se detiene cuando se ha convertido el 60-70 % del SO<sub>2</sub>, a una temperatura cercana a los 600°C. Llegado este punto, el gas, antes de pasar por el resto del catalizador, se enfría en un cambiador de calor de desecho, o por otros medios, hasta que la temperatura de los gases no sea superior de 430°C. Con este procedimiento los rendimientos son entre 97 y 98%, y la velocidad global de la reacción es muy rápida.

Básicamente, la técnica del método de contacto consiste en dos fases claramente definidas:

- Oxidación catalítica del SO<sub>2</sub>: La oxidación industrial del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> implica la oxidación del SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> y posterior hidratación de éste. Así se obtiene casi la totalidad del sulfúrico producido en el mundo. De la producción mundial un 34% se dedica a fertilizantes, un 15% a pigmentos y explosivos, un 3% a rayón, cantidades importantes para decapado de metales, petroquímicas, sulfato de alúmina, amoníaco... Son pocas las industrias químicas donde de una manera u otra no intervenga el ácido sulfúrico. La oxidación catalítica puede usarse en dos direcciones, la catálisis homogénea y la heterogénea. En el método de contacto, se emplea catálisis heterogénea.
- Hidratación del SO<sub>3</sub>: la realización industrial de la hidratación se lleva a cabo en tres etapas.
  1. Depuración de los gases: Es particularmente necesaria cuando los gases sulfurosos procedan de la tostación de pirita, y tiene por objeto eliminar aquellos componentes que resulten perjudiciales para el catalizador como son el polvo, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (difícil de eliminar porque forma niebla de gases) y la humedad (corrosión, formación de nieblas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y dilución del ácido concentrado en el que se absorbe el SO<sub>3</sub>). Para la depuración de gases pasan los gases por ciclones, luego se lavan con lluvia de ácido del 94 al 98% y por último se precipitan las nieblas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en electrofiltros. En la columna de secado se puede inyectar aire para diluir los gases sulfurosos a la concentración adecuada para la catálisis. En el caso de las piritas, la composición media es del 7 al 8 % de SO<sub>2</sub> y del 10 al 11% de O<sub>2</sub>.
  2. Catálisis: La síntesis del trióxido de azufre, es fuertemente exotérmica y tiene lugar con disminución de volumen, por tanto el equilibrio se desplaza hacia la formación de SO<sub>3</sub>, al disminuir la temperatura, al ser mayor la presión y al aumentar la concentración de los reactantes.



Pero ocurre que la composición viene impuesta por la tostación y lo único que cabe para desplazar favorablemente el equilibrio es utilizar exceso de oxígeno. En cuanto a la presión, no es económicamente viable por tratarse de grandes volúmenes de gases corrosivos. Por tanto, de todo esto puede deducirse que la temperatura es la variable de mayor importancia. Sin embargo a bajas temperaturas, la velocidad de la reacción es lenta, por lo que se hace preciso el empleo de catalizadores, que serán mejores tanto menor sea la temperatura de trabajo.

En la práctica, la temperatura óptima de trabajo supone un compromiso entre estos dos efectos contrapuestos: la velocidad de reacción y el equilibrio. Los catalizadores encontrados hasta ahora exigen una temperatura de trabajo superior a los 400°C para que la velocidad de reacción sea apreciable.



Por otra parte, para que sea mayor el rendimiento interesaría eliminar el calor desprendido durante la oxidación, es decir, que la transformación fuese isotérmica. Sin embargo, dadas las dificultades que presenta eliminar de la masa catalítica el calor de reacción, en la práctica industrial se opera en régimen aproximadamente adiabático (tiempos de contacto pequeños) y en varias etapas, enfriando los gases al pasar de una a otra, como se indica en la figura para un ciclo de cuatro etapas.

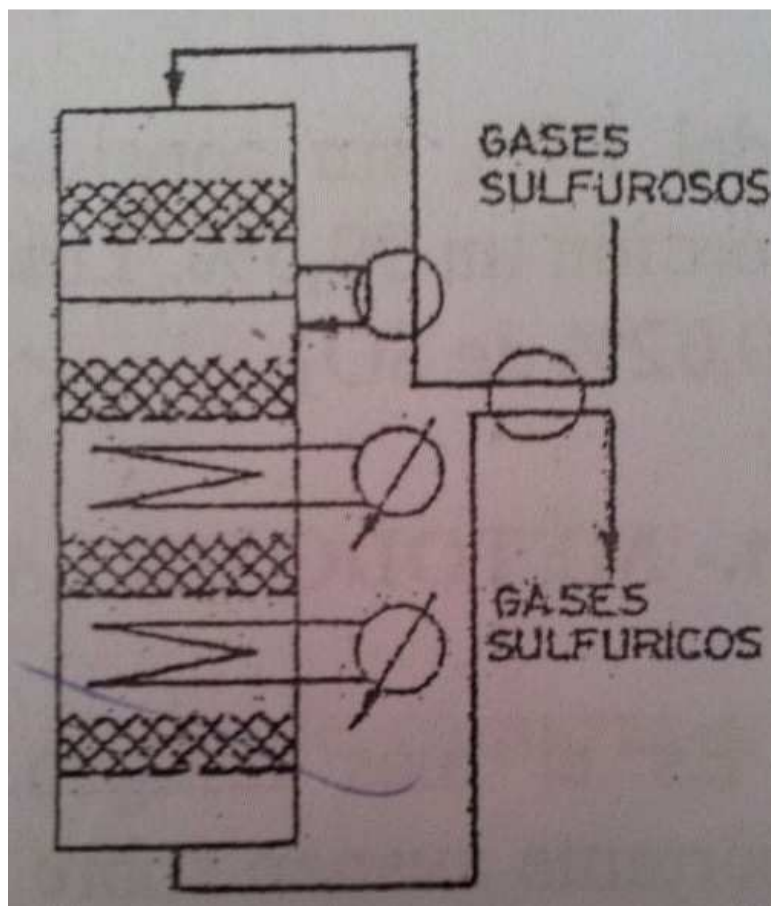
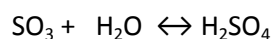


Ilustración 7: Esquema de funcionamiento del convertidor

En la primera, la temperatura es alta con lo que la conversión es rápida, pero poco completa. En las siguientes, se completa la transformación a menor temperatura (más lentamente). También puede verse en la figura el aprovechamiento calorífico entre los gases de conversión calientes y los gases sulfurosos de alimentación fríos.

3. Absorción del  $\text{SO}_3$ : El trióxido de azufre se combina violentamente con el agua con fuerte desprendimiento de calor.



Pero la reacción es lenta y además, se forman nieblas de ácido sulfúrico que son difíciles de eliminar. Por ello, se absorbe con ácido sulfúrico concentrado del 98%, que dentro del sistema  $\text{H}_2\text{O}-\text{SO}_3$  es el de menor tensión de vapor, tanto de  $\text{H}_2\text{O}$  como de  $\text{SO}_3$ . Si el título es menor

de 98% aparecen nieblas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y si es mayor se pierde  $\text{SO}_3$ . En ambos casos disminuye el rendimiento de la absorción.

La absorción se puede llevar a cabo en diversos tipos de contacto gas-líquido (borboteadores, venturi, pulverizadores de líquidos...) si bien, igual que para el secado, se tiende a aplicar columnas de relleno.

Finalmente, cabe reseñar que el rendimiento global, en azufre, del método de contacto es del 96% sin considerar la tostación. Corresponden al contacto un 96,5% y a la absorción un 99,5%. Los gases finales, de cola, contienen un poco más de un 0,2% de  $\text{SO}_2$  y un 0,02% de  $\text{SO}_3$ . Así, el proceso se puede ver en el siguiente diagrama de flujo.

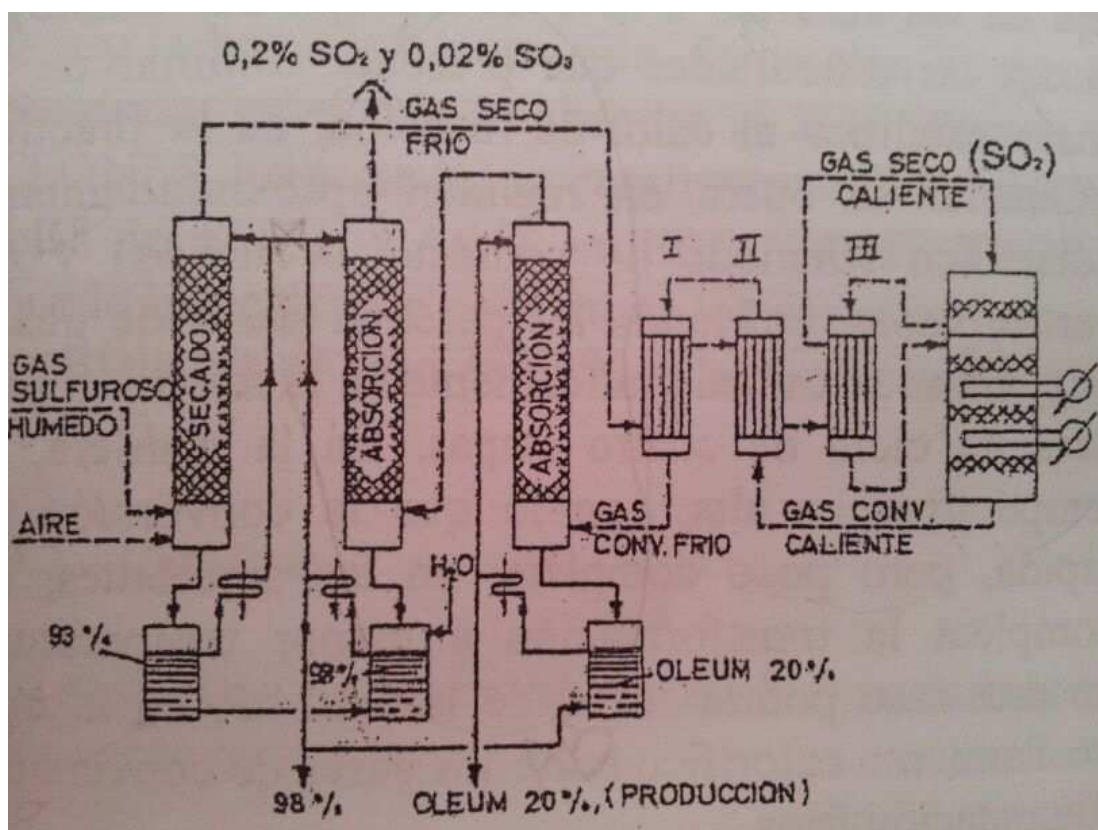


Ilustración 8: Diagrama de flujo del método de contacto

#### 5.3.1.1.- CATALIZADORES

En todas las reacciones catalíticas, la función del catalizador es incrementar la velocidad de las reacciones. Un catalizador usual para convertir el dióxido de azufre en tierras de diatomáceas con un máximo de 7% de  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Los catalizadores comerciales contienen cantidades apreciables de sales de potasio (sulfatos, piro-sulfatos...) además de  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

Las altas conversiones que se logran en las plantas de doble absorción no son resultado de un aumento de la eficiencia catalítica en sí, sino que se obtienen al pasar el gas a través del convertidor una segunda vez, después de que la mayor parte del trióxido de azufre ha sido lavado y separado del gas, por lo que el equilibrio se ve perturbado.

### 5.3.1.2.- EQUIPOS PARA EL PROCESO DE CONTACTO

Los equipos requeridos para el método del contacto son los siguientes:

- Quemadores: El azufre y algunos materiales de azufre son las materias primas usuales. Debido a su pureza superior y a sus menores costos de transporte, se trae el azufre y se almacena fundido. Entonces se bombea desde un tanque de almacenamiento, a través de tuberías calentadas, y se rocía en un horno que emplea quemadores muy semejantes a los que se emplean con frecuencia para quemar combustóleo. En las plantas en las que se quema azufre, la fuerza del gas  $\text{SO}_2$  que se deja entrar en el convertidor ha aumentado desde una fuerza del 8% en volumen, hasta un 12%. Los minerales se queman en lechos fluidizados o en tostadores rotatorios.
- Cambiadores de calor y enfriadores: Antes de alimentar los gases a la primera etapa del convertidor, se ajustan a la temperatura mínima a la que el catalizador aumenta rápidamente la velocidad de reacción, usualmente entre 425 y 440°C. Los gases deben ser enfriados entre las etapas de catalizador para lograr una conversión alta. Con éste propósito puede introducirse aire frío o pueden emplearse calderas, sobrecalentadores de vapor o cambiadores tubulares de calor. Los gases que contienen  $\text{SO}_3$  pasan a menudo a través de los tubos y los gases que contienen  $\text{SO}_2$  los rodean.
- Convertidores: La conversión química del dióxido de azufre en trióxido, se planea para hacer la máxima conversión, teniendo en cuenta lo siguiente:
  - El equilibrio es función inversa de la temperatura y función directa de la relación oxígeno/dióxido de azufre.
  - La velocidad de reacción es función de la temperatura.
  - La composición del gas y la cantidad de catalizador afectan a la velocidad de conversión y a la cinética de la reacción.
  - La extracción del trióxido de azufre formado permite que se convierta más dióxido de azufre.
- Absorbedores de trióxido de azufre: Durante mucho tiempo se ha sabido que una concentración de ácido entre 98,5 y 99% de ácido sulfúrico es el agente más eficiente para la absorción de trióxido de azufre, probablemente porque el ácido de esta fuerza tiene una presión de vapor inferior a la de cualquier otra concentración. Se emplea ácido de esta fuerza en los absorbedores intermedio y final para tener una absorción especialmente completa del  $\text{SO}_3$  antes de que el gas de desecho sea arrojado a la atmósfera. No se puede utilizar agua porque el contacto directo del trióxido de azufre y el agua da como resultado una niebla ácida que es casi imposible absorber. Debido a que el ácido absorbente se está concentrando continuamente, es necesario tener un medio para diluir la parte de ácido que se descarga de los absorbedores y que va a recircularse. El ácido recirculado se diluye por adición de ácido sulfúrico o de agua en la cantidad requerida, enfriando el ácido absorbente y sacando ácido en exceso para su venta.
- Ventiladores: Los ventiladores se emplean para impulsar el aire y/o los gases que contienen azufre ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ) a través del quipo de proceso. Se encuentran en la línea de flujo para que puedan manejar aire o gas que contenga dióxido de azufre (por lo general, después de que el aire o el gas ha pasado por la torre de secado). Se trata de compresores centrífugos de un solo paso, de hierro o de acero fundido, o de acero fabricado, accionados por motor eléctrico o por turbinas de vapor.
- Bombas de ácido: Para hacer pasar el ácido por las torres de relleno y de secado, se emplean bombas centrífugas sumergidas de eje vertical. Por lo general, las

bombas están sumergidas en tanques de acero, recubiertos con ladrillos, dentro del área de proceso. Pueden ser accionadas motores eléctricos o por turbinas de vapor. Para transferir el ácido de un lugar a otro se suelen utilizar bombas de eje horizontal construidas con aleaciones.

- Bombas de azufre: También se emplean bombas centrífugas sumergidas de eje vertical, construidas en acero fundido, para bombear el azufre desde un pozo hasta los atomizadores en el quemador de azufre.
- Enfriadores de ácido: El ácido que circula en las torres de absorción y el calor sensible del gas que entra. El ácido que circula en la torre de enfriamiento debe ser enfriado para eliminar el calor de dilución y el calor de condensación de la humedad del gas o aire que entra. Dichas operaciones, se efectúan mediante cambiadores de calor del tipo de coraza y tubo, de acero aleado, que a menudo se protege anódicamente para reemplazar al hierro fundido.
- Purificación del gas: Las plantas en las que deben manejarse gases impuros de dióxido de azufre, como los que salen de las fundiciones, de la tostación de minerales y de otros procesos, deben incluir calderas de calor de desecho, precipitadores electrostáticos de polvo, depuradores o torres de lavado y finalmente precipitadores electrostáticos de niebla para eliminar la niebla ácida y el polvo y vaho residuales. Entonces, los gases ya están listos para entrar en la torre de secado.

#### 5.4.- Producción de ácido sulfúrico vía azufre

En este método se utiliza azufre elemental como materia prima y se emplea un sistema de doble catálisis con absorción intermedia.

Este procedimiento es básicamente similar al método de contacto, exceptuando el hecho de que partimos de azufre elemental para obtener  $\text{SO}_2$ , a partir del cual se obtendrá el  $\text{SO}_3$ , para finalmente combinarlo con agua para formar una solución que contenga ácido sulfúrico.

Como se ha dicho es similar al método de contacto, y precisamente este contacto se utiliza para conseguir el máximo grado de recuperación de energía en forma de vapor de 60 bar a 350°C. Este vapor se suele utilizar para producir energía eléctrica en un turbogenerador. El vapor, de baja presión, de salida de la turbina se alimenta a la red de baja presión para su utilización en:

- Calentamiento y fusión del azufre.
- Desaireación del agua de la alimentación a calderas.

El sistema de absorción intermedia consiste en una torre llena de refrigerantes de ácido de protección anódica, que permiten obtener agua a 100°C para poder ser utilizada en otros procesos que se desarrollen a la vez en otros puntos de la planta.

El azufre elemental que se emplea en este tipo de procesos, está en estado sólido de la calidad “bright” (exento de impurezas) y tiene la siguiente composición aproximada:

- Azufre: mínimo 99,5% en base seca.
- Humedad: máximo 5%.
- Cenizas: máximo 0,08%.

- Materia orgánica: máximo 0,05%.
- Ácido sulfúrico: máximo 0,05%.

#### **5.4.1.- Descripción del proceso.**

---

El proceso de obtención de ácido sulfúrico vía azufre consta de las etapas: fusión del azufre y filtración.

Para completar esta etapa, se necesita contar, especialmente con los siguientes equipos:

- Tanque de fusión con agitador, serpentín de calentamiento, bomba de alimentación al filtro.
- Filtro de azufre del tipo placas con precapa.
- Tanque de almacenamiento de azufre líquido.
- Bomba de azufre líquido.

El azufre sólido es alimentado al tanque de fusión mezclado con una pequeña cantidad de caliza. En éste tanque, el azufre líquido está en recirculación y agitación continua a través de los serpentines de calentamiento, gracias al agitador central y la bomba. El azufre sólido se sumerge en la corriente de azufre que lo transporta a través de los recipientes de calentamiento, asegurándose de esta forma una eficiente fusión.

A la salida del horno de combustión de azufre, el gas se enfría hasta aproximadamente 430°C en el recuperador de calor y posteriormente pasa al primer lecho del convertidor. En la capa 1, aproximadamente el 56% del SO<sub>2</sub> de entrada es transformado en SO<sub>3</sub> y la temperatura de reacción correspondiente es de alrededor de 614°C. Después de la capa 1, el gas se enfría a 430°C en el recalentador de vapor y entra directamente en la capa 2.

A la salida de la capa 2 se ha convertido el 84% del SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub>. La temperatura de de reacción es de 522°C. Después de esta capa el gas enfriado por debajo de los 430°C en el economizador 3, y entra en la capa 3 del convertidor. Después se realiza otra nueva refrigeración en los cambiadores de calor, antes de alimentar el gas al sistema de absorción intermedia. En ella, el SO<sub>3</sub> que contiene el gas se absorbe en ácido sulfúrico y se transforma en éste.

### **5.5.- Recuperación del ácido sulfúrico**

Se recupera mucho ácido sulfúrico usado para ser reciclado. Es frecuente referirse a éste como ácido de desecho. Muchos usuarios no consumen el ácido, pero lo diluyen y lo contaminan. Parte de él puede recuperarse para cumplir con las restricciones ambientales o para evitar el costo de la neutralización.

Algunos elementos que aún pueden ser utilizados son:

- El catalizador ácido gastado de alquilación es negro, pero todavía relativamente fuerte y no demasiado contaminado (alrededor de 90% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5% de agua y 5% de hidrocarburos).

- El ácido gastado de la nitración está diluido y solo ligeramente contaminado.
- Los ácidos gastados de los lodos resultan de la refinación del petróleo. En general, estos últimos son sucios, bajos en acidez, fuertemente contaminados y muchos contienen hasta 75% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 20% o más de hidrocarburos, siendo el resto agua.

El ácido gastado de la alquilación se está recuperando de manera económica atomizándolo, quemándolo en un horno, enfriándolo y purificando los gases de forma similar a la utilizada para los gases de fundición. El gas de dióxido de azufre resultante de la combustión se convierte entonces en ácido nuevo, de gran pureza, en una planta de contacto.

El ácido gastado de la nitración se recupera a menudo por concentración.

Los ácidos de lodos del petróleo pueden mezclarse con ácido gastado de la alquilación, compensando así cualquier diferencia de combustible en el ácido de la alquilación. Los lodos del petróleo se recuperan diluyéndolos con agua y aumentando la temperatura, ya sea a presión ambiente o a presión atmosférica. Entonces, la capa superior de hidrocarburos se decanta y la capa inferior se concentra para la recuperación del ácido.

## 6.- ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS

El almacenamiento y manipulación de los fluidos es una de las operaciones más frecuentes en la industria química y la mayoría de las veces, constituye una parte importante del volumen de la inversión necesaria y de los costes de explotación correspondientes (consumo de energía y mantenimiento principalmente). Por este motivo, se ha desarrollado una tecnología específica, cuyo conocimiento resulta imprescindible a toda persona involucrada en el diseño, construcción o explotación de cualquier planta industrial.

El estudio teórico de la mecánica de fluidos debe complementarse con el conocimiento de unas reglamentaciones, normalizaciones y recomendaciones generales, relativas al propio diseño, a la instalación e incluso a la propia operación, cuya conveniencia y utilidad es aceptada universalmente.

### 6.1.- Introducción

La rentabilidad de plantas industriales químicas está cada día más ligada a la continuidad de marcha de los procesos. Las alteraciones e interrupciones en la fabricación traen consigo pérdidas de producción y de rendimiento, que siempre traen consigo una desfavorable repercusión económica. Por ello, interesa siempre independizarla, en la medida de lo posible, de todas aquellas causas exteriores que puedan incidir sobre su marcha. Y en concreto, de los suministros de materias primas o productos auxiliares y de la retirada de los productos fabricados. Si éstos son fluidos se hace necesario almacenarlos en recipientes adecuados a su naturaleza y características.

La capacidad de los recipientes o depósitos de materias primas y de los productos finales suele ser muy grande (al menos la correspondiente a un consumo o producción de varios días de trabajo), quedando definida mediante un balance económico que contrapesa el coste final de almacenaje, que es la suma del coste financiero del capital inmovilizado, de la amortización, de los gastos de mantenimiento y del valor de las mermas inevitables



(evaporación del producto, coste de energía para bombeo, coste del vapor si es necesario para el mantenimiento de la temperatura...) y los prejuicios que podría ocasionar una parada de la planta, aún en el supuesto de que ésta sea de corta duración.

Independientemente de estos almacenes o depósitos reguladores dispuestos en cabeza y cola de los procesos, muchas veces es necesario disponer en los propios procesos pequeños depósitos cuya finalidad no es la de almacenamiento en el sentido estricto, sino otra fundamentalmente distinta. Pueden instalarse para recoger los fluidos en recirculación continua cuando se producen paradas o para asegurar la carga de líquido en la aspiración de una bomba, por ejemplo. Tales recipientes se denominan depósitos de proceso.

Según la ITC MIE-APQ-006 de almacenamiento de líquidos corrosivos del Reglamento de Productos Químicos, los almacenamientos podrán situarse en el exterior o interior de edificios, tanto sobre o bajo nivel del suelo. En cualquier caso se mantendrá accesible toda la superficie lateral exterior de los tanques o depósitos.

## 6.2.- Tipos de tanques de almacenamiento

Según la ITC MIE-APQ-006, los recipientes para almacenamiento de líquidos corrosivos podrán ser de los siguientes tipos:

- Tanques atmosféricos: Recipientes diseñados para soportar una presión interna manométrica de hasta 15 kPa (0,15 kg/cm<sup>2</sup>).
- Tanques a baja presión: Recipientes diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 15 kPa (0,15 kg/cm<sup>2</sup>) e inferior a 49 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Depósitos a presión: Recipientes diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 49 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>).

Los parámetros de presión de nuestro producto a almacenar no requieren ser muy elevados, por tanto, los recipientes que en este proyecto se utilizarán serán los tanques atmosféricos.

Si el calibrado para presiones de servicio se hace entre -25 y +50 milímetros de columna de agua (-2,5 y 5 g/cm<sup>2</sup>), que es lo más frecuente, no existen limitaciones de ninguna clase para adoptar cualquier forma geométrica para el depósito. La mayoría de las veces se construyen cilindros verticales de fondo plano y techo cónico o esférico (tipo domo), pues es la forma más económica, sobre todo cuando se pueden colocar directamente sobre el suelo (previamente saneado mediante unas capas de arena, grava, gravilla y un aglomerante de tipo asfáltico).

Los tanques que trabajan a presión atmosférica pueden ser de los siguientes tipos:

- De techo flotante: Este tipo de techo se emplea para tanques que se destinan al almacenamiento de fracciones medias-ligeras del petróleo (gasolinas, naftas...), petróleo y, en general, todos los productos volátiles.
- De techo fijo: Por el contrario, este tipo de techo se emplea para tanques que se destinan al almacenamiento de fracciones pesadas del petróleo (asfaltos, fuel-oil, gasóleo y queroseno), aceites lubricantes, ácido sulfúrico, fosfórico y en general todos los productos que no sean volátiles y cuyas posibles fugas de evaporación no supongan problemas.

- De techo abierto: este modelo de techo es utilizado por tanques que tienen como finalidad el almacenamiento de agua para uso industrial.

Para decidirnos entre un tipo u otro debemos estudiar las ventajas de cada tipo:

- De techo flotante:
  - Menores pérdidas por evaporación causadas por la variación de la temperatura.
  - Durante el llenado no deben ser evacuados los vapores por no existir espacio, entre el líquido y el techo, en el que formarse.
  - Reduce el riesgo de incendio por no existir aire en contacto con el líquido.
  - La falta de espacio entre el líquido y el techo impide la formación de mezclas explosivas.
- De techo fijo:
  - Menor coste que los de techo flotante.
  - No deben soportar la carga de agua de lluvia.
  - No existe inundación por agua de lluvia.
  - Las tolerancias de fabricación pueden ser mayores.
  - Más adecuado para pequeñas dimensiones.
- De techo abierto:
  - Inferior coste respecto a los otros dos tipos de techo.
  - Presentan un importantísimo inconveniente y es que no pueden almacenarse en ellos productos volátiles ni aquellos que puedan verse afectados por el agua de lluvia.

## 7.- DISEÑO Y FABRICACIÓN DE RECIPIENTES Y TUBERÍAS

### 7.1.- Materiales

Los tanques y depósitos, así como los sistemas de tuberías, se diseñarán y fabricarán con los materiales que, cumpliendo con las exigencias mecánicas de los equipos, permita una vida útil razonable. Esta se determinará de acuerdo con la previsión de su renovación y/o sustitución.

Para la determinación de la vida útil de dichos materiales deberá tenerse en cuenta no sólo las velocidades de corrosión cuando se trate de materiales homogéneos, sino también en caso de materiales no homogéneos o recubrimientos superficiales. La pérdida de características físico-químicas tales como la adherencia, endurecimiento, fragilidad, envejecimiento, porosidad...

### 7.2.- Normas de diseño

Los recipientes estarán diseñados de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia, y en su ausencia con códigos o normas de reconocida solvencia (código API o ASME). Cuando sea de aplicación, deberán ser conformes a lo establecido en la reglamentación sobre aparatos a presión (RAP).



Las acciones a tener en cuenta en el diseño serán las señaladas en el código o procedimiento de diseño, y como mínimo serán las siguientes:

- Peso total lleno de agua o líquido a contener cuando la densidad de éste sea superior a la del agua.
- Sobrecarga de uso.
- Sobrecarga de viento y nieve.
- Acciones sísmicas.
- Efectos de la lluvia.
- Temperatura del producto y por efecto de la acción solar.
- Efectos de la corrosión interior y exterior.
- Efectos de las dilataciones y contracciones sobre los soportes.

Cuando en la selección del material de construcción se haya adoptado un material que esté sujeto a la corrosión, se proveerá un espesor para éste, en función de la vida útil prevista y la velocidad de corrosión en las condiciones más desfavorables que en la operación puedan producirse.

Los sobreespesores de corrosión, así como los espesores de recubrimiento, no se considerarán en los cálculos de espesor de los recipientes y tuberías a efectos de su resistencia mecánica.

### **7.3.- Fabricación**

Los recipientes podrán ser de cualquier forma o tipo y durante la fabricación se seguirán las inspecciones y pruebas establecidas en las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia, y en su ausencia en el código o norma elegido.

Las conexiones a un recipiente por las que el líquido pueda circular normalmente llevarán una válvula manual externa situada lo más próxima a la pared del recipiente. Se permite la adición de válvulas automáticas internas o externas.

Las conexiones por debajo del nivel del líquido, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco. Este cierre puede ser una válvula sellada y precintada, tapón o brida ciega, o una combinación de éstos.

## **8.- SISTEMAS DE VENTEO Y ALIVIO DE PRESIÓN**

Cuando los líquidos almacenados a temperatura ambiente o superior tienen presión de vapor inferior a la atmosférica, la parte del depósito que no se encuentra ocupada por el líquido almacenado, consiste en una mezcla de aire y vapor de dicho líquido. Al llenar el depósito, la mezcla tiene que escapar al exterior para evitar que la presión en el interior aumente considerablemente. Al vaciarlo tendrá que entrar aire del exterior para evitar que se produzca un vacío peligroso que podría aplastar las paredes y fondos del depósito. La comunicación del interior del depósito y el exterior puede ser libre, a través de un tubo o abertura adecuadamente dispuesto, o cuando tal cosa no sea conveniente, a través de cierres hidráulicos o válvulas de seguridad (unas de vacío, otras de sobrepresión) adecuadamente tratadas. Estos tubos o aberturas son los que constituyen el llamado sistema de venteo y alivio

de presión. Las salidas de dicho sistema estarán alejadas de los puntos de operación y vías de circulación donde las personas puedan verse expuestas, o se protegerán para evitar las proyecciones de líquidos y vapores.

Los venteos normales de un tanque atmosférico se dimensionarán de acuerdo con códigos de reconocida solvencia, o como mínimo tendrán un tamaño igual o mayor que las tuberías de de llenado o vaciado, y en ningún caso inferior de 35 mm de diámetro interior.

Si cualquier tanque tiene más de una conexión de llenado o vaciado, la dimensión del sistema de venteo o alivio de presión se basará en el flujo máximo posible.

Cuando un producto, por efecto de la acción de la humedad del aire, aumenta su acción corrosiva, se tendrá en cuenta este efecto para disponer de un sistema que lo evite o corrija, salvo que se haya previsto esa posibilidad en la fase de diseño del tanque. Igualmente deberá evitarse en lo posible la emisión a la atmósfera de vapores perjudiciales de líquidos corrosivos, y en todo caso controlar sus efectos (como se expone en la Ley 7/2007, de 9 de julio, de gestión Integrada de la Calidad Ambiental).

La autorización ambiental unificada establecerá además, respecto de las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, las condiciones de funcionamiento de sus focos, así como el régimen de vigilancia y control de los mismos. Dichas condiciones tendrán en cuenta las mejores técnicas disponibles, las normas de calidad del aire y los límites de emisión fijados reglamentariamente, estableciéndose condiciones de emisión más rigurosas cuando el cumplimiento de los objetivos medioambientales así lo requiera.

Adoptar las medidas adecuadas para evitar las emisiones accidentales que puedan suponer un riesgo para la salud, la seguridad de las personas o un deterioro o daño a los bienes y al medio ambiente, así como poner en conocimiento del órgano competente, con la mayor urgencia y por el medio más rápido posible, dichas emisiones.

## **9.-INSTALACIONES DE RECIPIENTES DENTRO DE EDIFICIOS**

El almacenamiento en recipientes fijos dentro de edificios o estructuras cerradas será permitido solamente si la instalación de recipientes en el exterior no es recomendable debido a exigencias locales o consideraciones tales como: la temperatura, viscosidad, pureza, estabilidad, higroscopicidad. Lo cual debe justificarse en el proyecto.

El acceso a la zona de almacenamiento se restringirá, por medios eficaces, a las personas autorizadas.

### **9.1.- Características de los edificios**

Las características de los edificios que alberguen este tipo de recipientes serán tales que garanticen una resistencia al líquido corrosivo almacenado de tal forma que no pueda dañarse ni las cimentaciones ni la estructura del mismo o contiguos, así como la imposibilidad de que el líquido derramado invada a otras dependencias y tenga un sistema de drenaje a lugar seco.

Se dispondrá necesariamente de ventilación adecuada para evitar que se superen las concentraciones máximas admisibles en las condiciones normales de trabajo. Esta ventilación se expulsará al exterior mediante conductos exclusivos para tal fin.

## **9.2.- Sistemas de venteo y alivio de presión**

Los sistemas de venteo y alivio de presión de recipientes de superficie situados dentro de edificios deben cumplir lo expuesto en el apartado anterior (apartado 8) dedicado a ello.

## **10.- DISTANCIAS ENTRE INSTALACIONES Y ENTRE RECIPIENTES**

### **10.1.- Distancia entres instalaciones**

El área de almacenamiento estará separada de aquellas otras instalaciones que presente riesgo de incendio o explosión por una distancia igual, o mayor, que las distancias fijadas en la ITC MIE-APQ-001 para edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.

La pared interior de los cubetos distará, como mínimo, 1,5 m del vallado exterior de la planta. El resto de las instalaciones del almacenamiento distarán al menos 3 m de dicho vallado.

Las instalaciones de líquidos corrosivos, especialmente los recipientes y tuberías, deberán protegerse de los efectos de siniestros procedentes de otras instalaciones que presenten riesgos de incendio o explosión, en particular recipientes de inflamables y combustibles, cuando dichos efectos puedan afectar gravemente a la estabilidad de los materiales de construcción o a la peligrosidad de los productos contenidos (emisión de vapores tóxicos al calentarse, etc.).

### **10.2.- Distancias entre recipientes**

La separación entre dos recipientes debe ser la superficie para garantizar un buen acceso a los mismos con un mínimo de 1 m.

## **11.- OBRA CIVIL**

### **11.1.- Cimentaciones**

El diseño de las cimentaciones para recipientes y equipos incluidos áreas de almacenamiento deberá ajustarse a las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia, y en su ausencia a un código o norma de reconocida solvencia, y como mínimo se considerarán las especificaciones que se indican a continuación.

### ***11.1.1.- Emplazamientos e influencia de las características del suelo***

---

Se tendrán en cuenta las consideraciones siguientes:

- Antes de determinar el emplazamiento exacto deberá tenerse en cuenta las características geotécnicas del terreno, a fin de obtener datos necesarios para determinar la resistencia del terreno, asentamientos previsibles con el tiempo y nivel freático, así como las características sísmicas de la zona. Con ayuda de estos datos se elegirá el emplazamiento idóneo, y se seleccionará el tipo de cimentación acorde con las exigencias del tipo de recipientes y de las instalaciones o estructuras ligadas al mismo.
- El asentamiento admisible del terreno no debe sobrepasar el límite máximo establecido en el diseño. Deben fijarse el asentamiento tanto el diferencial como el uniforme. La superficie soporte del recipiente debe ser horizontal.
- Se evitará la construcción de las cimentaciones de recipientes en condiciones tales como:
  - Lugares pantanosos o con material compresible en el subsuelo.
  - Lugares en los que una parte de la cimentación quede sobre roca o terreno natural y otra sobre relleno, o donde haya sido necesario una preconsolidación del terreno.
  - Lugares de dudosa estabilidad del suelo, como consecuencia de la proximidad de cursos de agua, excavaciones profundas o grandes cargas, o en fuerte pendiente.
  - Lugares en los que los recipientes queden expuestos a posibles inundaciones que originarían su flotación, desplazamiento o socavado.
- Si el subsuelo sobre el que se proyecta la cimentación es débil e inadecuado para resistir las cargas del recipiente llenos se pueden considerar los métodos siguientes:
  - Eliminación de los materiales no satisfactorios y sustitución por relleno adecuadamente compacto.
  - Compactación por vibración o carga previa (navetas) con material terraplén u otros.
  - Estabilización de los materiales blandos por drenaje.
  - Estabilización de los materiales blandos por inyección de agentes químicos.
  - Construcción de una estructura de hormigón armado, soportada por pilotes o en otra forma adecuada.

### ***11.1.2.- Cimentaciones de los recipientes***

---

El material utilizado en una fundación debe ser homogéneo, preferiblemente granular y estable, exento de materias orgánicas o perjudiciales.

En el caso de tanques con fondo plano, la superficie sobre la que descansa el fondo deberá quedar a 30 cm como mínimo por encima del suelo. En el caso de tanques de fondo cónico o fondo plano inclinado se debe asegurar un sellado correcto entre las chapas del fondo y la superficie de la cimentación.

Se podrá adoptar un sistema de protección catódica para proteger el fondo del tanque y si fuese necesario la cimentación deberá protegerse con un sistema de impermeabilización resistente al producto a almacenar.

Cuando las condiciones del subsuelo impongan el empleo de una estructura de hormigón armado y pilotes, estos se deberán diseñar de acuerdo con la vigente instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón. El hormigón se dosificará o protegerá de modo que se evite que sea atacado el propio hormigón o sus armaduras por un derrame accidental.

En el diseño de tanques se deberá tener en cuenta los efectos de la presión interna, momento de viento y esbeltez para definir el tipo de cimentación, amarres o cualquier otra disposición constructiva que sea posible.

En tanques muy grandes o de cuerpo alto que imponen cargas considerables en el perímetro y cuando el suelo no ofrece suficientes garantías para permitir la cimentación típica, es conveniente disponer un anillo de hormigón sobre el que descansa la envolvente de forma que su eje coincida con el del anillo.

#### ***11.1.3.- Influencia de la prueba hidrostática***

---

En caso de realizar la primera prueba hidrostática al depósito in situ, se deben tomar precauciones especiales por si fallara la cimentación. El primer tanque que se pruebe en un determinado emplazamiento se controlará especialmente y se registrarán los asientos en función de las cargas y su evolución en el tiempo, con un mínimo de 24 h.

### **11.2.- Cubetos de retención**

Los recipientes fijos para almacenamiento de líquidos corrosivos exteriores o dentro de edificios deberán disponer de un cubeto de retención que podrá ser común a varios recipientes. No deberán estar en un mismo cubeto recipientes con productos que presenten una reactividad peligrosa entre sí o que puedan reducir por debajo de las mínimas exigencias mecánicas de diseño del resto de las instalaciones.

La distancia mínima horizontal entre la pared mojada del recipiente y el borde interior de la coronación del cubeto, será igual o superior a 1 m, para tanques atmosféricos.

El fondo del cubeto tendrá una pendiente mínima del 1 %, de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia el punto de recogida y posterior tratamiento de efluentes.

### ***11.2.1.- Capacidad del cubeto***

---

La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la capacidad del recipiente mayor.

Cuando un cubeto contiene un solo recipiente, su capacidad se mide considerando que tal recipiente no existe, es decir, será el volumen de líquido que pueda quedar retenido dentro del mismo, incluyendo el del recipiente hasta el nivel de líquido en el cubeto.

Cuando el cubeto contiene dos o más recipientes, su capacidad se mide considerando que no existe el recipiente mayor, pero si los demás, descontando el volumen total del cubeto vacío del volumen de la parte de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del líquido, excepto el del mayor.

### ***11.2.2.- Cubetos alejados de los recipientes***

---

Si las disposiciones adoptadas permiten al cubeto cumplir complementariamente su misión de retención de productos en caso de fuga accidental sin que los recipientes estén dentro del cubeto, estos cubetos podrán estar más o menos alejados de los recipientes, de manera que lleven los derrames a una zona que presente menos riesgos, siempre y cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- La disposición y la pendiente del suelo alrededor del tanque deben ser tales que en caso de fuga, los productos discurran únicamente hacia el cubeto de recogida de derrames.
- El trayecto recorrido por los derrames accidentales entre los recipientes y el cubeto de retención no deben atravesar zonas de riesgo ni cortar vías de acceso a las mismas.

### ***11.2.3.- Construcción y disposición de los cubetos***

---

Las paredes y fondos de los cubetos deberán ser de un material que asegure la estanqueidad de los productos almacenados. Debiendo ser diseñados para poder resistir la presión hidrostática debida a la altura del líquido a cubeto lleno.

En los cubetos deberán existir accesos normales y de emergencia, señalizados, con un mínimo de dos en total, y en número tal que no haya que recorrer una distancia superior a 25 m hasta alcanzar un acceso desde cualquier punto del interior del cubeto.

Los cubetos deberán ser rodeados, al menos en una cuarta parte de su periferia, por dos vías de acceso que deberán tener una anchura mínima de 2,5 m y una altura mínima libre de 4 m para posibilitar el paso de vehículos de emergencia.

Las tuberías que no estén enterradas no deben atravesar más cubeto que el del recipiente o recipientes a los cuales estén conectadas. El paso de las tuberías a través de las

paredes del cubeto debe realizarse de manera que quede asegurada la estanqueidad del cubeto.

La pendiente del fondo del cubeto desde el tanque hasta el sumidero de drenaje será como mínimo del 1 %.

Se prohíbe el empleo de mangueras flexibles en el interior del cubeto. Su utilización se limitará a operaciones de corta duración.

Los canales de evacuación tendrán una sección mínima de 400 cm<sup>2</sup>, con una pendiente mínima del 1 % hacia el punto de salida.

### **11.3.- Límites exteriores de las instalaciones: vallado**

Cuando el almacenamiento está fuera del recinto vallado de una factoría, se cercará con una valla resistente de 2,5 m de altura como mínimo, con una puerta que deberá abrir hacia fuera.

## **12.- INSTALACIONES PARA CARGA Y DESCARGA**

Se considerarán instalaciones de carga y descarga aquellos lugares en los que se realizan las operaciones siguientes:

- Trasvase entre unidades de transporte y los almacenamientos, y viceversa.
- Trasvase entre instalaciones fijas de almacenamiento y recipientes móviles.
- Trasvase entre unidades de transporte y las instalaciones de proceso.

### **12.1.- Cargaderos terrestres**

Las instalaciones de cargaderos terrestres de camiones o vagones cisterna deberán adaptar su diseño y criterios de operación a los requisitos de la reglamentación sobre transporte, carga y descarga de mercancías peligrosas.

- Un cargadero puede tener varios puestos de carga y descarga de camiones o vagones cisterna. Su disposición debe ser tal, que cualquier derrame accidental debe ser conducido hacia un canal o sumidero de recogida por medio de la adecuada pendiente.
- Los cargaderos de camiones se situarán de forma que los camiones puedan dirigirse a ellos por caminos de libre circulación, con accesos amplios y bien señalizados y por pavimentos impermeables y resistentes al líquido trasvasado.
- Las vías de los cargaderos de vagones estarán sin pendiente en la zona de carga y descarga.
- Los vagones o camiones cisterna, deberán estar debidamente frenados mediante calzos o cuñas, mientras estén realizando las operaciones de carga y descarga.
- Se dispondrá de toma de tierra si hay otros productos inflamables en procesos de carga y descarga, para evacuar la carga electrostática.

- Antes de iniciar la operación de carga y descarga, el personal de la instalación efectuará una comprobación del estado de las mangueras y conexiones.
- Se dispondrá de un sistema de corte automático de fluido por pérdida de presión.

Anualmente se comprobará la estanqueidad de las mangueras sometiéndolas a las pruebas establecidas en las normas aplicables o las recomendaciones del fabricante y, como mínimo, a 1,1 veces la presión máxima de servicio.

## **12.2.- Cargaderos marítimos y fluviales**

La conexión entre las válvulas del barco y las tuberías de transporte se establecerá mediante mangueras o tuberías articuladas.

Las mangueras podrán estar soportadas por estructuras o mástiles apoyadas en el suelo o izadas por los propios medios del barco, que a su vez estarán soportados por una estructura metálica y las articulaciones serán totalmente herméticas.

La instalación dispondrá de un sistema para que, una vez terminada la operación de carga y descarga, se puedan vaciar las tuberías y mangueras de productos que pudieran contener, y de medios adecuados para recogerlos, en número y capacidad suficientes. Además, se tomarán las provisiones necesarias para que un cierre eventual brusco de las válvulas no pueda provocar la rotura de tuberías, mangueras o sus uniones.

## **12.3.- Operaciones de carga y descarga**

Estas operaciones se realizarán de acuerdo con lo dispuesto en la normativa de carga y descarga para el transporte de mercancías peligrosas.

# **13.- TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES**

## **13.1.- Depuración de efluentes líquidos**

Todos los efluentes líquidos que puedan presentar algún grado de contaminación deberán ser tratados de forma que el vertido final de la planta cumpla con la legislación vigente en materia de vertidos, o sea, en la Ley 7/2007, de 9 de julio, de gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

## **13.2.- Lodos y residuos sólidos**

Los lodos y sólidos de carácter contaminante deberán ser eliminados por un procedimiento adecuado que no dé lugar a la contaminación de aguas superficiales o subterráneas por la filtración o escorrentías, ni produzca contaminación atmosférica, o del suelo, por encima de los niveles permitidos por la legislación vigente.



### 13.3.- Emisión de contaminantes a la atmósfera

La concentración de contaminantes dentro del recinto de almacenamiento deberá cumplir lo establecido en la legislación vigente para los lugares de trabajo. Los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera, en el exterior de dicho recinto de almacenamiento, cumplirán lo preceptuado en la legislación aplicable en materia de protección del ambiente atmosférico y sobre la prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial.

## 14.- MATERIALES

- Chapas: Las chapas estarán de acuerdo con la última revisión de las normas ASTM A 7 (procedimiento de horno eléctrico o Martin Siemens) A 283 grado C.
- Perfiles estructurales: Los perfiles estructurales deberán ser de proceso de horno eléctrico o Martin Siemens, y deberán conformar la última edición de las normas ASTM A 7, A 36 ó A 373.
- Fundiciones: Las fundiciones deberán conformar la última edición de las normas ASTM A 27, grado 60-30, completamente recocidas
- Tornillos: Los tornillos deberán conformar la última versión de ASTM A 30. Los comprobadores deberán especificar en sus pedidos la forma de las cabezas de los pernos y de las tuercas, como también si desea dimensiones normales o fuertes.

## 15.- DISEÑO DE LA ENVOLVENTE

### 15.1.- Tensiones de trabajo

La máxima tensión de diseño permitida, incluso el factor de eficiencia de junta, será 21.000 lb/inch<sup>2</sup>. El espesor neto de chapa (Espesor actual menos espesor de corrosión) se usará en el cálculo.

La máxima tensión permitida en la prueba hidrostática incluido el factor de eficiencia de la junta será 23.000 lb/inch<sup>2</sup>. El grueso de la chapa que dé el máximo espesor, es decir incluido cualquier espesor de corrosión, será usado en el cálculo.

### 15.2.- Tamaños y espesores de las chapas de la envolvente

El espesor mínimo de las chapas de la envolvente se computará con el coeficiente de trabajo en las uniones verticales, utilizando un factor de eficiencia del 0,85.

Bajo ningún concepto, las chapas de la envolvente tendrán un espesor nominal inferior a los que se detallan en la siguiente tabla:

Diámetro nominal del tanque (ft)	Espesor nominal (inch)
Menor de 50	3/16
Entre 50 y 120	¼
Entre 120 y 200	5/16
Más de 200	3/8

**Ilustración 9: Espesor mínimo según API 650**

El diámetro nominal del tanque, será el diámetro de la línea neutra de las chapas de la envolvente, a menos que el comparador especifique otra cosa.

El espesor nominal de las chapas de la envolvente del tanque se refiere a cómo está construida y está basada en la estabilidad más que en la resistencia.

El máximo espesor nominal de las chapas de la envolvente del tanque será 1 ½ inch.

El ancho de las chapas de la envolvente será el que se haya acordado entre el fabricante y el comprador, pero preferentemente no será mayor de 72 inch. Las chapas que hayan de ir soldadas a tope deberán estar perfectamente encuadradas.

### 15.3.- Disposición de componentes

La envolvente del tanque se diseñará de forma que todas sus virolas sean realmente verticales. A menos que se indique otra cosa, las chapas en contacto para las uniones horizontales tendrán una línea neutra vertical común. Entre virolas consecutivas, las uniones verticales no estarán alineadas, sino que estarán separadas unas de otras una distancia de cinco veces el espesor de la chapa de la virola más gruesa, desde el punto de separación. Estos requisitos no serán aplicados a las virolas cuyo espesor haya sido establecido según lo dispuesto en la tabla anterior.

- **Uniones verticales:** Las uniones verticales serán a tope con penetración y fusión completas, tales como se obtiene en la soldadura doble o por otros medios, que obtendrán la misma calidad de metal de soldadura depositado, en el interior y en el exterior de las superficies a soldar. La apropiada preparación de la chapa y el procedimiento de soldadura adecuado se determinarán de acuerdo con la última norma de las reglas aplicables de calificaciones de soldadura, sección IX del código ASME.
- **Uniones horizontales:** las uniones horizontales serán mediante soldadura a tope y tendrá completa fusión con el metal base sobre la profundidad requerida de la soldadura. La apropiada penetración de la chapa y el procedimiento de soldadura adecuado, también será determinado de acuerdo con la última norma de las reglas aplicables de calificaciones de soldadura, sección IX del código ASME.

## 15.4.- Anillo de coronamiento

En la parte superior de la última virola se debe soldar un perfil en L, denominado anillo de coronamiento, que deberá soportar las cargas debidas al viento que tienden a abollar la envolvente.

La línea periférica de los anillos de refuerzo puede ser circular o poligonal. Este anillo de coronamiento independientemente de la velocidad del viento, no podrá tener unas dimensiones inferiores a las que se indican en la siguiente tabla:

Diámetro nominal del tanque (ft)	Perfil en L (inch)
Menor de 50	21/2 x 21/2 x 1/4
De 35 a 60	2 x 21/2 x 5/6
De 60 a 220	3 x 3 x 3/8
Más de 220	33/4 x 33/4 x 3/8

Ilustración 10: Tamaño mínimo del anillo de coronamiento según API 650

En el caso de que los anillos de refuerzo se utilicen regularmente como pasarelas, tendrán un ancho nunca inferior a 24 inch a partir de la proyección del ángulo de coronación de la envolvente del tanque y deberán colocarse preferentemente a 3 ft 6 inch por debajo de la parte superior del ángulo de coronación y estarán provistos de una barandilla tipo standard en el lado no protegido y en los extremos de la sección utilizada.

Cuando una abertura de la escalera se instale a través de un anillo de refuerzo, el módulo de sección de aquella porción de anillo exterior a la abertura, incluyendo la sección de transición, será de acuerdo con los requisitos indicados en el código API 650. La envolvente a tal abertura irá reforzada con un ángulo o barra, cuyo lado ancho será colocado en plano vertical. La sección transversal de estos refuerzos de borde deberá ser, al menos, equivalente a la sección transversal de aquella porción de envolvente incluida en los cálculos del módulo de la sección del anillo de refuerzo. Estos refuerzos adicionales irán provistos de un reborde apropiado alrededor de la abertura.

Los anillos de refuerzo deberán ir provistos de soportes, cuando la media del ala horizontal exceda de 16 veces el espesor de dicha ala, dichos soportes se espaciarán a intervalos, como se requiera para la carga estática y la carga vertical que pueda ser colocada sobre el anillo. De cualquier forma, el paso no puede exceder de 24 veces el ancho de refuerzo extremo de coronación.

Tras calcular el anillo necesario para el coronamiento, se debe calcular si la envolvente está debidamente rigidizada con dicho anillo o si por el contrario, es necesaria la instalación de otro intermedio. No obstante, lo que normalmente se hace, en los casos en los que es necesaria la instalación de un anillo intermedio es aumentar el espesor de las virolas hasta que la envolvente se encuentre totalmente rigidizada.

## 15.5.- Pruebas en la envolvente

Una vez determinado el tanque, antes de que se conecte ninguna tubería externa, se probará la envolvente por uno de los dos métodos siguientes:

- Si se dispone de agua para la prueba, se llenará el tanque de agua, inspeccionándolo frecuentemente durante la operación de llenado. En los tanques de techo fijo, la altura de llenado será 2 inch por debajo del ala superior del ángulo.
- Si no se dispone de agua suficiente para llenar el tanque las pruebas se harán:
  - Pintando todas las uniones por el interior con un líquido penetrante, examinando por el exterior los posibles escapes de las uniones.
  - Aplicando presión de aire o vacío igual que las pruebas de techo.
  - Cualquier combinación de los métodos anteriores.

## 16.- DISEÑO DE FONDOS

Los tanques de almacenamiento, particularmente los de grandes dimensiones, imponen una carga considerable sobre el suelo, por ello se les ha de proveer de las fundaciones apropiadas para evitar el asiento irregular de los mismos.

### 16.1.- Tamaños de chapas

Todas las chapas del fondo tendrán un espesor nominal mínimo de ¼ inch. Todas las chapas rectangulares tendrán preferiblemente una anchura mínima de 72 inch, al igual que las chapas de forma (chapas de fondo sobre las que descansa el tanque) las cuales tienen un extremo rectangular.

Las chapas del fondo se pedirán con una anchura suficiente para que una vez cubierta, al menos 1 inch de ancho sobresalga fuera del borde exterior de la soldadura que une el fondo con la envolvente.

### 16.2.- Métodos de construcción

Los fondos se construirán de una de las dos maneras siguientes:

- Las chapas del fondo soldadas a tope serán razonablemente rectangulares y de bordes cuadrados. Los solapes de tres chapas en los fondos del tanque no estarán más cercanos de 12 inch unos de otros, así como de la envolvente del tanque. Las chapas del fondo se soldarán únicamente en la parte superior, con filete completo continuo en todas las costuras. Las chapas de forma tendrán los extremos exteriores de las uniones ajustados y soldados a solape para formar un apoyo liso para las chapas de la envolvente.
- Las soldaduras a tope de las chapas del fondo tendrán los bordes paralelos preparados para soldar a tope bien a escuadra o en V. Si los bordes son rectangulares, la abertura de la raíz no será menor de ¼ inch. Las soldaduras a tope se ejecutarán aplicando un refuerzo de 1/8 inch de espesor o mayor mediante

soldadura a puntos, en la parte inferior de la chapa. Las uniones de tres chapas en el fondo de los tanques no estarán más juntas de 12 inch unas de otras ni tampoco de la envolvente del tanque.

### 16.3.- Pruebas del fondo

Al terminar la soldadura del fondo del tanque, éste deberá probarse por uno de los siguientes métodos:

- El aire a presión o vacío se aplicará a las uniones utilizando jabón, aceite de linaza u otro material apropiado para descubrir las posibles fugas.
- Una vez unida, cuando menos la primera virola de la envolvente, se bombeará debajo del fondo petróleo o agua suministrados por el comprador.

## 17.- UNIÓN ENTRE ENVOLVENTE Y FONDO

Las uniones entre el borde de la virola inferior y la chapa de fondo serán de filete continuo, en ambos lados de la chapa de la envolvente. El tamaño de las soldaduras no será mayor de ½ inch ni menor que el espesor nominal de la más fina de las chapas unidas, ni menor de los valores expuestos en la siguiente tabla:

Espesor máximo de la chapa de la envolvente (inch)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete (inch)
3/6	3/16
De 3/6 a ¾	1/4
De ¾ a 1 1/4	5/16
De 1 1/4 a 1 1/2	3/8

Ilustración 11: Tamaño mínimo de la soldadura tipo filete

## 18.-DISEÑO DEL TECHO

Todos los techos y estructuras de apoyo se deberán diseñar para soportar carga estática, más una carga variable de no menos de 25 lb/inch<sup>2</sup> del área proyectada.

Las chapas de techo tendrán un espesor nominal mínimo de 3/16 inch. Se podrá requerir un espesor mayor para techos autosoportados.

Todos los elementos estructurales externos e internos deberán tener un espesor nominal mínimo de 0,17 inch.

Las chapas del fondo se unirán al ángulo de coronación del tanque con una soldadura de filete continua en la parte superior.

Si la soldadura de filete continua entre las chapas del techo y el ángulo superior no excede de 3/16 inch y la inclinación del techo en la unión con el ángulo de coronación no excede de 2 inch en 12 inch, la junta puede considerarse frágil, y en caso de excesiva presión

interna, se romperán antes de que se deformen las uniones de la envolvente del tanque o la unión del fondo a la envolvente. Un fallo en la unión del techo de la envolvente podrá ir acompañado de ondulaciones en el ángulo superior del techo.

Además, los techos de tipo cónico autosoportados, deberán estar de acuerdo con los siguientes requisitos, los valores máximos y mínimos de la pendiente son  $\alpha=26,9^\circ$  (tangente=9:12) y  $\alpha=9,5^\circ$  (tangente=2:12) respectivamente. Se adoptará un ángulo de pendiente de  $\alpha=20^\circ$  para el tanque de 5.000 m<sup>3</sup> y de  $25^\circ$  para el de 10.000m<sup>3</sup>.

### 18.1.- Tipos de techos

- Techo cónico apoyado en columnas: Es el formado aproximadamente por la superficie del cono recto. El apoyo principal del techo lo proporcionan columnas y vigas.
- Techo en cúpula autosoportado: es un techo formado por una superficie esférica, apoyado solamente en su periferia (sin columnas de apoyo).
- Techo de paraguas autosoportado: Es un techo de cúpula modificada de forma tal, que la sección horizontal es un polígono regular con tantos lados como chapas de techo haya, soportadas solamente en su periferia.

El campo de aplicación de cada tipo es función del diámetro del tanque, y a modo indicativo, API 650 divide de la forma que dicta la siguiente tabla:

Diámetro del tanque (m)	Tipo de techo
Hasta 8	Autosoportados sin estructura
De 4,5 a 12,5	Autosoportados con vigas
De 10 a 48	Autosoportados con cerchas
De 20 a 80	Soportados por columnas

Ilustración 12: Tipo de techo recomendado según API

## 19.-SOLDADURAS

Los tanques y sus accesorios estructurales se soldarán por el procedimiento de arco, soldadura MIG, o arco sumergido, utilizando el equipo apropiado. Puede efectuarse manual, automática o semiautomáticamente, de acuerdo con los procedimientos y por aparatos de soldar y soldadores calificados por API 650, y de forma que se asegure la completa fusión con el metal base.

La soldadura no se ejecutará cuando la superficie de las partes a soldar estén mojadas por la lluvia, nieve o hielo, cuando la nieve o la lluvia esté cayendo sobre tales superficies, ni durante períodos de fuertes vientos, a menos que la máquina y el trabajo estén perfectamente protegidos. No se efectuará soldadura cuando:

- La temperatura del metal base sea inferior a 0 F.
- La temperatura de la chapa esté entre 0 y 32 F.
- El espesor sea superior a 1 ¼ inch, estando el metal base dentro de 3 inch.

Cada capa de metal soldado o las varias capas, se limpiarán de escoria y otros depósitos antes de aplicar la capa.

Los bordes de todas las soldaduras deberán emerger de las superficies de la chapa sin ningún ángulo agudo. No existirán mordeduras del metal base, excepto en las uniones a tope horizontales en las que la mordedura excederá de 1/32 inch en profundidad para que sea permisible.

El metal soldado, en ambos lados de todas las uniones a tope, excepto las caras salientes de las uniones horizontales, se construirán en forma de refuerzo, de manera que la superficie terminada del área de fusión se extienda sobre la superficie de la chapa próxima, preferentemente no mas de 1/16 inch.

En todas las uniones solapadas, las chapas se mantendrán en contacto durante la operación de soldadura.

Las soldaduras a puntos utilizadas para el montaje de uniones verticales en la envolvente del tanque y las utilizadas para las uniones de la envolvente al fondo, se quitarán y no permanecerán en las uniones acabadas cuando éstas estén soldadas manualmente. Las soldaduras a puntos del fondo, techo y uniones circunferenciales de la envolvente del tanque no es necesario quitarlas, con tal de que sean sanas y que las pasadas de la soldadura aplicada a continuación fundan perfectamente los puntos.

### 19.1.- Tipos de soldadura

Se aplicarán las siguientes definiciones a las juntas de los tanques:

- Doble soldadura a tope: Una junta entre dos chapas a tope, situadas aproximadamente en el mismo plano y soldada por ambos lados.
- Simple soldadura a tope con respaldo: Una junta entre dos chapas a tope situadas aproximadamente en el mismo plano, soldada solamente por un lado con el uso de una llanta de apoyo u otro tipo de respaldo.
- Doble soldadura a solape: Una junta entre dos chapas soldadas en la que los bordes de ambas chapas son soldados a filete. Este tipo de soldadura se permite sólo en las chapas de techo y fondo. Irán solapadas no menos de cinco veces el espesor nominal de la chapa más delgada de la unión.
- Soldadura a tope: Una soldadura situada entre dos chapas a tope. Los chaflanados pueden ser rectos, en V o en U y pueden ser simples o doblemente achaflanados.
- Soldadura a filete: Una soldadura de sección triangular que une dos superficies que forman un ángulo recto en juntas de solape, en forma de T o en ángulo. El tamaño mínimo de las soldaduras de filete será el siguiente:
  - Chapas de 3/16 inch de espesor: Soldaduras de filete completo.
  - Chapas superiores de 3/16 inch: No menos de un tercio del espesor de la chapa más delgada de la junta con un mínimo de 2/16 inch.
- Soldadura a filete llena: Una soldadura a filete cuyo tamaño es igual al espesor de la chapa más delgada unida.
- Soldadura por puntos: una soldadura realizada para mantener las chapas a soldar debidamente alineadas hasta que la soldadura esté terminada. Este tipo de soldadura no tiene ningún valor en la resistencia de la estructura terminada. Irán solapadas no menos de cinco veces el espesor de la chapa más delgada de la unión.

El tamaño de las soldaduras se basa en las siguientes dimensiones

- Soldadura de raíz: La penetración de raíz (profundidad del chaflán más penetración de raíz cuando se especifique).
- Soldadura en filete: Para soldaduras en filete de lados iguales, el de mayor triángulo isósceles que puede inscribirse dentro de la soldadura de ángulo.

## 19.2.- Soldaduras en el fondo

Los tipos de soldadura en el fondo del tanque están especificados en la sección 15.2, referida a métodos de construcción.

La soldadura de la envolvente al fondo se completará antes de terminar la soldadura de las uniones del fondo que debe dejarse abierta para compensar la retracción de cualquier soldadura realizada con anterioridad.

Las chapas de la envolvente serán alineadas mediante grapas unidas a la chapa del fondo, punteando la envolvente al fondo, antes del comienzo de la soldadura continua entre las chapas de la envolvente y las del fondo.

## 19.3.- Soldaduras en la envolvente

Las chapas se unirán mediante soldadura a tope después de una exacta alineación y serán mantenidas en posición durante toda la operación de soldadura. La desviación de la alineación de las costuras verticales no excederá del 10 % del espesor de la chapa o de 1/16 inch, el que sea mayor.

En las uniones a tope horizontales, la chapa superior no se proyectará sobre la superficie de la chapa más baja, en ningún punto más del 10% del espesor de la chapa superior, con un máximo de 1/8 inch, excepto que está permitido una proyección de 1/16 inch cuando las chapas superiores tienen un espesor menor de 5/16 inch.

El reverso de las uniones verticales con doble soldadura a tope, y las porciones de las uniones horizontales para las que se ha especificado una penetración y fusión completas, se sanearán perfectamente antes de la ampliación del primer cordón en este lado, de forma que la superficie expuesta queda adecuadamente dispuesta para la fusión del metal que se va a añadir.

## 20.- CONEXIONES DEL TANQUE

### 20.1.- Entradas de hombre en envolvente

Las chapas de refuerzo de las mismas, y secciones correspondientes, si no van hechos en una misma pieza, irán provistos de un agujero indicador de un diámetro de ¼ inch (con el fin de detectar cualquier escape a través de las soldaduras internas). Tales agujeros estarán localizados substancialmente en el eje horizontal y estarán abiertos a la atmósfera.



Los bastidores de las entradas de hombre pueden ser embutidos o soldados. Mientras el diámetro máximo de la abertura en la envolvente será la suma del diámetro interno del bastidor, más cuatro veces el espesor de las bridas de unión.

## 20.2.- Tubuladuras de envolvente

Las tubuladuras de la envolvente estarán de acuerdo con API 650. Las chapas de refuerzo de las boquillas y los elementos consiguientes, si no están hechos de una pieza, irán provistos de un agujero indicador de ¼ inch de diámetro, situado sustancialmente en el eje vertical.

## 20.3.- Accesorios de limpieza de tipo a paño

Cuando se instalen accesorios tipo a paño, en un tanque que esté apoyado en el suelo sin hormigón o con paredes de mampostería bajo la envolvente del tanque, deberá proveerse el apoyo del accesorio y retener el relleno por alguno de los métodos siguientes:

- Instalar una chapa vertical bajo el tanque, a lo largo de la envolvente y simétricamente con la abertura.
- Instalar una pared de retención de hormigón o mampostería, por debajo del tanque, con su cara exterior formando el contorno de la envolvente del tanque.

Cuando se instale un accesorio de limpieza tipo a paño en un tanque que descansa sobre un anillo de hormigón se ejecutará un canal de las dimensiones señaladas en API650 para acomodar los accesorios de limpieza.

Cuando se instale un accesorio de limpieza tipo a paño en un tanque que descansa sobre una grada de tierra, dentro de una pared de contención, se efectuará una abertura en la pared de contención para colocar el accesorio y se proporcionará una pared de retención suplementaria para soportar el accesorio y retener la grada, cuyas dimensiones se muestran en API 650.

## 20.4.- Puertas de limpieza tipo a paño

Las puertas de limpieza tipo a paño pueden ser de dos tipos:

- Puertas atornilladas: Cuando se instale una puerta atornillada en un tanque que descansa sobre una grada de tierra, con o sin pared de mampostería bajo la envolvente del tanque, deberá proveerse de un apoyo para el accesorio y retener la grada según se muestra en API 650.
- Puertas soldadas: Las características son similares a las anteriores, lo que ocurre es que en este caso en lugar de ir atornilladas van soldadas superpuestas a la pared del tanque, con lo que se asegura una mayor estanqueidad. Cuando se vayan a hacer las labores de limpieza (algo que se realiza con grandes intervalos de tiempo) lo único que ha de hacerse es romper la soldadura, y una vez finalizadas estas tareas volver a soldar hasta la próxima limpieza.

## **20.5.- Entradas de hombre de techo**

Cuando sea probable que haya que realizar trabajos a través de esta entrada de hombre durante la utilización del tanque será recomendable que la estructura del techo, alrededor de la entrada, estuviese convenientemente reforzada.

## **20.6.- Tubuladuras del techo**

Se instalarán tubuladuras de techo tal y como se indica en API 650 apéndice D.

# **21.- TUBERÍAS**

## **21.1.- Sistemas de tuberías**

El diseño, materiales, fabricación, ensamblaje, pruebas e inspecciones de los sistemas de tuberías conteniendo líquidos corrosivos, serán adecuados a la velocidad de corrosión, presión, pérdida de carga y temperatura de trabajo esperadas, para el producto a contener y para los esfuerzos combinados debidos a presiones, dilataciones u otras semejantes en las condiciones normales de servicio, transitorias de puesta en marcha, situaciones anormales y de emergencia.

Cuando pueda quedar líquido confinado entre recipientes o secciones de tuberías y haya la posibilidad de que este líquido se dilate o vaporice, deberá instalarse un sistema de alivio de presión controlado que impida alcanzar presiones superiores a la de diseño del equipo o tubería siempre que la cantidad retenida exceda de 250 l.

Asimismo, la instalación estará dotada de las necesarias válvulas de purga, con el fin de evitar una retención de líquidos en las tuberías cuando deba intervenir o desmontarse.

Aquellos puntos del sistema de tuberías en los que exista la posibilidad de proyección de líquido (por ejemplo, bridas) y se encuentren próximos a los puntos de operación donde las personas puedan verse expuestas, o vías de circulación, deberán protegerse mediante apantallamientos u otros sistemas adecuados.

Sólo se instalarán tuberías enterradas en casos excepcionales debidamente justificados.

## 21.2.- Diseño de tuberías

Para el diseño del tendido de tuberías, se ha seguido las normas ASA B-36-10, aplicable a tramos rectos y accesorios (reducciones, codos...) de soldadura a tope.

Las tuberías deben proyectarse previniendo el empleo de elementos normalizados y existentes en el comercio. Las tuberías deben disponerse separadas entre sí, por lo menos 250 mm, para facilitar las operaciones de mantenimiento.

Las tuberías, convenientemente agrupadas y ordenadas para aprovechar el espacio disponible al máximo, irán montadas sobre bandejas o pipe racks, en uno o más pisos, situándolos en sus recorridos horizontales por encima de 4 m de elevación al objeto de no impedir o interrumpir el paso.

Una vez definida cada conducción, se prestará especial atención al estudio de las dilataciones que puedan producirse, debiendo evitarse a toda costa que la tubería ejerza un esfuerzo importante (por su propio peso, dilataciones, vibraciones...) sobre los aparatos o máquinas a los que va conectada. Como dispositivos previstos normalmente para absorber las dilataciones podemos señalar los siguientes:

- Liras de dilatación: Empleadas generalmente en conducciones a elevada presión y temperatura, y de diámetro no excesivo.
- Compensadores de dilatación: Utilizados para presiones de tipo medio y diámetros de conducción grandes.
- Elementos especiales: Como apoyos móviles, manguitos de goma...

Los apoyos además de soportar el peso de las tuberías y de los fluidos que éstas contienen, sin que se produzcan flechas exageradas, deben estar dispuestas de forma que no reduzcan la flexibilidad de la conducción. En tales casos, se disponen anclajes que fijan la tubería a algún elemento estático, o apoyos deslizantes o colgados que dejan libertad de movimiento en una dirección o en un plano respectivamente.

Se debe prever la posibilidad de hacer un vacío de las tuberías, para tareas de limpieza, reparaciones o modificaciones en el trazado. A veces no conviene que los fluidos, especialmente los líquidos, duerman durante las paradas en los tramos horizontales o en los puntos bajos de la tubería. Para evitar esto, suelen tenderse los tramos horizontales con una ligera pendiente, en función de la viscosidad del fluido, disponiéndose en los puntos más bajos del trazado válvulas de purga. Además se montarán válvulas de aireación, para el caso de líquidos, con la finalidad de eliminar las bolsas de aire que se acumulen en los puntos altos de los trazados estrangulando su paso. Estas bolsas deben ser eliminadas al llenar la tubería en la puesta en marcha del sistema. También es aconsejable abrirlas siempre que se proceda a vaciar la tubería, para evitar que ciertos volúmenes de líquido queden colgados inestablemente durante cierto tiempo, hasta que se desprendan en el momento más inoportuno ocasionado lo que se llama golpe de ariete.

En el tendido de tuberías debe tenerse también en cuenta otros factores como la comodidad de operación, el manejo de válvulas, accesibilidad a los instrumentos de medida y control...

En cuanto a la adopción de espesores y los Schedule de las tuberías, las efectuamos del modo desarrollado en la memoria de cálculo.

### 21.3.- Válvulas

Los diferentes tipos de válvulas se pueden clasificar según su concepción, las condiciones de servicio, los materiales, o su utilización distinguiéndose si su misión es la de simplemente abrir o cerrar un circuito, o bien de regulación como en el caso de controlar un caudal. Los tres tipos de válvulas utilizados en la industria química son los siguientes:

- **Válvulas de compuerta:** Es una válvula de retención que funciona mediante una compuerta cuya traslación se asegura por un vástago roscado, que obtura la sección de paso del fluido al deslizar entre dos aros fijos en el cuerpo. Los soportes pueden ser paralelos o en forma de cuña. El cuerpo de la válvula de compuerta se haya coronado por una tapa en cuya parte superior se introduce el opérculo que asegura la estanqueidad al paso del tornillo de maniobra mediante una estopa y un prensaestopas. Esta tapa es roscada en diámetros inferiores a 2 inch, y con bridas en las restantes medidas. La traslación del opérculo se consigue por dos medios, bien roscando la compuerta permaneciendo el vástago fijo, o bien roscando un soporte de usillo sobre la tapa, desplazándose el vástago en este caso. Este segundo método permite ver al instante si la válvula está abierta o cerrada.
- **Válvula de globo (o válvula de asiento):** Este tipo corresponde a una válvula de regulación que se utiliza como elemento de cierre para presiones muy altas. El movimiento del líquido queda interrumpido por un obturador, que cierra el paso entre los lados del cuerpo de la válvula. La estanqueidad queda asegurada por los aros del cuerpo y del obturador. El cuerpo va cubierto por una tapa ya sea roscado o con bridas, según el diámetro, que recibe el sistema de estanqueidad del vástago de maniobra, estando sujeto en la tapa para subir o bajar el obturador.
- **Válvula de macho:** Es una válvula de cierre que se utiliza en algunos casos para la regulación. Está constituida por un cuerpo en el que un elemento cónico-esférico, llamado macho, que lleva una abertura que al girar obtura o libera el paso del fluido. Este tipo de válvulas permite distribuir el flujo en varias direcciones, llamándose de dos, tres o cuatro vías. El macho es solidario de un cuadrado externo que permite su maniobra. El cuerpo de la válvula se cubre con una tapa que mantiene el macho en su lugar. Su lubricación queda asegurada por unos engrasadores que se llenan a presión. Los cuernos y tapas de estas válvulas se construyen en fundición o en acero forjado para diámetros pequeños, y en acero fundido para los mayores.
- **Válvulas de seguridad:** Las válvulas de seguridad protegen los aparatos contra las sobrepresiones. Están compuestas por un cuerpo provisto de bridas o roscado, y por una tapa atornillada o roscada que recibe el resorte y el vástago de la válvula. La parte delicada de la válvula es el obturador que debe responder a las siguientes exigencias:
  - Asegurar un retorno correcto sobre el asiento.
  - Volver progresivamente sobre su asiento para evitar golpes.
  - Mantener la estanqueidad.El mecanizado de las caras de contacto debe ser muy cuidadoso pues la fuerza de apoyo es, por definición, limitada. Se puede modificar ligeramente su presión de tarado mediante un tornillo de regulación que actúa sobre el resorte.

Las válvulas de seguridad deben proteger todos los aparatos que funcionan a presión así como la impulsión de las bombas volumétricas.

- Válvulas de retención: Su finalidad es evitar el retorno de fluidos. Las hay con obturador vertical (conducto horizontal) o con bola (conducto vertical) y de balancín (conducto vertical u horizontal).

La presión del fluido desplaza a la bola o al obturador de su asiento liberando el paso del fluido. Si la velocidad del fluido tiende a anularse o cambiar de dirección, el peso de la bola o del obturador lo retorna sobre su asiento, y el paso queda cerrado.

Los cuerpos de las válvulas de retención van cerrados por una tapa roscada o con bridas que permite el acceso al obturador.

Las válvulas de retención con obturador o con bolas se utilizan en los diámetros inferiores de 2 inch y los de balancín en los restantes.

## 21.4.- Uniones entre tuberías y válvulas

Las válvulas pueden conectarse a las tuberías de tres formas:

- Roscadas: Sólo es admisible para diámetros pequeños y bajas presiones.
- Mediante enchufe y soldadura: Para diámetros de 2 inch e inferiores y cualquier presión.
- Mediante juntas y bridas: Para diámetros mayores de 2 inch y cualquier presión.

Las válvulas de los dos primeros casos se encuentran clasificadas como accesorios de tuberías, mientras que las válvulas del tercer tipo y las bridas de enlace correspondientes, quedan clasificadas por la denominada presión primaria de servicio, existiendo los estándares: 150, 300, 400, 600, 900 1.500 y 2.000 lb/inch<sup>2</sup>, a temperatura máxima de 450 °C.

Con esta normalización, cualquier válvula de un determinado diámetro y presión primaria es intercambiable con otra de cualquier fabricante (sea de asiento, compuerta o retención).

La presión primaria de servicio indica la presión a la que puede hacerse trabajar a la válvula en continuo a la temperatura límite superior (para acero al carbono normal 450 °C).

## 21.5.- Uniones mediante bridas

De los tres métodos anteriores haremos mención especial al último, dado que la unión mediante bridas es el medio más utilizado para conservar la posibilidad del desmontaje. Las bridas comprimen una junta de caucho amianto, o metal, que asegura la estanqueidad. Las dimensiones de las bridas, de los pernos y su número, permiten soportar la presión longitudinal resultante además de apretar suficientemente la junta. Las dimensiones están normalizadas, según la presión y la temperatura. Con iguales dimensiones, las condiciones de utilización varían con la calidad del metal utilizado.

## 21.6.- Tipos de bridas

Los americanos han clasificado sus bridas en serie de 150, 300, 400, 600, 900 1.500 y 2.000 lb/inch<sup>2</sup>. Sus dimensiones están de acuerdo con las norma ASA.

Para las bridas, independientemente de su clasificación según la presión primaria de servicio, existe una normalización en cuanto a la forma de unión de la brida con la tubería:

- Welding-neck (o de cuello): Es una pieza forjada utilizada para altas presiones y temperaturas. Ciertas refinerías la utilizan en todos los servicios, pues se montan con facilidad, con un sólo cordón de soldadura.
- Slip-on (o plana): Es una pieza forjada utilizada para servicios moderados. Se encaja en el tubo, es fácil de soldar, pero requiere dos cordones de soldadura.
- Roscada: Se utiliza en diámetros inferiores a 2 inch. Permite un desmontaje más cómodo e igualmente admite utilizar materiales diferentes. Sin embargo, en numerosos casos se efectúa un cordón de soldadura para mejorar la estanqueidad.
- Socket-weld (o de encastre): Se utiliza para diámetros inferiores a 2 inch. Se encaja en el tubo por lo que se obtiene un montaje más cómodo. Requiere solamente un cordón de soldadura.

### 21.6.1.- Tipos de juntas

Según las presiones y temperaturas, se utilizarán diferentes tipos de junta que necesitarán diversos tipos de cara para las bridas. Éstos son:

- Flast face (cara plana): Se utiliza para bajas temperaturas y presiones (150 y 300 lb/inch<sup>2</sup>) con junta plana de caucho o amianto.
- Raised face (cara con resalte): Es la más utilizada para presiones (150, 300, 400 y 600 lb/inch<sup>2</sup>) y temperaturas medias. La junta es de caucho forrado de amianto, con soporte o revestimiento metálico.
- Male-female (o machihembra): Conviene para presiones y temperaturas elevadas. La junta es metaloplástica o enteramente metálica. Esta junta está tendiendo al desuso.
- Ring toric joint (o de anillo tórico): La cara con junta anular conviene en las condiciones más severas de presión (900 lb/inch<sup>2</sup> o más, incluso vacío) y temperatura. La junta es tórica, con sección octogonal o elíptica y enteramente metálica.

## 22.- PLATAFORMAS Y PASARELAS

En el diseño y construcción de las plataformas y pasarelas, se tendrá en cuenta que todas las piezas han de ser de metal y el suelo será enrejillado o de material antideslizante. Las características dimensionales cumplirán con lo expuesto en la siguiente tabla:

Elemento	Dimensión (inch)
Ancho mínimo del nivel del suelo	24
Altura de la barandilla	42
Altura del guardapiés	3
Separación entre la parte superior del suelo	$\frac{1}{4}$
Altura de la barandilla media	$\frac{1}{2}$ de la distancia entre la pasarela y la parte superior de la barandilla
Distancia mínima entre los candeleros de la barandilla	96

Ilustración 13: Recomendaciones de API 650 para plataformas y pasarelas

La estructura terminada será capaz de soportar una carga móvil concentrada de 1.000 lb y la barandilla será capaz de resistir una carga de 200 lb aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto de la barandilla superior.

Las barandillas irán a ambos lados de la plataforma, interrumpiéndolas cuando sea necesario para los accesos.

En las aberturas de la barandilla, cualquier espacio entre tanque y plataforma mayor de 6 inch, deberán estar enrejilladas.

Por último, las pasarelas que se extiendan de una parte a otra del tanque, o a cualquiera de los tanques adyacentes, o al suelo, o a otras estructuras, irán apoyadas para permitir una relativa libertad de movimiento de las estructuras unidas por la pasarela.

## 23.- ESCALERAS

En el diseño y construcción de la escalera habrá que tener en cuenta que todas las piezas han de ser de metal y el suelo será enrejillado o de material antideslizante.

La estructura terminada será capaz de soportar una carga móvil concentrada de 1.000 lb y la barandilla será capaz de resistir una carga de 200 lb aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del pasamanos.

Las características dimensionales cumplirán con lo expuesto en la siguiente tabla:

Elemento	Dimensión (inch)
Ancho mínimo de la escalera	24
Ángulo máximo de la escalera sobre la horizontal	50 °
Ancho de los peldaños	8
Altura media verticalmente desde el nivel del peldaño al pasamanos	30-34
Distancia entre los candeleros de la barandilla media a lo largo de la pendiente de la barandilla	96

Ilustración 14: Recomendaciones de API 650 para escaleras

Habrán barandillas a ambos lados de las escaleras, tanto rectas como circulares, cuando el hueco entre la envolvente del tanque y la escalera exceda de 8 inch.

Las escaleras helicoidales estarán completamente apoyadas en la envolvente del tanque y los extremos de las riostras deberán quedar fuera del suelo.

El paso, definido como distancia horizontal entre los peldaños sucesivos de la elevación, no será menor de 24 inch ni mayor de 26 inch. La elevación será uniforme en toda la escalera.

La barandilla superior se unirá a la barandilla de la plataforma sin desviación.

El ángulo preferido es de 45 °. Se recomienda utilizar el mismo ángulo para toda la escalera.

## **24.- BOMBAS**

Las bombas, elementos vitales en las plantas de fabricación, son máquinas que realizan el trabajo para mantener un líquido en movimiento. El efecto conseguido será aumentar la presión o la energía cinética del fluido.

Para asegurar un funcionamiento continuado, las bombas se instalan dobladas. La principal movida por un motor eléctrico y la de reserva movida por un motor eléctrico conectado a la red de emergencia o por una turbina de vapor. La bomba de reserva debe estar dispuesta para funcionar y dar el relevo ya sea por un dispositivo automático o manual.

### **24.1.- Tipos de bombas**

Pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Dinámicas o de energía cinética: La energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo. Ésta se transforma luego, en parte, en energía de presión. El caudal, a una determinada velocidad de rotación, depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga.
- Desplazamiento positivo: En las bombas de desplazamiento positivo existe una relación directa entre el movimiento de los elementos de bombeo y la cantidad de líquido movido.



Podemos hacer clasificaciones atendiendo a distintos aspectos, pero una clasificación general sería algo similar a la que se presenta en la siguiente tabla:

TIPOS DE BOMBAS	Desplazamiento positivo (autocebadas)	Alternativas	De pistón
			De émbolo buzo
			De diafragma
		Rotativas	Engranajes
			Tornillos
			Paletas
			Levas
			Especiales
		Neumáticas	
	Energía cinética (no son autocebantes)	Centrífugas	Radiales
			Diagonales
			Axiales
		Regenerativas	
		Especiales	De eyector
			De gas
			De ariete hidráulico
		Periféricas o de turbina	

Ilustración 15: Tipos de bombas

El campo grande de utilización es el de bombas centrífugas (sobre todo de tipo radial) y las bombas rotativas.

### 24.3.- NPSH requerido de las bombas

Es una característica de la bomba que viene impuesta por el comprador. Se determina por prueba o cálculo, y es aquella energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas de rozamiento y el aumento de la velocidad.

En resumen, es la energía del líquido que una bomba necesita para funcionar.

Como los dos tipos de bombas que se utilizan de manera mayoritaria son las centrífugas y las rotativas veremos que es el NPSH requerido para estos dos tipos de bombas:

- El NPSH requerido de una bomba centrífuga es aquella cantidad (en metros de columna de líquido) precisada para:
  - Vencer las pérdidas de carga desde la abertura de admisión a los álabes del impulsor.
  - Crear la velocidad deseada de corriente a los álabes.
- El NPSH requerido de una bomba rotativa es aquella cantidad (en metros  $\text{kg/cm}^2$ ) precisada para:
  - Vencer las pérdidas de carga desde la abertura de admisión a los engranajes o paletas.
  - Crear la velocidad deseada de entrada a los engranajes o paletas.

## 24.4.- NPSH disponible

Es una característica del sistema y se define como la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de ésta).

El NPSH disponible puede ser calculado u obtenido tomando lecturas de prueba en el lado de la aspiración de la bomba. Dado que un líquido puede tener tres clases de energía y puesto que el NPSH es energía, los métodos para determinar el NPSH disponible deben considerar las energías potencial, de presión y cinética.

El NPSH disponible debe ser igual o superior al NPSH requerido para que la bomba cargue y suministre la cantidad de líquido. De manera general, para que la bomba tenga un buen funcionamiento se debe verificar que:

$$NPSH_{disponible} - NPSH_{requerido} \geq 1$$

## 24.5.- Cavitación

Cuando un líquido se mueve en una región en la que la presión es menor que la presión de vapor de éste, hierve y se forman burbujas de vapor en su seno. Las burbujas de vapor son arrastradas por el líquido hasta una región donde alcanza una presión más elevada y allí desaparecen bruscamente, a éste fenómeno se le llama cavitación.

Los efectos más evidentes de la cavitación, los ruidos y la vibración, se deben a la desaparición de las burbujas. Cuanto mayor es la bomba, mayores son los ruidos y la vibración. También pueden causar averías en rodamientos, rotura de eje y otros fallos en la bomba por fatiga de los materiales.

Si la bomba trabaja en condiciones de cavitación durante períodos largos de tiempo, especialmente para servicios con agua, se produce el picado de los álabes del impulsor. Esto se debe a que en la desaparición violenta de las burbujas de vapor, el líquido circundante ocupa con alta intensidad áreas reducidas, estas presiones ejercidas por el líquido pueden sobrepasar la resistencia a la tracción del metal que forma el álabe y realmente arrancar partículas dando al material una apariencia esponjosa.

Otro factor primordial de la cavitación es una disminución en el rendimiento de la bomba, que se evidencia en una disminución de la capacidad.

En general, la cavitación indica un NPSH disponible insuficiente, pérdidas excesivas en la aspiración, reducidas alturas estáticas y una alta temperatura. Si no existe la forma de modificar el sistema, puede llegar a ser preciso modificar las condiciones de forma que pueda utilizarse una bomba distinta con un NPSH requerido más bajo. En las bombas mayores puede llegar a ser preciso el uso de una bomba booster auxiliar para añadir altura de presión, NPSH disponible.

El fenómeno de la cavitación desaparece proyectando la máquina de modo que la presión no sea inferior a la presión de vapor en cualquier punto del fluido.

## 24.6.- Rendimiento mecánico de bombas

El rendimiento es el cociente entre la potencia hidráulica (potencia precisada por la bomba sólo para bombear el líquido) y la potencia absorbida (potencia precisada por la bomba para realizar una cantidad de trabajo determinado).

$$W_{absobida} = W_{hidáulica} + W_{rozamiento}$$

$$\eta = \frac{W_{hidáulica}}{W_{absobida}}$$

## 24.7.- Curvas características de las bombas centrífugas

Como se ha dicho con anterioridad, las bombas mayormente usadas en el campo industrial son las bombas centrífugas, de ahí que se estudien las curvas características para este tipo de bombas.

### 24.7.1.- Altura-capacidad

---

Cualquier bomba centrífuga tiene, para determinada velocidad y determinado diámetro impulsor de la bomba al manipular un líquido de viscosidad despreciable, una curva característica que indica la relación entre la altura (o presión) desarrollada por la bomba y el caudal a través de la misma. En estas curvas conforme la capacidad aumenta, se reduce la altura total que la bomba es capaz de desarrollar. En general la viscosidad en que se basa la curva de una bomba centrífuga es la viscosidad del agua. Se obtiene mediante pruebas.

### 24.7.2.- Potencia absorbida (BHP)-capacidad

---

Para que la bomba centrífuga suministre la capacidad que precisamos, hemos de suministrarle cierta potencia. Por lo que se puede trazar una curva que represente la relación entre la capacidad y la potencia absorbida basada en el diámetro impulsor y a velocidad constante. En bombas centrífugas esta característica, generalmente, aumenta al aumentar la capacidad. Se obtiene mediante pruebas.

### 24.7.3.- Rendimiento-capacidad

---

El rendimiento al que la bomba opera debe ser calculado. Puede deducirse de los valores de las curvas anteriores. La fórmula del rendimiento queda:

$$\eta = \frac{\text{altura} \cdot \text{capacidad} \cdot \text{gravedad específica}}{4500 \cdot \text{BHP}}$$

Donde:

- $\eta \equiv$  rendimiento (%).
- altura  $\equiv$  altura desarrollada por la bomba (mm. c. l.).
- capacidad  $\equiv$  capacidad desarrollada por la bomba (l/min).
- Gravedad específica  $\equiv$  Gravedad específica del líquido bombeado.
- BHP  $\equiv$  Potencia absorbida por una bomba (HP).

De esta forma se puede trazar la curva rendimiento-capacidad.

#### **24.7.4.- NPSH-capacidad**

---

Es la cueva que señala la relación entre la capacidad que la bomba suministrará y el NPSH requerido para un funcionamiento correcto de la bomba a la capacidad citada. Ya conocemos lo que significa el NPSH y se sabe también que un defecto NPSH, medida en metros de líquido que está bombeando, será causa de que la bomba funcione incorrectamente y origine cavitación en una bomba centrífuga. Estos datos se obtienen de pruebas reales.

#### **24.7.5.- Efecto de la viscosidad**

---

Dado que las curvas características normales de una bomba centrífuga se basan en un funcionamiento con agua, que tiene una viscosidad prácticamente nula, hemos de enfrentarnos a la posibilidad de bombear líquidos de mayor viscosidad. En otros casos el funcionamiento de la bomba cambia al manejar líquidos viscosos.

### **24.8.- Curvas del sistema**

Una vez consideradas las características de la bomba, se procederá al estudio de las exigencias del sistema en el que se instale la bomba. Hay dos tipos de sistemas:

- Los puntos de salida y llegada del fluido se encuentran al mismo nivel: Esto quiere decir que hay una línea horizontal a través de la cual fluye el líquido. Se puede suponer que en dicha línea hay elementos (cambiadores de calor, válvulas, codos y otros accesorios) que aumentan las pérdidas de carga totales entre los puntos de salida y llegada.  
Sabemos que las pérdidas de carga en un sistema aumentan al crecer la capacidad (caudal). Las pérdidas por rozamiento son proporcionales al cuadrado de la capacidad.  
Por tanto, se puede trazar una curva para un sistema de esta clase en que la pérdida de carga se expresa en metros de columna de líquido. A capacidad cero, puesto que no hay corriente, no hay naturalmente pérdidas por rozamiento.
- El punto de llegada se encuentran en un nivel superior que el de partida: Dado que el punto de llegada se encuentra en un nivel superior al de salida es necesario un aporte de energía al líquido para conducirlo al punto de salida,

debido a esa diferencia de altura. La cantidad de energía que debemos añadir es justamente la diferencia de altura entre ambos puntos.

## 24.9.- Selección de la bomba

Una vez obtenida las curvas del sistema y de la bomba, se superponen, y el punto de intersección de ambas representará la capacidad de la bomba. La capacidad a la que la bomba trabaja es aquella que determina la intersección de su curva característica caudal-altura y la curva del sistema.

Si representamos gráficamente todas las curvas obtenidas una vez conocida la capacidad a la que operará la bomba, podemos conocer la potencia que se precisa para su buen funcionamiento en estas condiciones de servicio, así como el NPSH requerido.

## 25.- CIMENTACIÓN

La cimentación ha sido calculada mediante la instrucción EH-82 para proyecto y ejecución del hormigón en masa o armado del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Según este estudio geotécnico, la cimentación se va a realizar sobre un terreno compacto que trabaja a  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

Para que la cimentación sea válida el peso unitario que soporte el terreno debe ser menor que la máxima carga admisible del mismo. Esta carga viene determinada por la expresión:

$$Q = 3 \text{ kg/cm}^2 \cdot A$$

Siendo A la superficie cimentada total.

Para calcular el peso del conjunto se necesita conocer el volumen de hormigón empleado y el peso que va a soportar. En nuestro caso la resistencia característica del hormigón es de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

Según la ITC MIE-APQ-005, podemos utilizar para la cimentación de los recipientes una fundación cuyos materiales deben ser homogéneos, preferiblemente granular y estable, exento de materias orgánicas o perjudiciales.

En los tanques con fondo plano la superficie sobre la que descansa el fondo del tanque deberá quedar a 30 cm como mínimo del suelo.

## 26.- CUBETO DE RETENCIÓN

Según la ITC MIE-APQ-006 se define el cubeto de retención como un recipiente abierto, en el que se sitúan los tanques o depósitos, capaz de retener los productos contenidos por los elementos de almacenamiento en caso de vertido por fuga de los mismos.

Siguiendo la Instrucción Técnica Complementaria cualquier cubeto de retención debe tener las siguientes características:

- En el mismo cubeto de retención podrán situarse uno o varios tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico. No obstante, no deberán estar en el mismo cubeto recipientes con productos que presenten una reactividad peligrosa entre sí o que puedan reducir el material por debajo de las máximas exigencias mecánicas de diseño del resto de las instalaciones.
- En el mismo cubeto podrán situarse uno o varios tanques o depósitos de ácido sulfúrico, no admitiéndose almacenamiento de otro tipo.
- No podrán situarse en el mismo cubeto tanques y depósitos.
- Las paredes y fondos de los cubetos deberán ser de un material que asegure la estanqueidad de los productos almacenados durante el tiempo necesario previsto para su evacuación, con un tiempo mínimo de 48 h, debiendo ser diseñadas para poder resistir como mínimo la presión hidrostática debida a la altura total del líquido a cubeto lleno.
- Se procurará disminuir, en la medida de lo posible, la superficie del cubeto al objeto de reducir la vaporización del ácido sulfúrico en caso de derrame.
- En los cubetos deberán existir accesos normales y de emergencia, señalizados, con un mínimo de dos en total, y en número tal que no haya que recorrer una distancia superior a 25 m hasta alcanzar un acceso desde cualquier punto del interior del cubeto. Se dispondrá de accesos directos a zonas de operación frecuente. Estos accesos pueden verse con claridad en el tomo planos de este proyecto.
- Los cubetos deberán ser rodeados, al menos en una cuarta parte de su periferia, por dos vías de acceso que deberán tener una anchura mínima de 2,5 m y una altura mínima libre de 4 m para posibilitar el paso de vehículos de emergencia.
- Las tuberías que no estén enterradas no deben atravesar más cubeto que el del recipiente o recipientes a los cuales estén conectadas. Además, el paso de las tuberías a través de las paredes del cubeto debe realizarse de manera que quede asegurada la estanqueidad del cubeto.
- La pendiente del fondo del cubeto desde el tanque hasta el sumidero de drenaje será como mínimo del 1 %.
- Se prohíbe el empleo de mangueras flexibles en el interior del cubeto. Su utilización se limitará a operaciones de corta duración.
- Los canales de evacuación tendrán una sección mínima de 400 cm<sup>2</sup>, con una pendiente mínima del 1 % hacia el punto de salida.

## 27.- REVESTIMIENTO ANTIÁCIDO

El cubeto, los tanques y tuberías asociados a éstos, estarán protegidos contra la corrosión mediante un ciclo de preparación de superficie consistente en un cepillado mecánico y manual hasta conseguir un acabado superficial igual al que figura en la visual St-3 de la Svensk Standard Sis 05 59 00 1967 y un ciclo de aplicación de pintura consistente en:

- Capa de imprimación epoxi curada con poliamida rica en aluminio, con un espesor de película seca mínimo de 50 µm.
- Primera capa gruesa epoxi en poliamida consiguiendo un espesor de película seca mínimo de 90 µm.

- Segunda capa gruesa epoxi en poliamida consiguiendo un espesor de película seca mínimo de 90  $\mu\text{m}$ .
- Capa de acabado de esmalte en poliuretano alifático consiguiendo un espesor de película seca mínimo de 50  $\mu\text{m}$ .

Las cimentaciones de los tanques se encontrarán protegidas con material antiácido, tipo Frankeline 2000, de 1,2 mm de espesor, con una capa de imprimación previa de p-680 Halesa; no obstante, a juicio del Director Técnico de la ejecución de los trabajos, se podrá sustituir por otro ciclo previamente probado, siendo la distancia al suelo de la parte interior del cubeto superior a los 30 cm marcados por la instrucción.

## **28.- SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y ELÉCTRICO**

### **28.1.- Sistema de iluminación**

Con dicho sistema pretenderemos dotar a la planta del grado de iluminación necesario para este tipo de instalación. El nivel de iluminación aconsejado es de unos 50 lux. La zona principal de iluminación será la correspondiente al exterior de los tanques, que se encuentre dentro del cubeto de retención. De esta forma, la superficie a iluminar, como base de cálculo es de 5.000  $\text{m}^2$ .

Por su coste moderado y bajo nivel de mantenimiento, se han elegido lámparas de descarga de 400 W y 30.000 lúmenes conectadas a una tensión de 220 V. El número de lámparas, tal como se indica en la memoria de cálculo, está estimado en 20, colocadas de dos en dos proyectores que a su vez irán colocados sobre 10 postes troncocónicos de 12 m de altura y de acero galvanizado, con un espesor de unos 3 mm, equidistantes y repartidos a lo largo del perímetro del cubeto.

### **28.2.- Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico pretende cubrir los requerimientos siguientes

- Un sistema de iluminación
- Una bomba para suministro de tanques
- Una bomba para derrames
- Una bomba para arqueta de pluviales.

El cálculo de la instalación se ha efectuado, como viene indicado en la memoria de cálculo, siguiendo el método de la caída de tensión máxima admisible según el reglamento electrotécnico de baja tensión. Más concretamente, la noma MIE BT-017 indica que la tensión máxima admisible será del 3% de la tensión nominal en instalaciones de alumbrado y del 5% para instalaciones de fuerza.

Tanto las secciones de los hilos conductores como de los tubos que servirán para alojar los mencionados hilos han sido calculados siguiendo el reglamento antes mencionado

- Alumbrado
  - Línea general
  - Línea postes
- Bombas
  - Arqueta

### **28.3.- Puesta a tierra de los tanques**

Siguiendo la norma MIE BT-039 del reglamento electrotécnico de baja tensión se usarán como electrodos, picas de acero recubiertas de cobre con 25 mm de diámetro, enterrados verticalmente.

La resistencia a tierra será tal que en cualquier momento no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 50 V.

En nuestro caso la resistencia de la pica es de 60  $\Omega$ .

La conexión de la pica con el tanque será efectuada con conductores de 16 mm<sup>2</sup> según recoge la normativa citada.

## **29.-SISTEMA CONTRA INCENDIOS**

La protección contra incendios en un almacenamiento de líquidos inflamables y sus instalaciones conexas está determinada por el tipo de líquido, la forma de almacenamiento, su situación y/o distancia a otros almacenamientos, por lo que en cada caso se deberá seleccionar el sistema y agente extintor que más convenga, siempre que cumpla con los requisitos mínimos que, de forma general, se establecen en el reglamento sobre almacenamiento de productos químicos.

Los sistemas de protección deberán mantenerse en condiciones de funcionamiento en todo momento, mediante inspecciones, pruebas, reparaciones y/o reposiciones oportunas.

## **30.- SISTEMA DE SANEAMIENTO**

La red de drenaje consistirá en una explanación con pendiente a un agua hacia el norte. Las aguas se recogerán en una canaleta cuyo fondo también tendrá una pendiente del 1%. Por consiguiente, la profundidad del canal será de 200 mm en el arranque y 500 mm al final.

Dicho canal estará reforzado con un perfil metálico pintado con el mismo ciclo de protección anticorrosivo descrito en apartados anteriores. La canaleta descargará en un poceto 1.000 x 1.000 mm<sup>2</sup> de sección y profundidad suficiente para permitir un pulmón de aguas residuales. El poceto, por rebose conectará con una tubería de PVC en cuyo primer



tramo se intercalará un válvula de mariposa, del tipo Wafer, entre dos bridas locas con stub end o portabridas de PVC. Dicha válvula irá alojada en una arqueta de hormigón.

Tanto la canaleta como el poceto estarán protegidos mediante una rejilla de madera. La arqueta de alojamiento de la válvula irá tapada mediante tapa de chapa estriada pintada con el tratamiento antiácido escogido.

La sección del canal de evacuación interior del cubeto tiene una sección mínima de 400 mm<sup>2</sup> aumentando dicha sección conforme se acerca el poceto de recogida de aguas.

El pavimento de la zona destinada al trasiego de ácido sulfúrico (tanto carga como descarga de vehículos cisterna o unidades ferroviarias), estará protegido con un tratamiento del mismo tipo que el anterior.

## **31.-PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN**

Puesto que hay riesgo de corrosión bajo tensiones, los tanques deben ser internamente inspeccionados antes de ser puestos en servicio. Serán medidos por ultrasonido y examinados con partículas magnéticas, especialmente las soldaduras. Si se encuentran grietas se consultará a un experto antes de tomar otra decisión.

El proceso de puesta en marcha de un gran almacenamiento de ácido sulfúrico, inicialmente y después de una reparación será llevado a cabo siguiendo un procedimiento escrito. El procedimiento cubrirá como mínimo los siguientes puntos:

- El recipiente estará limpio y totalmente drenado de agua antes de comenzar la puesta en marcha.
- Todos los servicios auxiliares estarán en inmejorables condiciones de servicio.
- El aire será desplazado del sistema durante la puesta en marcha.